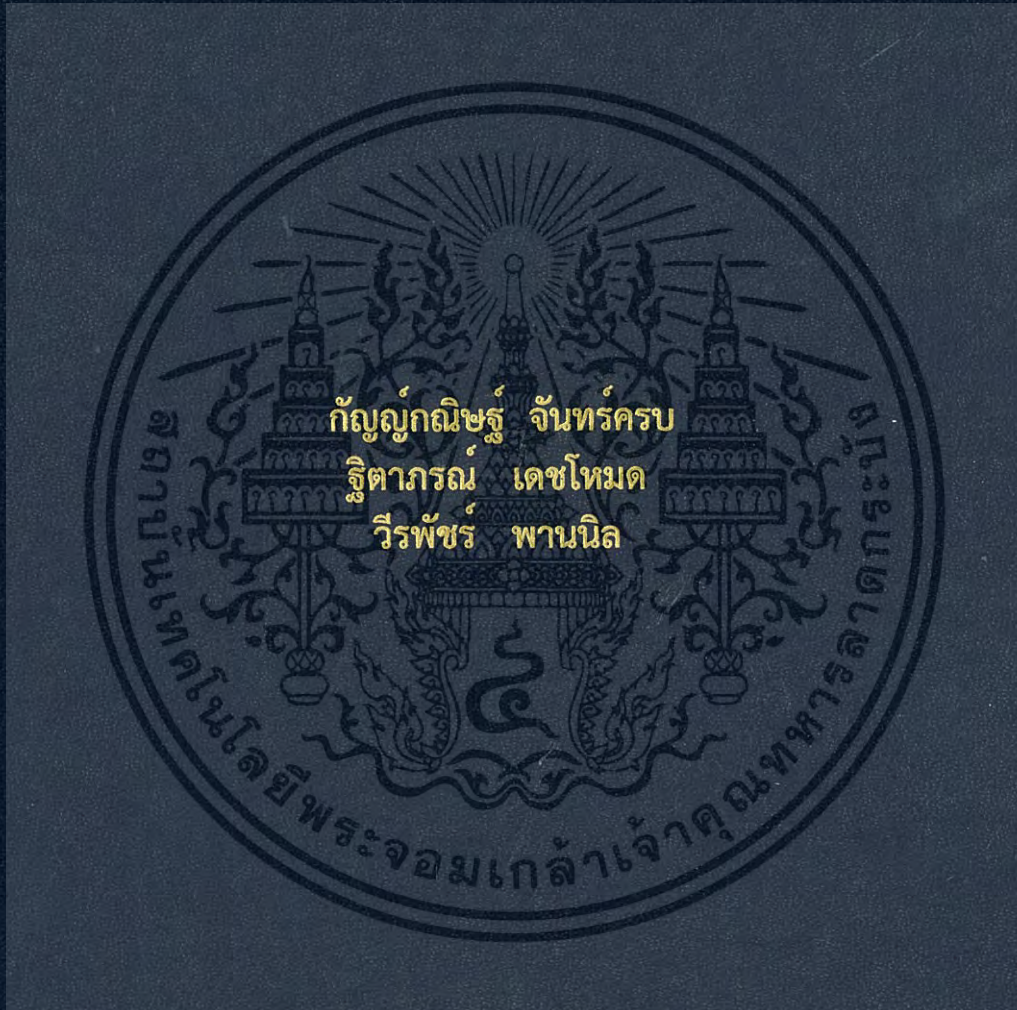


สมบัติทางแสงของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ ที่เจือด้วย
ไอออน Tb^{3+} และ Eu^{3+}
OPTICAL PROPERTIES OF $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2: \text{Tb}^{3+}$ AND Eu^{3+}



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สมบัติทางแสงของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ ที่เจือด้วย

ไอออน Tb^{3+} และ Eu^{3+}

OPTICAL PROPERTIES OF $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tb}^{3+}$ AND Eu^{3+}



T149246



2/1/58
ท382ค
2058

เลขหมู่.....
ลงทะเบียน..... 149246
ในเดือนปี..... 30 ส.ค. 2561

42550240
b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTICAL PROPERTIES OF $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tb}^{3+}$ AND Eu^{3+}



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ สมบัติทางแสงของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ ที่เจือด้วย ไอออน Tb^{3+} และ Eu^{3+}
 Optical Properties of $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tb}^{3+}$ and Eu^{3+}

ชื่อนักศึกษา นางสาวกัญญ์ณิษฐ์ จันทร์ครบ รหัสนักศึกษา 55051449
 นางสาวฐิตาภรณ์ เดชโหมต รหัสนักศึกษา 55051488
 นายวีรพัชร พานนิล รหัสนักศึกษา 55051615

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ภาควิชา ฟิสิกส์
 ปีการศึกษา 2558
 อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ฐิตินัย แก้วแดง

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.งามนิตย์ วงษ์เจริญ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ชัยสิงห์ ภูรักษาเกียรติ กรรมการ	
อ.ภาณุจ บัณฑิตาวิทย กรรมการ	
รศ.ดร.ฐิตินัย แก้วแดง กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	สมบัติทางแสงของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ ที่เจือด้วยไอออน Tb^{3+} และ Eu^{3+}		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกัญญ์กนิษฐ์ จันทร์ครบ	รหัสนักศึกษา	55051449
	นางสาวฐิตาภรณ์ เดชโหมต	รหัสนักศึกษา	55051488
	นายวีรพัทธ์ พานนิล	รหัสนักศึกษา	55051615
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ร.ศ.ดร.ฐิตินัย แก้วแดง		

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการเตรียมผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็งโครงสร้างผลึกและลักษณะพื้นผิวของเม็ดเซรามิกได้รับการตรวจสอบโดยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตามลำดับ ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จะเรืองแสงสีเขียวที่ความยาวคลื่นแสง 544 นาโนเมตร ในขณะที่ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จะเรืองแสงสีแดงที่ความยาวคลื่นแสง 591 และ 613 นาโนเมตร อย่างไรก็ตาม ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จะเรืองแสงสีแดงที่ความยาวคลื่นแสง 587 และ 617 นาโนเมตร ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ ที่เจือด้วยไอออน Tb^{3+} และ Eu^{3+} ในปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยอะตอมสามารถเตรียมได้โดยวิธีการเผาไหม้สารละลายเคมีในเตาไมโครเวฟโดยใช้สารตั้งต้นคือ NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และยูเรียเป็นสารเชื้อเพลิง ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ จะเรืองแสงสีเขียวและแสงสีแดงเมื่อเจือด้วยไอออน Tb^{3+} และ Eu^{3+} ตามลำดับ ส่วนผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ ที่เจือด้วยไอออน Tb^{3+} และ Eu^{3+} จะแสดงการถ่ายโอนพลังงานจากไอออน Tb^{3+} ไปยังไอออน Eu^{3+} อย่างมีประสิทธิภาพสูง

คำสำคัญ: $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$: Tb^{3+} , Eu^{3+} ปฏิกิริยาสถานะของแข็ง การเผาไหม้สารละลายเคมีในเตาไมโครเวฟ XRD SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Optical Properties of $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tb}^{3+}$ and Eu^{3+}
Students	Mrs. Kankanis Chanthercrob Student ID 55051449 Mrs. Thitaporn Detmod Student ID 55051488 Mr. Weerapat Pannin Student ID 55051615
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Thitinai Gaewdang

Abstract

In this special project, $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) and $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ceramics were prepared by conventional solid state reaction. The crystal structure and morphology of the ceramics were investigated by XRD and SEM, respectively. The PL spectra of $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) show the characteristic green emission peaked at 544 nm whereas the PL spectra of $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) show the characteristic red emission peaked at 592 and 613 nm. However, the PL spectra of $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ shows the red emission peaked at 587 and 617 nm. Tb^{3+} , Eu^{3+} single-doped and co-doped $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ with fixed concentration 4 at.% were synthesized via microwave-assisted solution combustion technique using NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ and urea as fuel source. Tb^{3+} and Eu^{3+} single-doped $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ shows the characteristic green emission and red emission, respectively. The high efficient energy transfer from Tb^{3+} to Eu^{3+} can be observed in Tb^{3+} and Eu^{3+} co-doped $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$.

Keywords: $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tb}^{3+}$, Eu^{3+} , solid state reaction, microwave-assisted solution combustion, XRD, SEM

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร. ฐิตินัย แก้วแดง รองศาสตราจารย์ งามนิത്യวงษ์เจริญ อาจารย์ ภารุจ บัณฑิตาวิทย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยสิงห์ ภูรักษาเกียรติ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ ในการทดลองตลอดจนอุปการะทุนสนับสนุนและการให้คำปรึกษาทางวิชาการที่ดีตลอดมารวมถึง การปลูกฝังสิ่งที่ดีงามให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบคุณศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์คณะ วิทยาศาสตร์ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์และการแนะนำการใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์ (XRD) ของ Bruker รุ่น D8 Advance และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope : SEM) ยี่ห้อ LEO 1455VP

ขอขอบคุณนักศึกษาในห้องปฏิบัติการวิจัยวัสดุโพลีเมอริกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษ แนะนำการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้คำแนะนำในการใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลผลการ ทดลอง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ที่เมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาตั้งแต่ การศึกษาภาคบังคับจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความอุปการะ ทุนในการศึกษาเล่าเรียน และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

กัญญกนิษฐ จันท์ครบ
ฐิตาภรณ์ เดชโหมด
วีรพัทธ์ พานนิล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครงสร้างผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบโซเดียมอินเดียมทั้งสแตต	6
2.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	7
2.3 ปฏิกิริยาการแผ่รังสีเอกซ์	8
2.3.1 ปฏิกิริยาการแผ่รังสีเอกซ์	10
2.3.2 กลไกการเรืองแสงของปฏิกิริยาการแผ่รังสีเอกซ์	14
2.3.3 การเรืองแสงจากเอ็กซิตอนในปฏิกิริยาการแผ่รังสีเอกซ์	17
2.3.4 การติดตั้งโพโตลูมิเนสเซนซ์	19
2.3.4 พลังงานกระตุ้น	20
2.3.5 การแตกตัวเป็นไอออนเนื่องจากแสง (photoionization)	20
2.3.6 รัสเซลล์-ซอนเดอร์คัปปลิง (Russell-Saunders coupling)	21
2.3.7 กฎของฮุนด์	23
2.3.8 การบวกของสปินสองตัว	26
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$)	35
3.1.2 วิธีการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	45
3.2 ขั้นตอนการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	47
3.2.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$	47
3.2.2 วิธีการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.0 \leq x \leq 0.10$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	57
3.3 ขั้นตอนการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	58
3.3.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$	58
3.3.2 วิธีการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	60
3.4 ขั้นตอนการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tb}^{3+}$ ด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	62
3.4.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม	62
3.4.2 วิธีการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	64
3.5 ขั้นตอนการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}(\text{WO}_4)_2 : \text{Eu}^{3+}$ ด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	65
3.5.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม	65

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.2 วิธีการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	67
3.6 ขั้นตอนการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$: Tb^{3+} และ Eu^{3+} ด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	68
3.6.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม	68
3.6.2 วิธีการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	71
3.7 การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	72
3.7.1 การศึกษาสมบัติโครงสร้างผลึกทางจุลภาค	72
3.7.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกทางมหภาค	72
3.7.3 การศึกษาสมบัติการเรืองแสง	72
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.1 ลักษณะของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	74
4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$)	75
4.2.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	75
4.2.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก	77
4.2.3 ผลการหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	78
4.3 การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	85

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	86
4.5 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาเป็นสารละลายของแข็ง	88
4.6 ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	96
4.6.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	96
4.6.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงสร้าง a , b , c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิก	98
4.6.3 ผลการหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	99
4.7 การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	106
4.8 ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	107
4.9 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาเป็นสารละลายของแข็ง	109
4.10 ลักษณะของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.11 ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	117
4.11.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	117
4.11.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก	119
4.11.3 การหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	119
4.12 การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	121
4.13 ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	122
4.14 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	123
4.15 ลักษณะของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) และ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	124
4.16 ผลการศึกษาทางฟิสิกส์พื้นฐานของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	125
4.16.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	125
4.16.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิก	127
4.16.3 ผลการหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$)	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.17 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	129
4.18 ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	130
4.18.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	130
4.18.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิก	132
4.18.3 ผลการหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$)	132
4.19 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	134
4.20 ลักษณะผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	135
4.21 ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}\text{W}_2\text{O}_8$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	136
4.21.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	136
4.21.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก	138
4.21.3 การหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	138
4.22 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

- 5.1 สรุปผลการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและเชิงมหภาคของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ เผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 142
- 5.2 สรุปผลการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง เมื่อ ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ เผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 143
- 5.3 สรุปผลการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและเชิงมหภาคของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ เผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 144
- 5.4 สรุปผลการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , NH_2CONH_2 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ เผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5 ข้อเสนอแนะ	146
เอกสารอ้างอิง	147
ภาคผนวก	153
ภาคผนวก ก	154



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.1	แนวทางการดำเนินงาน	5
ตารางที่ 2.1	แสดงชนิดของปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์ตามวิธีการกระตุ้นแบบต่างๆ	9
ตารางที่ 2.2	แสดงค่า S , L และ J ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นดี (d - shell : $l = 2$) และ วงโคจรชั้นเอฟ (f - shell : $l = 3$)	24
ตารางที่ 2.3	แสดงค่า S , L , J และ g_l ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นดี (d - shell : $l = 2$) และวงโคจรชั้นเอฟ (f - shell : $l = 3$)	25
ตารางที่ 2.4	แสดงฟังก์ชันแจกแจงของระบบที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 2 ตัว	27
ตารางที่ 2.5	แสดงระยะห่างระหว่างพันธะเคมีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaNW_2O_8 และ LiInW_2O_8	32
ตารางที่ 3.1	แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของของแข็ง เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอุณหภูมิละ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ	45
ตารางที่ 3.2	แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของของแข็ง เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอุณหภูมิละ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ	57
ตารางที่ 3.3	แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอุณหภูมิละ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ	60
ตารางที่ 3.4	แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	64
ตารางที่ 3.5	แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	67
ตารางที่ 3.6	แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกมีแนวโน้มลดลง ตามปริมาณของไอออนของธาตุ Tb^{3+} ของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	77
ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดของเกรนของเม็ดเซรามิก $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	83
ตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบของธาตุที่หาได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	87
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าโครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	98
ตารางที่ 4.5 แสดงขนาดของเกรนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	104
ตารางที่ 4.6 แสดงองค์ประกอบของธาตุที่หาได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	108
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกของเม็ดเซรามิก $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 4.8	แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก FWHM ของผงเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(0.92)}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	120
ตารางที่ 4.9	แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก Williamson – Hall ของผงเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(0.92)}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	121
ตารางที่ 4.10	แสดงองค์ประกอบของธาตุที่หาได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	122
ตารางที่ 4.11	แสดงค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	127
ตารางที่ 4.12	แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก FWHM ของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	128
ตารางที่ 4.13	แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก Williamson – Hall ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้โดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	129
ตารางที่ 4.14	แสดงค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	132
ตารางที่ 4.15	แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก FWHM ของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	133
ตารางที่ 4.16	แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก Williamson – Hall ของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	134
ตารางที่ 4.17	แสดงค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.18 แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก FWHM ของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	139
ตารางที่ 4.19 แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก Williamson – Hall ของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	140



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaNW_2O_8	6
รูปที่ 2.2	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของแบรกก์	7
รูปที่ 2.3	แสดงภาพโครงสร้างของพันธะเคมีระหว่างอะตอมที่มีลักษณะของการจับกันของอะตอมที่คล้ายกับการการมีสปริงยึดอยู่ระหว่างอะตอม	9
รูปที่ 2.4	แสดงแผนภาพการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์	10
รูปที่ 2.5	แสดงกระบวนการการรวมตัวของพาหะที่ทำให้เกิดการเรืองแสงและไม่เรืองแสงในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์	11
รูปที่ 2.6	แสดงแผนภาพการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์	11
รูปที่ 2.7	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงที่เปล่งออกมากับความยาวคลื่นในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์	12
รูปที่ 2.8	แสดงแผนภาพกระบวนการเรืองแสงในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์ โดยการเจือสาร 2-ชนิดจะมีเซนซิไทเซอร์เป็นตัวดูดกลืนแสงและแอ็คติเวเตอร์เป็นตัวปลดปล่อยแสงโดย รัับพลังงานมาจากเซนซิไทเซอร์	12
รูปที่ 2.9	แสดงแผนภาพกระบวนการเรืองแสงในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์ของพาหะ	13
รูปที่ 2.10	แผนภาพแสดงการเรืองแสงในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์ภายในระดับพลังงานของอะตอมของสารเจือที่มีระดับพลังงานอยู่ในช่องว่างแถบพลังงานหลายค่า	13
รูปที่ 2.11	แสดงการย้ายสถานะพลังงานแบบมีการเรืองแสงของพาหะอิสระระหว่างแถบนำและแถบเวเลนซ์	14
รูปที่ 2.12	แสดงการเรืองแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนอิสระและโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานของอะตอมผู้รับ (กรณีชาย) และการเรืองแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานของอะตอมผู้ให้และโฮลอิสระ (กรณีขวา)	15
รูปที่ 2.13	แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของศูนย์กลางเอฟ (F center) ในผลึกของสารประกอบ KCl	16
รูปที่ 2.14	แสดงแผนภาพเอ็กซิตอนที่ถูกจับที่ระดับพลังงานของอะตอมผู้ให้	17
รูปที่ 2.15	แสดงสเปกตรัมการเรืองแสงของเอ็กซิตอนชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวคูมอมบ์ของผลึกของสารประกอบกึ่งตัวนำ GaP:S	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
รูปที่ 2.16	แสดงแผนภาพการเรืองแสงที่เกิดจากการย้ายสถานะพลังงานระหว่างคู่ของอะตอมผู้ให้และอะตอมผู้รับ	19
รูปที่ 2.17	แสดงแผนภาพการติดตั้งระบบวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์	19
รูปที่ 2.18	แสดงปรากฏการณ์คัปปลิงของอันตรกิริยาระหว่างโมเมนต์เชิงมุมของออบิทัลกับสปินของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนสองตัว	23
รูปที่ 2.19	แสดงแผนภาพการรวมเวกเตอร์สปินของอะตอมที่มีอิเล็กตรอน 2 ตัว	29
รูปที่ 2.20	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaNW_2O_8 และ $\text{NaN}_{0.93}\text{Eu}_{0.07}\text{W}_2\text{O}_8$	30
รูปที่ 2.22	แสดงสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaNW_2O_8 และ LiInW_2O_8	30
รูปที่ 2.23	แสดงสเปกตรัมแถบกระตุ้นของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaNW_2O_8 และ สเปกตรัมแถบเรืองแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaNW_2O_8 และ LiInW_2O_8	31
รูปที่ 2.24	แสดงสเปกตรัมแถบกระตุ้นและแถบเรืองแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.95}\text{Eu}_{0.05}\text{W}_2\text{O}_8$	33
รูปที่ 2.25	แสดงสเปกตรัมของแถบกระตุ้นและแถบเรืองแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.95}\text{Tb}_{0.05}\text{W}_2\text{O}_8$	34
รูปที่ 3.1	แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	46
รูปที่ 3.2	แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	46
รูปที่ 3.3	แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	58
รูปที่ 3.4	แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	58
รูปที่ 3.5	แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	61
รูปที่ 3.6	แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.7 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	65
รูปที่ 3.8 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	65
รูปที่ 3.9 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	68
รูปที่ 3.10 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	68
รูปที่ 3.11 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	71
รูปที่ 3.12 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	72
รูปที่ 3.13 แสดงภาพถ่ายเครื่องสเปกโทรฟลูออโรโพลีโตมิเตอร์ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น RF-5301PC	72
รูปที่ 3.14 แสดงแผนภาพหลักการทำงานของเครื่องสเปกโทรฟลูออโรโพลีโตมิเตอร์ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น RF-5301PC	73
รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	75
รูปที่ 4.2 แสดงพิคความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	76
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.00, 0.02$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	78
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04, 0.06$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.5	แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.08, 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	80
รูปที่ 4.6	แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	81
รูปที่ 4.7	แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณผิวหน้าของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	85
รูปที่ 4.8	แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	86
รูปที่ 4.9	แสดงพีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 348 นาโนเมตรของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	88
รูปที่ 4.10	แสดงพีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 355 นาโนเมตรของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	89
รูปที่ 4.11	แสดงพีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 366 นาโนเมตรของผงผลึกเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	89
รูปที่ 4.12	แสดงพีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตรของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	90
รูปที่ 4.13	แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่กระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 348 นาโนเมตรที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Tb^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 355 นาโนเมตร ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Tb^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	91
รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 366 นาโนเมตร ที่เปลี่ยนแปลงไป ตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Tb^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	91
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Tb^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	92
รูปที่ 4.17 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.02$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	93
รูปที่ 4.18 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	93
รูปที่ 4.19 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.06$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	94
รูปที่ 4.20 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.08$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.21 แสดงพิกัดความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	95
รูปที่ 4.22 แสดงพิกัดความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	95
รูปที่ 4.23 แสดงพิกัดความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร และ พิกัดความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	96
รูปที่ 4.24 แสดงพิกัดความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	97
รูปที่ 4.25 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.00, 0.02$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	99
รูปที่ 4.26 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04, x = 0.06$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	100
รูปที่ 4.27 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.08, x = 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	101
รูปที่ 4.28 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.29 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณผิวหน้าของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	106
รูปที่ 4.30 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	107
รูปที่ 4.31 แสดงพิกัดความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 391 นาโนเมตรของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	109
รูปที่ 4.32 แสดงพิกัดความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตรของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	110
รูปที่ 4.33 แสดงพิกัดความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตรของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	110
รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 391 นาโนเมตรที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยา การเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	111
รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตรที่เปลี่ยนแปลงไป ตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	111
รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตรที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	122

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.37 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.02$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	113
รูปที่ 4.38 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	113
รูปที่ 4.39 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.06$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	114
รูปที่ 4.40 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.08$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	114
รูปที่ 4.41 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	115
รูปที่ 4.42 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	115
รูปที่ 4.43 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร และ พีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.44 แสดงภาพถ่ายของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	117
รูปที่ 4.45 แสดงพิกัดความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	118
รูปที่ 4.46 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(0.92)}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	119
รูปที่ 4.47 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดบริเวณผิวหน้าของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	121
รูปที่ 4.48 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	122
รูปที่ 4.49 แสดงพิกัดความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร และ พิกัดความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 484 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(0.92)}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง	123
รูปที่ 4.50 แสดงแผนภาพการถ่ายโอนพลังงานจากไอออนของธาตุ Tb^{3+} ไปยังไอออนของธาตุ Eu^{3+}	124
รูปที่ 4.51 แสดงภาพถ่ายของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) และ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	124
รูปที่ 4.52 แสดงพิกัดความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	126
รูปที่ 4.53 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.54 แสดงพิกัดความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร และ พิกัดความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	130
รูปที่ 4.55 แสดงพิกัดความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึก เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	131
รูปที่ 4.56 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	132
รูปที่ 4.57 แสดงพิกัดความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร และ พิกัดความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ของผลึกเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	135
รูปที่ 4.58 แสดงภาพถ่ายของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	135
รูปที่ 4.59 แสดงพิกัดความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	137
รูปที่ 4.60 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	138
รูปที่ 4.61 แสดงพิกัดความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร และ พิกัดความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 484 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ	141

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ ได้รับความสนใจกันอย่างมาก เนื่องจากมีศักยภาพสูงในการประยุกต์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางฟ้าและทางแสง ตัวอย่างเช่นเม็ดเซรามิกของสารประกอบ WO_3 เป็นวัสดุอิเล็กโตรโครมิก (electro chromic) ที่โดดเด่น สามารถประยุกต์ใช้เป็นหน้าต่างอัจฉริยะ (smart window) สำหรับบ้านและรถยนต์เพื่อการประหยัดพลังงาน (Richard and Edwards, 2003; Ramana et al., 2006)

ทังสเทนบรอนซ์ (tungsten bronzes) มีสูตรเคมีคือ M_xWO_3 เมื่อ M คือ อะตอมของโลหะ สารประกอบนี้เกิดจากแต่ละอีตริลของสารประกอบ WO_3 จับกันในแบบใช้มุมติดกัน (corner sharing) เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายอุโมงค์ (tunnel network) ในสามมิติ เนื่องจากในอุโมงค์เป็นที่ว่างดังนั้นจึงสามารถเติมอะตอมโลหะ M เข้าไปได้ รู้อุโมงค์แบบรูปสามเหลี่ยมหรือเป็นหกเหลี่ยมก็ได้สำหรับเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{In}_{0.02}\text{WO}_3$ และ $\text{In}_{0.03}\text{WO}_3$ จะมีรู้อุโมงค์แบบรูปสามเหลี่ยม แต่ถ้าปริมาณไอออนของธาตุ In^{3+} เพิ่มขึ้น รู้อุโมงค์จะกลายเป็นรูปหกเหลี่ยมซึ่งจะมีชื่อเรียกว่า HTB (hexagonal tungsten bronzes) เอกลักษณะของ HTB คือ จะมีสีน้ำเงินเข้ม แต่ถ้าไอออนของธาตุ In^{3+} เพิ่มขึ้นอีก สารประกอบนี้จะสะท้อนแสงแวววาวคล้ายโลหะ ในแง่โครงสร้างทางเรขาคณิต เศษส่วนโดยโมลอะตอม (x) ของไอออนโลหะจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.33 แต่อย่างไรก็ตามมีผู้รายงานว่ เศษส่วนโดยโมลอะตอม (x) มีค่าสูงสุดได้เท่ากับ 0.4 (Richard, 2003)

เมื่อไม่นานมานี้ ได้มีการพัฒนาหลอดแอลอีดีที่เปล่งแสงสีขาว (white LEDs) ขึ้นมาเพื่อจะใช้แทนหลอดไฟฟ้ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ซึ่งส่วนมากคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากหลอดแอลอีดีที่เปล่งแสงสีขาว มีประสิทธิภาพสูงมีความสว่างมาก มีอายุการใช้งานยาวนานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Liu et al., 2012) ในปี ค.ศ. 1996 ได้มีการผลิตหลอดแอลอีดีที่เปล่งแสงสีขาวจากชิพของสารกึ่งตัวนำ InGaN ซึ่งเคลือบด้วยสารเรืองแสงสีเหลืองของสารประกอบ $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} : \text{Ce}^{3+}$ (Yoon et al., 2014) ซึ่งสารกึ่งตัวนำ InGaN จะเปล่งแสงสีน้ำเงินออกมาผสมกับสีเหลืองของ $\text{YAG} : \text{Ce}^{3+}$ จะกลายเป็นแสงสีขาวโดยหลักการแล้วหลอดไฟฟ้จากแอลอีดีจะให้แสงสีขาอนั้นมี 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 คือ แสงสีขาวได้จากการผสมสีของแอลอีดีที่เปล่งแสงสีแดง แอลอีดีที่เปล่งแสงสีเขียว และแอลอีดีที่เปล่งแสงสีน้ำเงิน วิธีที่ 2 คือใช้แอลอีดีที่เปล่งแสงอัลตราไวโอเลตร่วมกับสารเรืองแสงไตรคาร์บอเลอรัที่ให้ทั้งสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน วิธีที่ 3 คือใช้แอลอีดีที่เปล่งแสงสีน้ำเงินร่วมกับสารเรืองแสงสีเหลือง

การพัฒนาหลอดไฟฟ้แบบแอลอีดีที่เปล่งแสงอัลตราไวโอเลตร่วมกับสารเรืองแสงไตรคาร์บอเลอรั

สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน นั้นจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาหลอดไฟฟ้ชนิดโซลิตสเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง มีเสถียรภาพของสีสูงภายใต้การไบแอสกระแสค่าต่างๆ ในอนาคตอันใกล้นี้ แอลอีดีที่เปล่งแสงสีขาวยังจะเข้ามาแทนที่หลอดไฟฟ้ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่สารเรืองแสงจะผลิตจากจะผลิตจากวัสดุสารอนินทรีย์สถานะของแข็งของสารประกอบ แวนาเดต โมลิบเดต และ ทังสเตต ที่เจือด้วยไอออนของธาตุที่หายาก (rare earth) เช่น Eu^{3+} , Tb^{3+} และ Ce^{3+} เป็นต้น ไอออนของธาตุ Eu^{3+} จะเปล่งแสงสีแดงที่ความยาวคลื่นประมาณ 614 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนจาก ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$ ส่วนไอออนของธาตุ Tb^{3+} จะเปล่งแสงสีเขียว ความยาวคลื่นประมาณ 544 นาโนเมตร เนื่องจากการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนจาก ${}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_5$ ไอออนของธาตุ Ce^{3+} จะเปล่งแสงสีน้ำเงินเป็นแถบกว้าง 2 แถบซ้อนกันที่ความยาวคลื่น 365 และ 425 นาโนเมตร เนื่องมาจากการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน

สำหรับสารเรืองแสงที่เจือด้วยไอออนของธาตุ Tb^{3+} ร่วมกับ Eu^{3+} จะมีลักษณะพิเศษ คือสามารถเปล่งแสงสีเขียว และ แสงสีแดงออกมามากๆกันได้ โดยการกระตุ้นด้วยแสงที่สอดคล้องกับสเปกตรัมการกระตุ้นของไอออนของธาตุ Tb^{3+} เพียงอย่างเดียว เนื่องมาจากกลไกการเปล่งแสงจะมีการถ่ายโอนพลังงานจากไอออนของธาตุ Tb^{3+} ไปยังไอออนของธาตุ Eu^{3+} (Wang et al., 2015) ดังนั้นสเปกตรัมการเปล่งแสงสามารถปรับแต่งได้ โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Tb^{3+} และ Eu^{3+} ดังนั้นในโครงงานพิเศษนี้จึงน่าสนใจที่จะศึกษาสมบัติการเรืองแสงของไอออนของธาตุ Tb^{3+} และ Eu^{3+} ในเมตเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaN}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaN}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ซึ่งเตรียมโดยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็งจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และการเตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , NH_2CONH_2 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เพื่อประโยชน์ในการประยุกต์เป็นสารเรืองสำหรับแอลอีดีที่เปล่งแสงสีขาว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมเมตเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaN}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaN}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของ $\text{NaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็งที่ผ่านอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ภายใต้ท้องฟ้า เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ท้องฟ้า เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ศึกษาการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , NH_2CONH_2 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ โดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ
3. ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค และ เชิงมหภาค ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และโดยการถ่ายภาพผิวหน้าผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$
4. ศึกษาการเรืองแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ และศึกษาอิทธิพลของปริมาณของเศษส่วนโดยโมลอะตอม (x) ของไอออนของธาตุ Tb^{3+} และ Eu^{3+} ที่มีต่อการเรืองแสง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของ $\text{NaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็งที่ผ่านอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ภายใต้ของอากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ของอากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. เตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , NH_2CONH_2 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ โดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ
3. ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค และ มหภาค ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องเอกซเรดิแฟร็กโทรมิเตอร์ ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance และโดยการถ่ายภาพผิวหน้าผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1455VPP ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$
4. ศึกษาการเรืองแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ค้นคว้าหาข้อมูลจากฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัย
2. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในงานวิจัย เช่น
 - เตาเผาที่มีอุณหภูมิสูงถึง 800 องศาเซลเซียส
 - เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์
 - เครื่องสเปกโทรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์
3. ทำการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของ $\text{NaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็งที่ผ่านอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ของอากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ทำการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , NH_2CONH_2 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ โดยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ
5. ทำการตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}\text{W}_2\text{O}_8$ ที่ได้ดังต่อไปนี้
 - ตรวจสอบโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค และ เชิงมหภาค ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และโดยการถ่ายภาพผิวหน้าผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
 - ตรวจสอบสมบัติเรืองแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

แผนการ ดำเนินการ	2558					2559				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาข้อมูล										
2. ทำการเตรียม เม็ดเซรามิก										
3. วัดสมบัติการ เรืองแสง										
4. วัดผลการ เลี้ยวเบนของ รังสีเอกซ์										
5. วัดผลด้วยกล้อง จุลทรรศน์ อิเล็กตรอน แบบส่องกราด										
6. วิเคราะห์และ สรุปผล										

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบถึงหลักการทำงานและวิธีการใช้อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการวิจัย เช่น เต้าอุนทงมิสูง เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตรมิเตอร์ เครื่องสเปกโทรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์ เป็นต้น
- ทราบถึงวิธีการและขั้นตอนการเตรียมเม็ดเซรามิก
- ทราบถึงผลการเรืองแสงของไอออนของธาตุ Tb^{3+} และ Eu^{3+} ที่เจือในเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$
- ใช้เป็นพื้นฐานเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาสารเรืองแสงอื่นต่อไป

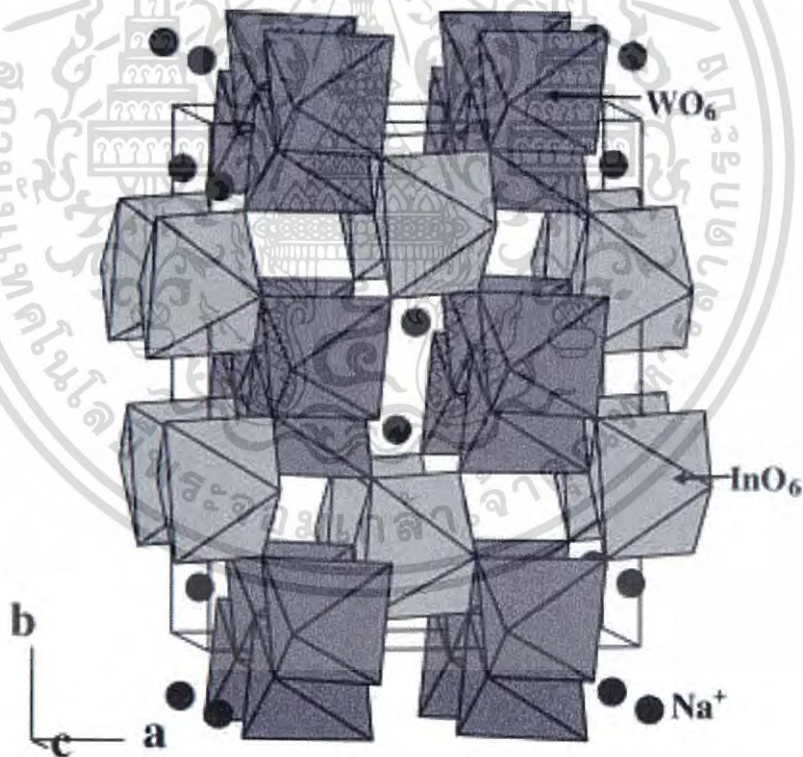
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบโซเดียมอินเดียมทังสเตต (ฐิตินัย, 2558)

สารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบวูลแฟรมไมท์ รูปผลึกอยู่ในระบบโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ในโครงสร้างผลึกนี้จะมีออกตะฮีดรัลของสารประกอบ WO_6 ใช้ขอบเชื่อมต่อกันจนขึ้นรูปเป็นสายโซ่ยาวของ $[\text{WO}_4]_\infty$ และเป็นแบบซิกแซกตามทิศทางแกน c ออกตะฮีดรัลของสารประกอบ InO_6 ใช้ปลายเชื่อมต่อกับออกตะฮีดรัลของสารประกอบ WO_6 โดยผ่านทางารเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่ของ $[\text{WO}_4]_\infty$ ออกตะฮีดรัลของไอออนของอะตอม Na^+ ล้อมรอบด้วยไอออนออกไซด์และอยู่ภายในอุโมงค์ที่เกิดขึ้นจากออกตะฮีดรัลของสายโซ่ยาวของสารประกอบ WO_6 และออกตะฮีดรัลของสารประกอบ InO_6 ทำให้เกิดเป็นสารประกอบโซเดียมอินเดียมทังสเตนขึ้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaInW_2O_8

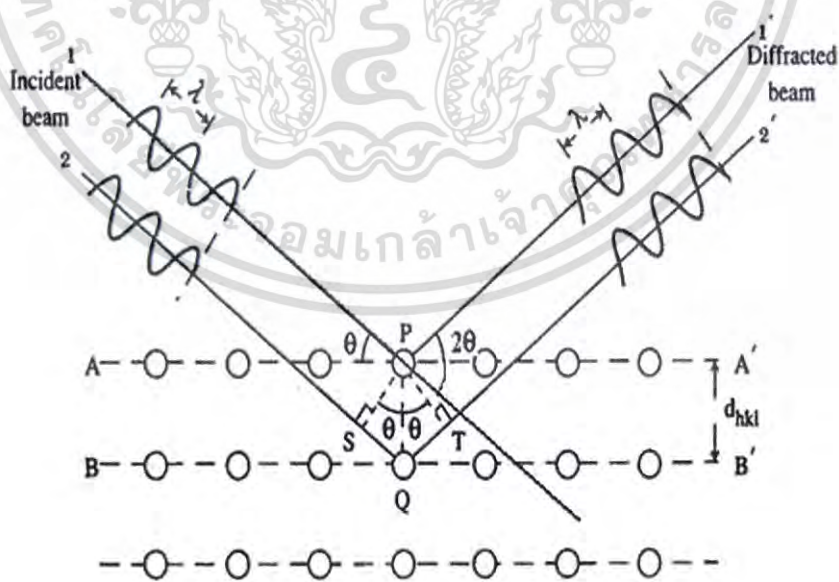
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (งามนิทย์, 2543; งามนิทย์, 2545; งามนิทย์, 2551; ฐิตินัย, 2546; ฐิตินัย, 2550)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์โดยวิธี $\theta-2\theta$ ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์ เป็นวิธีที่ใช้ในการจำแนกลักษณะโครงสร้างของผลึก ซึ่งอาศัยรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวจากแหล่งกำเนิดตกกระทบกับสารตัวอย่างซึ่งอาจเป็นผลึกเดี่ยวหรือผลึกพหุพันธ์ก็ได้ ซึ่งสารตัวอย่างจะหมุนเป็น θ ในขณะที่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณรังสีเอกซ์จะเคลื่อนที่ไปเป็นมุม 2θ และเมื่อรังสีเอกซ์ผ่าน โครงสร้างของผลึกออกมาจะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างและแบบเสริมโดยแบรกก์ได้เสนอว่าผลึกมีการจัดเรียงตัวเป็นระนาบของอะตอมซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบ โดยมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ทั้งนี้รังสีเอกซ์จะแทรกสอดกันแบบเสริมมากที่สุด เมื่อมีการกระเจิงออกจากแต่ละระนาบด้วยความแตกต่างของทางเดินคลื่น (path difference) เป็นจำนวนเท่าระนาบของความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ซึ่งเรียกว่ากฎของแบรกก์ ดังสมการ(2.1)

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (2.1)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
 n คือ ลำดับของการเลี้ยวเบน
 d_{hkl} คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ
 θ คือ มุมตกกระทบและมุมสะท้อนของรังสีเอกซ์เมื่อเทียบกับระนาบของผลึก



รูปที่ 2.2 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของแบรกก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในระนาบที่รังสีเอกซ์ตกกระทบ แล้วกระเจิงออกมาโดยสอดคล้องกับกฎของแบรกก์ จะเรียกว่า “ระนาบของแบรกก์” และมุมที่รังสีสะท้อนทำกับระนาบที่ขนานกับรังสีตกกระทบ เรียกว่า “มุมเลี้ยวเบน (2θ)” ซึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของมุมสะท้อน

รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ กับมุมเลี้ยวเบน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุหรือสารแต่ละประเภท จากการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดแบบเสริม จะทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์มีค่ามาก ซึ่งจะสังเกตได้จากตำแหน่งพีคในรูปแบบการเลี้ยวเบน และพีคเหล่านี้จะปรากฏที่มุมเลี้ยวเบนเดิมสำหรับธาตุหรือสารประกอบชนิดเดียวกัน และจะมีตำแหน่งของพีคที่มุมของการเลี้ยวเบนต่างกันสำหรับธาตุหรือสารประกอบต่างชนิดกัน การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกทำได้โดยการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนของสารตัวอย่างกับไฟล์มาตรฐานของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผลึก ซึ่งเป็นฐานข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของธาตุหรือสารประกอบต่างๆ โดยการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ได้กับรูปแบบการเลี้ยวเบนจากไฟล์มาตรฐานนั้น ทำได้โดยการเปรียบเทียบตำแหน่งของระนาบที่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนออกมา โดยการระบุระนาบจะใช้สัญลักษณ์ (hkl) ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “ดัชนีมิลเลอร์” ซึ่งดัชนีมิลเลอร์จะเป็นส่วนกลับของจุดที่ระนาบตัดแกนผลึก

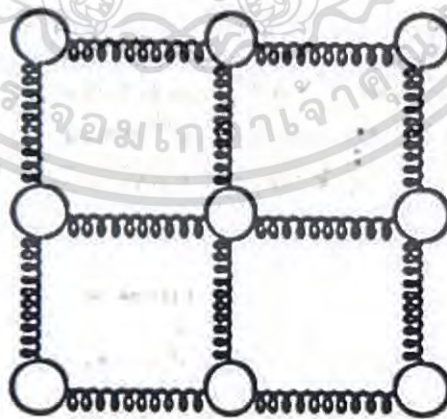
2.3 ปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์ (ฐิตินัย, 2545; ฐิตินัย, 2547; ฐิตินัย, 2551; ดุสิต, 2542; Kittel, 1971)

ปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์ (luminescence) เป็นชื่อเรียกปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเรืองแสงทั้งหมด นอกเหนือจากการเรืองแสงชนิดการแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation) และชนิดการแผ่รังสีเชอเรนคอฟ (Cerenkov radiation) การเรืองแสงแบบลูมิเนสเซนซ์เกิดจากการที่อะตอมหรืออิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจากระดับพลังงานสูงลงมาสู่สถานะระดับพลังงานที่ต่ำกว่า ลูมิเนสเซนซ์สังเกตได้ทั้งในวัสดุประเภทก๊าซ ของเหลว และของแข็งและทั้งวัสดุชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์วิธีการกระตุ้นให้พลังงานแก่วัสดุมีหลายวิธี เช่น การฉายพลังงานโฟตอน การระดมยิงด้วยลำอิเล็กตรอน การระดมยิงด้วยลำไอออน การจ่ายแรงดันไฟฟ้า การให้ความร้อน การทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี การป้อนสนามไฟฟ้าและการจ่ายกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งแสดงชนิดของปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์โดยแบ่งตามวิธีการกระตุ้นดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์ตามวิธีการกระตุ้นแบบต่างๆ

ชนิดของปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์	วิธีการกระตุ้น
โฟโตลูมิเนสเซนซ์(photoluminescence:PL) - ชนิดของสโตกส์(stokes type) - ชนิดแอนติสโตกส์(anti-stokes type)	แสง
อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์(electroluminescence:EL) - อินทรินซิกอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์(intrinsicEL) - ไดโอดเรืองแสง(carrier Injunction EL:LED)	ไฟฟ้า
คาโทดลูมิเนสเซนซ์(cathode-luminescence)	อิเล็กตรอน
เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์(thermo-luminescence)	ความร้อน
ไตรโบลูมิเนสเซนซ์(tribo-luminescence)	การเสียดสี
เคมีคัลลูมิเนสเซนซ์(chemical-luminescence)	ปฏิกิริยาเคมี
เอกซเรย์ลูมิเนสเซนซ์(x-ray-luminescence)	รังสีเอกซ์

ในกรณีหลอดฟลูออเรสเซนต์จะทำงานโดยเริ่มจากปรอทที่บรรจุอยู่ภายในหลอดจะถูกกระตุ้นโดยสนามไฟฟ้าให้เกิดการดีสชาร์จ(discharge)ทำให้เกิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากนั้นรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงที่เคลือบอยู่บริเวณผิวด้านในของหลอดทำให้เกิดแสงสว่างในย่านความถี่ของแสงสีขาวที่ตามนุษย์มองเห็นได้ เช่นกรณีโทรทัศน์ชนิด CRT (cathode ray tube) สว่าง



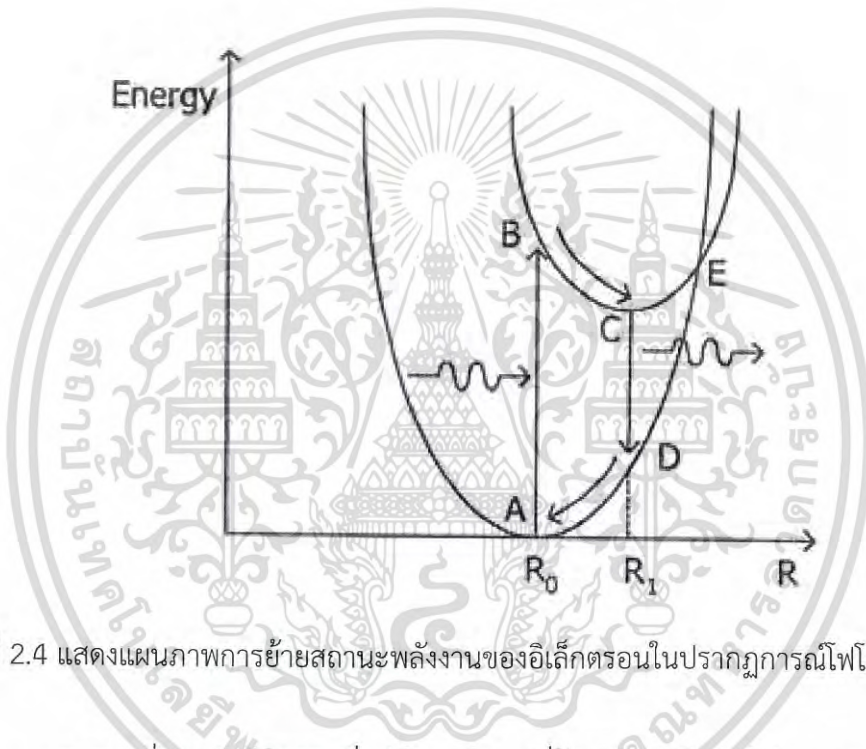
รูปที่ 2.3 แสดงภาพโครงสร้างของพันธะเคมีระหว่างอะตอมที่มีลักษณะของการจับกันของอะตอมที่คล้ายกับการการมีสปริงยึดอยู่ระหว่างอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ปฏิกิริยาการแผ่รังสีโฟโตลูมิเนสเซนซ์

ปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence) แบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

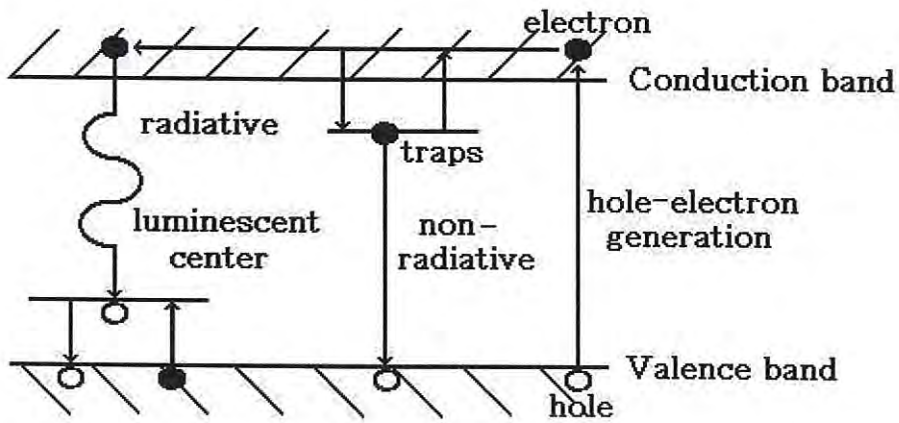
1. ปรากฏการณ์ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) จะเกิดการเรืองแสงขณะที่มีการกระตุ้นกลไกคือจะมีค่าชีวิตของพาหะ (life time) สั้นๆ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10^{-8} วินาที
2. ปรากฏการณ์ฟอสฟอเรสเซนซ์ (phosphorescence) จะเกิดการเรืองแสงภายหลังที่มีการกระตุ้นจึงมีค่าชีวิตของพาหะนานกว่าฟลูออเรสเซนซ์คืออาจมีค่าประมาณ 10^{-3} วินาทีหรืออาจเป็นชั่วโมง



รูปที่ 2.4 แสดงแผนภาพการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์

จากรูปที่ 2.4 อิเล็กตรอนที่อยู่ตำแหน่ง A เมื่อดูดกลืนพลังงานโฟตอนจะถูกกระตุ้นจนไปอยู่ที่ตำแหน่ง B และหลังจากนั้นอิเล็กตรอนจะย้ายสถานะพลังงานไปอยู่ที่ตำแหน่งใหม่ (R_1) และอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากตำแหน่ง B ไปยัง C ได้ปล่อยโฟนอนไม่เกิดการเรืองแสง (non-radioactive) ออกไป หลังจากนั้นอิเล็กตรอนจะย้ายสถานะพลังงานจากจุด C ไปยัง D และเรืองแสง (radioactive) โดยจะมีโฟตอนเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง D ไอออนรอบๆ จะรีแลกเซชันเพื่อกลับไปยังตำแหน่ง R_0 ที่ตำแหน่ง C เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้การเรืองแสงหายไป (quenching temperature) อิเล็กตรอนจะไปอยู่ที่ตำแหน่ง E ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนในสถานะกระตุ้น (excited state) สามารถกลับมาที่สถานะพื้น (ground state) ได้เลย โดยพลังงานค่าเดิมจะไม่มี การเรืองแสงออกมา (non-radioactive)

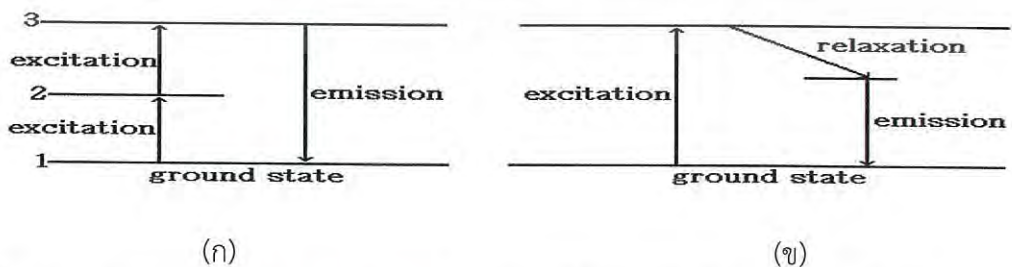
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการการรวมตัวของพาหะที่ทำให้เกิดการเรืองแสงและไม่เรืองแสงในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์

จากรูปที่ 2.5 เมื่ออิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ถูกกระตุ้นอิเล็กตรอนจะเกิดการเลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมหากอิเล็กตรอนนี้ถูกจับไว้ในกับดักอิเล็กตรอน (trap) และย้ายสถานะพลังงานไปยังแถบวาเลนซ์จะเป็นกระบวนการที่ไม่เกิดการเรืองแสงแต่ถ้าอิเล็กตรอนนี้ย้ายสถานะพลังงานผ่านที่ศูนย์กลางเรืองแสง (luminescent center) จะเกิดการเรืองแสงออกมาแต่โดยทั่วไปในสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนมักจะถูกจับไว้ในกับดักอิเล็กตรอนมากกว่าจึงทำให้สารกึ่งตัวนำไม่ค่อยเกิดการเรืองแสง

จากปรากฏการณ์การเรืองแสงแบบปกติพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาในการเรืองแสงจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานกระตุ้นแต่ในปรากฏการณ์แอนติ-สโตกส์พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะมีค่าสูงกว่าพลังงานกระตุ้นเนื่องจากอะตอมของธาตุบางชนิดมีระดับพลังงานที่ตรงกึ่งกลางพอดีเมื่อใช้พลังงานกระตุ้นที่มีค่าเท่ากับระดับพลังงาน 1 ไป 2 นั้นเปรียบเสมือนว่าให้พลังงานกระตุ้นจากระดับพลังงาน 2 ไป 3 ด้วยดังนั้นในที่สุดอิเล็กตรอนจะย้ายสถานะพลังงานจากระดับพลังงาน 1 ไป 3 เมื่อให้พลังงานกระตุ้นภายในครั้งเดียวและจากนั้นจะย้ายสถานะพลังงานจากระดับพลังงาน 3 มายังระดับพลังงาน 1 โดยปลดปล่อยพลังงานออกมาดังนั้นพลังงานโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมาจึงมีค่ามากกว่าพลังงานโฟตอนกระตุ้นที่ใส่เข้าไปดังรูปที่ 2.6(ก)

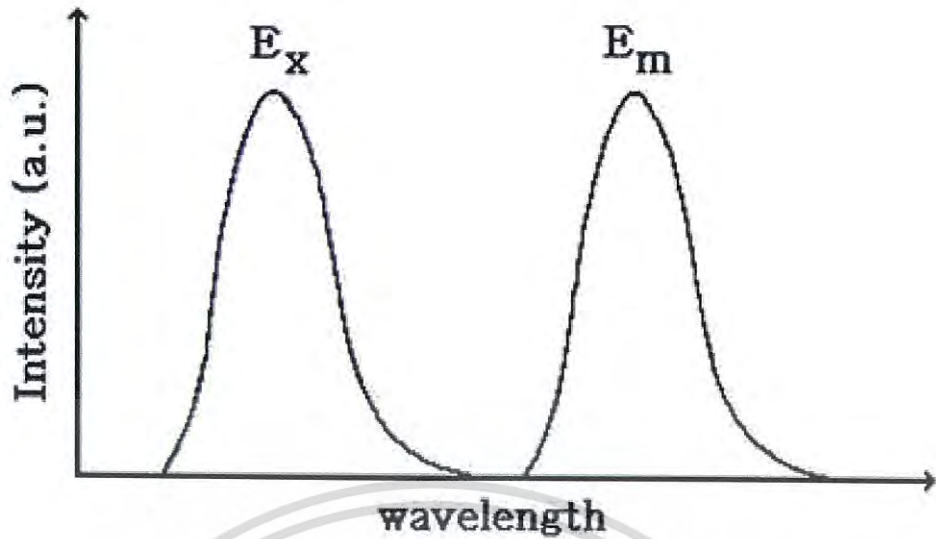


รูปที่ 2.6 แสดงแผนภาพการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์

ก. แอนติ-สโตกส์(anti-stokes)

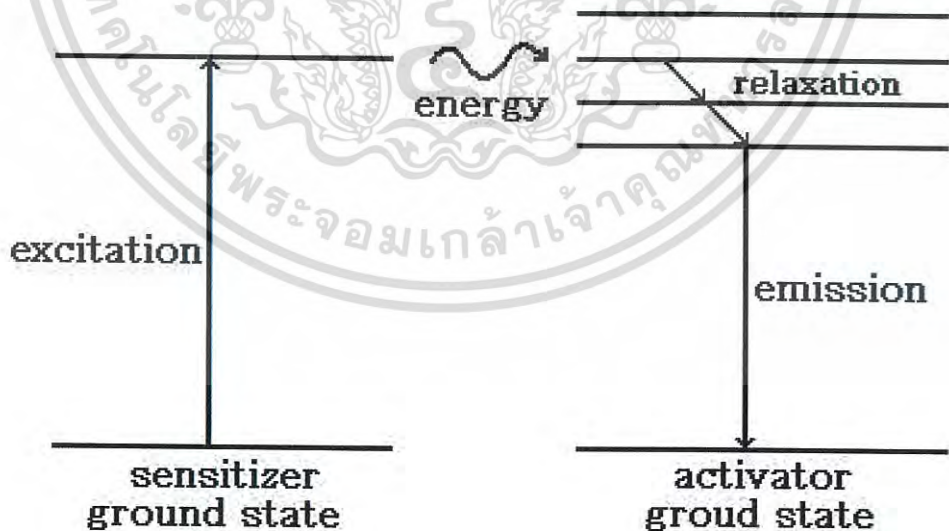
ข. ปรากฏการณ์การเรืองแสงแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



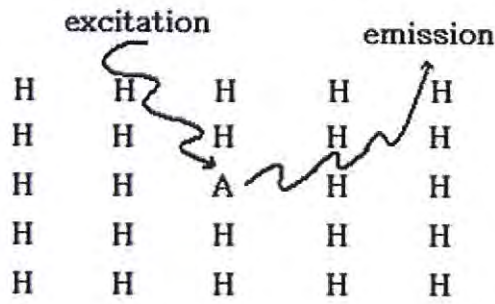
รูปที่ 2.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงที่เปล่งออกมากับความยาวคลื่นในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าพลังงานของการเรืองแสงจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานกระตุ้นโดยเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “การเคลื่อนไปของสโตกส์ (stokes shift)” พลังงานที่หายไปจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนให้กับโครงผลึก (lattice) โดยที่ E_x และ E_m คือแถบพลังงานกระตุ้นและแถบพลังงานเรืองแสงตามลำดับ

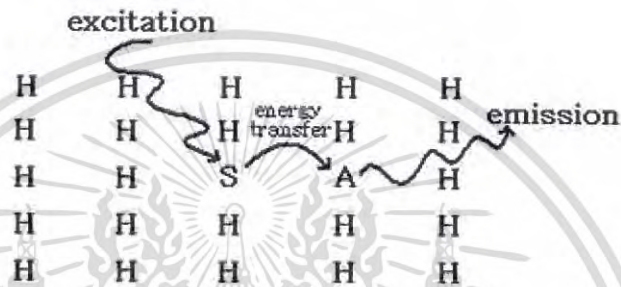


รูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพกระบวนการเรืองแสงในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์โดยการเจือสาร 2 ชนิดจะมีเซนซีไทเซอร์เป็นตัวดูดกลืนแสงและแอ็คติเวเตอร์เป็นตัวปลดปล่อยแสงโดยรับพลังงานมาจากเซนซีไทเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

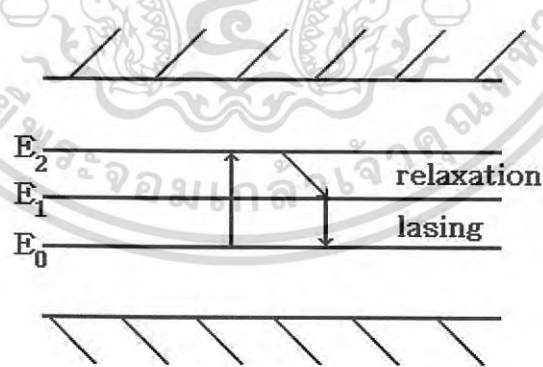


(ก)



(ข)

รูปที่ 2.9 แสดงแผนภาพกระบวนการเรืองแสงในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์ของพาหะ
 ก. แสดงถึงตัวแอ็คติเวเตอร์ (A) ในโครงผลึกเจ้าบ้าน (H)
 ข. แสดงทั้งเซนซิไทเซอร์ (S) และแอ็คติเวเตอร์ (A) ในโครงผลึกเจ้าบ้าน (H)



รูปที่ 2.10 แผนภาพแสดงการเรืองแสงในปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์ภายในระดับพลังงานของอะตอมของสารเจือที่มีระดับพลังงานอยู่ในช่องว่างแถบพลังงานหลายค่า

เมื่อไอออนถูกกระตุ้นจะย้ายสถานะพลังงานขึ้นไประดับพลังงานสูงสุดของสารเจือจากนั้น จะเกิดการผ่อนคลาย (relaxation) หลังจากนั้นจะเกิดการเรืองแสง (lasing) ตกกลับลงมาที่ระดับพลังงานต่ำที่สุดของสารเจือและจะเรืองแสงในตัวของมันออกมา

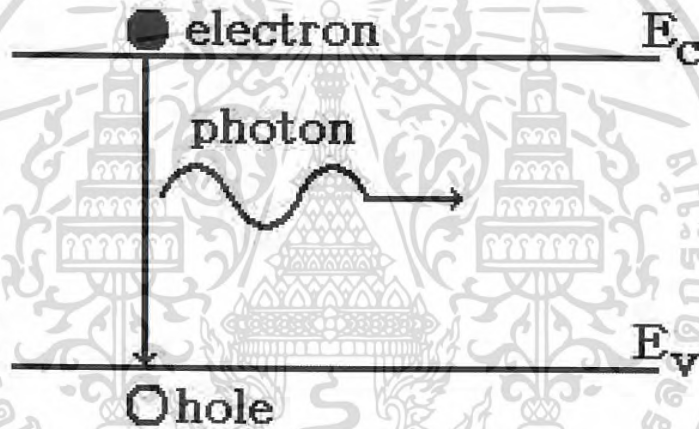
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 กลไกการเรืองแสงของปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์

กลไกการเรืองแสงของปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์เกิดจากการย้ายสถานะของอิเล็กตรอนจากระดับพลังงานสูงลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำโดยสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

1. กลไกการเรืองแสงที่เกิดเนื่องจากอิเล็กตรอนในแถบนำรวมตัวโดยตรงกับโฮลในแถบวาเลนซ์

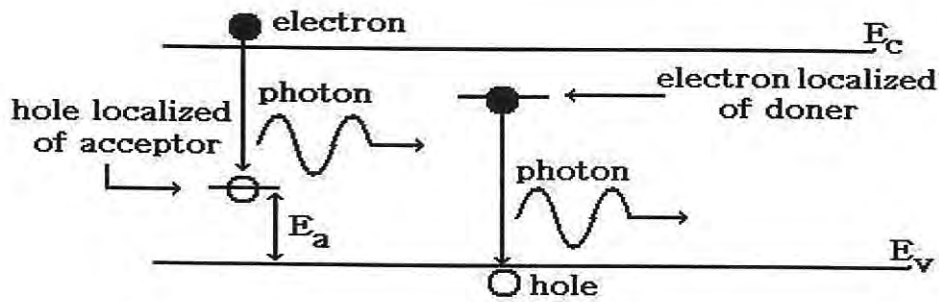
การเรืองแสงที่เกิดจากการย้ายสถานะระหว่างแถบพลังงานของอิเล็กตรอน (band-to-band transition) กล่าวคือเป็นการรวมตัวกันโดยตรงระหว่างอิเล็กตรอนและโฮล โดยอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนำตกลงมารวมตัวกับโฮลที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ถ้าสารกึ่งตัวนำมีลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง (direct band gap) แสงที่เปล่งออกมาจะมีพลังงานโฟตอนเท่ากับขนาดช่องว่างพลังงาน (E_g)



รูปที่ 2.11 แสดงการย้ายสถานะพลังงานแบบมีการเรืองแสงของพาหะอิสระระหว่างแถบนำและแถบเวเลนซ์

2. กลไกการเรืองแสงที่เกิดเนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮลที่อยู่ในระดับพลังงานย่อยที่อยู่ภายในช่องว่างแถบพลังงานรวมตัวกัน

เกิดจากอิเล็กตรอนในแถบนำรวมตัวกับโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานของอะตอมผู้รับหรืออิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ในระดับพลังงานของอะตอมผู้ให้รวมตัวกับโฮลที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ โดยการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.12



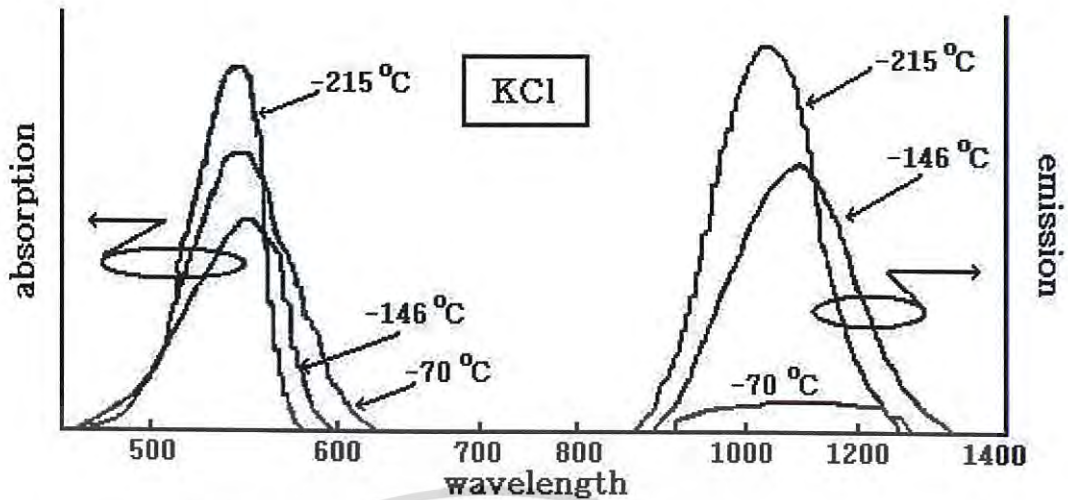
รูปที่ 2.12 แสดงการเรืองแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนอิสระและโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานของอะตอมผู้รับ (กรณีซ้าย) และการเรืองแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานของอะตอมผู้ให้และโฮลอิสระ (กรณีขวา)

3. กลไกการเรืองแสงที่เกิดเนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนระหว่างระดับพลังงานโลคอไลซ์

เกิดจากการย้ายสถานะของอิเล็กตรอนที่มีสถานะพลังงานแบบโลคอไลซ์ (localized states-to-localized states) ตัวอย่างเช่น การเรืองแสงจากศูนย์กลางเอฟ (F center) ในวัสดุชนิดอัลคาไลน์แฮไลด์ ซึ่งผลึกของวัสดุชนิดนี้เมื่อถูกอบให้ร้อนภายในบรรยากาศของโลหะหมู่อัลคาไลน์ (เช่น Li, Na, K, Rb, Cs และ Fr) จะทำให้อะตอมของโลหะอัลคาไลน์แพร่ซึมเข้าไปในเนื้อผลึกอัลคาไลน์แฮไลด์และทำให้ในเนื้อผลึกนั้นมีจำนวนอะตอมชนิดแฮไลด์ (เช่น F, Cl, Br, I และ At) ที่ไม่สมดุลกับอะตอมอัลคาไลน์ นั่นคือเปรียบเสมือนกับเกิดแวนแคนซีของไอออนของธาตุแฮไลด์ที่หลุดหายไป จากนั้นเพื่อให้สภาพทางไฟฟ้าเป็นกลางอิเล็กตรอนจะวิ่งไปถูกจับอยู่ที่แวนแคนซีของไอออนของธาตุแฮไลด์ที่หลุดหายไปซึ่งเป็นแวนแคนซีของไอออนลบที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวกเรียกว่า “ศูนย์กลางเอฟ (Fcenter)” และอิเล็กตรอนจะถูกแรงคูลอมบ์ดึงดูดไว้คล้ายกับแบบจำลองของอะตอมไฮโดรเจน และอิเล็กตรอนเหล่านั้นมีสถานะพลังงานอยู่ที่สถานะพื้น ต่อจากนั้นเมื่อฉายพลังงานโฟตอนตกกระทบผลึก พลังงานโฟตอนจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนย้ายสถานะจากสถานะพื้นสู่สถานะกระตุ้นจึงเกิดการดูดกลืนพลังงานโฟตอนขึ้น หลังจากนั้นเมื่ออิเล็กตรอนย้ายสถานะพลังงานกลับคืนสู่สถานะพื้นจะมีการเรืองแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงที่ตามองเห็นออกมา จึงทำให้ผลึกนั้นมีสีตามความยาวคลื่นของแสงที่ถูกเปล่งออกมา เราเรียกการเกิดข้อบกพร่องของโครงผลึกเช่นนี้ว่าเป็นการเกิด “ศูนย์กลางสี (color center) หรือ ศูนย์กลางเอฟ” ซึ่งย่อมาจากผู้ค้นพบคือ ฟาร์บี-เซนเทอม

รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของผลึกของสารประกอบ KCl จากรูปพบว่าพลังงานโฟตอนของการเรืองแสงจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานโฟตอนของการดูดกลืนพลังงานโฟตอน เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “การเลื่อนไปของสโตกส์” พลังงานโฟตอนส่วนที่ขาดไปนั้นถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนให้กับโครงผลึกตามกฎของแฟรง-คอนดอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของศูนย์กลางเอฟ (F center) ในผลึกของสารประกอบ KCl

4. กลไกการเรืองแสงจากเอ็กซิตอน

เอ็กซิตอนและโฮลที่ถูกกระตุ้นด้วยพลังงาน แต่พลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นนั้นยังมีค่ามากพอที่จะทำให้พาหะทั้งคู่แยกออกจากกันเป็นอิสระได้ กล่าวคือ ยังมีแรงดึงดูดคู่อ้อมบึงดูดให้อิเล็กตรอนและโฮลจับกันอยู่เป็นคู่ๆ และระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและโฮลยังอยู่ภายในช่องว่างพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนและโฮลดังกล่าวเกิดการรวมกันจะปลดปล่อยพลังงานโฟตอนออกมาโดยเอ็กซิตอนมี 2 ชนิดคือ

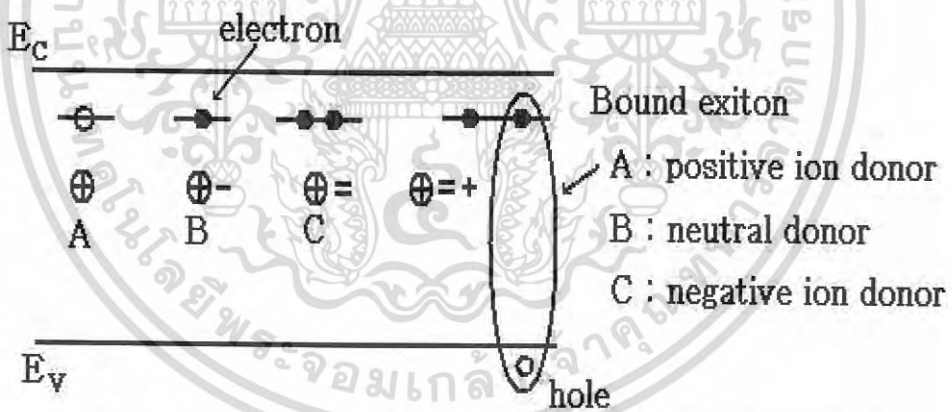
1. เอ็กซิตอนชนิดที่เป็นอิสระ (free exciton) หรือมอตต์แอนด์ แวนเนียร์เอ็กซิตอน (Mott and Wannier exciton) เนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮลจะอยู่ห่างกันมากกว่าหรือเท่ากับขนาดของค่าคงที่โครงผลึก (lattice constant) จึงมีแรงยึดเหนี่ยวคู่อ้อมบึง (Weakly bound) การเรืองแสงจากเอ็กซิตอนชนิดอิสระนี้มีค่าพลังงานโฟตอนน้อยกว่าขนาดของค่าช่องว่างพลังงานเล็กน้อย
2. เอ็กซิตอนชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวคู่อ้อมบึง (bound exciton) หรือเฟรนเคิลเอ็กซิตอน (Frenkel exciton) เนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮลอยู่ใกล้กันมาก คือ น้อยกว่าขนาดของค่าคงที่โครงผลึกดังนั้นพลังงานโฟตอนของแสงที่ถูกเปล่งออกมาจากการรวมตัวของคู่อิเล็กตรอนและโฮลจึงมีค่าน้อยกว่าขนาดของค่าช่องว่างพลังงานมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

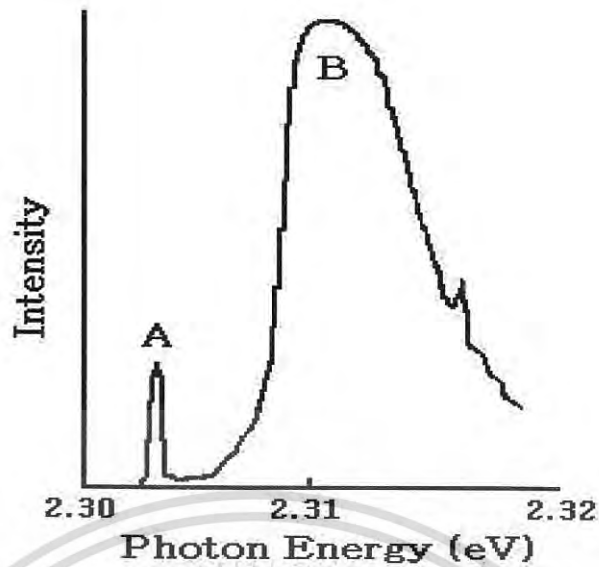
2.3.3 การเรืองแสงจากเอ็กซิตอนในปรากฏการณ์ต่างๆ

1. การเรืองแสงจากเอ็กซิตอนที่ถูกจับโดยอะตอมผู้ให้

การเรืองแสงจากเอ็กซิตอนที่ถูกจับโดยอะตอมผู้ให้ ตัวอย่างเช่น การเจือผลึกของสารประกอบกึ่งตัวนำ GaP ด้วยอะตอมของธาตุ S จะทำให้อะตอมของธาตุ S เข้าไปแทนที่อะตอมของธาตุ P และอะตอมของธาตุ S จะทำหน้าที่เป็นอะตอมผู้ให้ ในสภาพที่อะตอมของธาตุ S จับอิเล็กตรอนไว้นั้นอะตอมของธาตุ S ยังมีสภาพไฟฟ้าเป็นกลาง แต่ถ้าอะตอมของธาตุ S ปล่อนให้อิเล็กตรอนกระโดดขึ้นไปอยู่ในแถบนำ อะตอมของธาตุ S จะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอออนบวก ถ้ากำหนดให้สัญลักษณ์ “+” แทนไอออนบวกและสัญลักษณ์ “-” แทนสภาพอะตอมของธาตุ S ที่เป็นกลาง ดังนั้นถ้ามีอิเล็กตรอนอีกหนึ่งตัวมาจับที่อะตอมผู้ให้ที่เป็นกลางนี้จะทำให้อะตอมผู้ให้ที่เป็นกลางเปลี่ยนสภาพไปเป็นไอออนลบ ซึ่งสามารถแทนไอออนลบได้ด้วยสัญลักษณ์ “+” รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของการเกิดเอ็กซิตอนลักษณะดังกล่าวในสภาพเช่นนี้ถ้าบังเอิญมีโฮลวิ่งเข้ามาใกล้ไอออนลบนี้โฮลจะถูกแรงดึงดูดคลุมบ่งจากไอออนลบดึงดูดไว้และทำให้เกิดเป็นเอ็กซิตอนชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวด้านริมหวาและถ้าคู่อิเล็กตรอนและโฮลนี้มีการรวมตัวกันก็จะเกิดการเรืองแสงออกมา โดยรูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมการเรืองแสงจากเอ็กซิตอนชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวคลุมบ่งในสารประกอบกึ่งตัวนำ GaP:S



รูปที่ 2.14 แสดงแผนภาพเอ็กซิตอนที่ถูกจับที่ระดับพลังงานของอะตอมผู้ให้



รูปที่ 2.15 แสดงสเปกตรัมการเรืองแสงของเอ็กซิตอนชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวคู่อิเล็กตรอน-โฮลของผลึกของสารประกอบกึ่งตัวนำ GaP:S

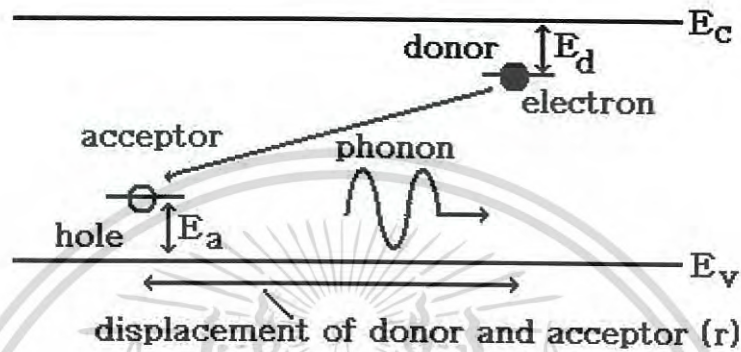
2. การเรืองแสงของเอ็กซิตอนที่ถูกจับด้วยกับดักไอโซอิเล็กทรอนิกส์ (isoelectronic trap)

พิจารณาตัวอย่างการเติมอะตอมของธาตุ N เข้าสู่ผลึกของสารประกอบกึ่งตัวนำ GaP ในกรณีนี้อะตอมของธาตุ N จะเข้าไปแทนที่อะตอมของธาตุ P แต่เนื่องจากทั้งอะตอมของธาตุ N และอะตอมของธาตุ P เป็นธาตุในหมู่ 5 เหมือนกันเพราะฉะนั้นสภาพไฟฟ้าจึงเป็นกลางเหมือนเดิม กล่าวคืออะตอมของธาตุ N ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นอะตอมผู้ให้หรืออะตอมผู้รับแต่อย่างใด แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากอะตอมของธาตุ N มีสมบัติในการดึงดูดอิเล็กตรอนได้ดีกว่าอะตอมของธาตุ P ดังนั้นถ้ามีอิเล็กตรอนในผลึกวิ่งมาใกล้อะตอมของธาตุ N ก็จะทำให้อะตอมของธาตุ N จับอิเล็กตรอนไว้ได้ดี ในสภาพเช่นนี้กล่าวได้ว่าอะตอมของธาตุ N นั้นกำลังสร้างกับดักไอโซอิเล็กทรอนิกส์ กับดักชนิดนี้มีสภาพประจุไฟฟ้าเป็นลบ ดังนั้นจึงสามารถมีแรงดึงดูดโฮลซึ่งมีประจุบวกให้เข้ามาใกล้ได้ดี จึงส่งผลให้เกิดเป็นเอ็กซิตอนขึ้นมา อิเล็กตรอนและโฮลในเอ็กซิตอนชนิดนี้สามารถรวมตัวกันได้ง่าย จึงทำให้ประสิทธิภาพของการเรืองแสงมีค่าสูงมาก ตัวอย่างเช่น ในกรณีผลึกสารประกอบกึ่งตัวนำ GaP ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดที่มีแถบพลังงานช่องว่างแบบเฉียง จึงมีประสิทธิภาพของการเรืองแสงไม่ดีนักแต่ถ้าเติมอะตอมของธาตุ N เข้าไปในผลึกของสารประกอบกึ่งตัวนำ GaP นี้จะสร้างกับดักไอโซอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นในผลึกได้และเกิดเอ็กซิตอน และทำให้การรวมตัวของพาหะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาก เปรียบเสมือนว่าผลึกของสารประกอบกึ่งตัวนำ GaP กลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดที่มีแถบพลังงานแบบตรง จึงมีการนำผลึกของสารประกอบกึ่งตัวนำ GaP ไปประดิษฐ์เป็นไดโอดเรืองแสงอย่างแพร่หลายและสามารถเรืองแสงสีแดงที่สว่างมากๆ ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเรืองแสงจากคู่ของอะตอมผู้ให้และอะตอมผู้รับ (DA pair)

การเรืองแสงที่เกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานผู้ให้และโฮลที่ถูกจับอยู่ที่ระดับพลังงานผู้รับโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพดีมาก รูปที่ 2.16 แสดงกลไกการรวมตัวของพาหะชนิดนี้ ตัวอย่างได้แก่การเจือผลึกของสารประกอบกึ่งตัวนำ GaP ด้วยอะตอมของธาตุ S ที่เป็นอะตอมผู้ให้และอะตอมของธาตุ C ที่เป็นอะตอมผู้รับพร้อมๆกัน



รูปที่ 2.16 แสดงแผนภาพการเรืองแสงที่เกิดจากการย้ายสถานะพลังงานระหว่างคู่ของอะตอมผู้ให้และอะตอมผู้รับ

2.3.4 การติดตั้งโฟโตลูมิเนสเซนซ์

พื้นฐานการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์จะเป็นไปตามไดอะแกรมที่แสดงดังรูป 2.17 แหล่งกำเนิดโฟโตที่ใช้กระตุ้นการเกิดลูมิเนสเซนซ์อาจเป็นเลเซอร์ หรือหลอดไฟโดยที่อาจจะ เป็นสเปกตรัมต่อเนื่องหรือพัลส์ก็ได้ ก่อนที่จะใช้โฟโตเหล่านี้ไปกระตุ้นสารตัวอย่างต้องใช้ฟิลเตอร์กรองแสงเพื่อเลือกความยาวคลื่นที่ต้องการก่อน ปกติชิ้นสารตัวอย่างมักจะเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ ขณะทำการวัดเพื่อลดปัญหาการเกิดโฟนอน



รูปที่ 2.17 แสดงแผนภาพการติดตั้งระบบวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์

แสงที่เปล่งออกมาจากชิ้นตัวอย่างจะถูกแยกสเปกตรัมโดยโมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ก่อนที่จะวัดโดยหัววัดสัญญาณแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งต่อไปยังภาคแสดงการวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กำหนดค่าความยาวคลื่นของโฟตอนที่ใช้ในการกระตุ้นคั้งที่แล้วทำการสแกนช่วงความยาวคลื่นโฟตอนที่สารตัวอย่างเปล่งออกมา โดยปกติพลังงานโฟตอนที่ถูกปลดปล่อยออกมามักจะมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานโฟตอนกระตุ้นซึ่งเป็นไปตามกฎของสโตกส์
2. กำหนดให้หัววัดเลี้ยววัดความยาวคลื่นโฟตอนคั้งที่ค่าหนึ่งแล้วทำการสแกนความยาวคลื่นโฟตอนที่ใช้กระตุ้น
3. กำหนดให้ความยาวคลื่นของโฟตอนที่ใช้กระตุ้นและที่ปลดปล่อยออกมาคั้งที่ และทำการวัดสเปกตรัมการเกิดลูมิเนสเซนซ์ เทียบกับเวลาเมื่อโฟตอนที่ใช้กระตุ้นเป็นพัลส์เดี่ยวโดยปกติสเปกตรัมในแบบที่ 1 และ 2 ที่ทำการบันทึกจะเป็นค่าระหว่างความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นนาโนเมตรกับความเข้มของโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมามีหน่วยเป็นหน่วยใดๆ

2.3.4 พลังงานกระตุ้น

การเลือกแหล่งกำเนิดโฟตอนเพื่อใช้เป็นพลังงานกระตุ้นนั้นขึ้นกับว่าเราต้องการวัดลูมิเนสเซนซ์ในรูปแบบไหน เช่น เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดโฟตอนอาพันธ์มีลำแสงขนานและเลเซอร์บางชนิดเป็นพัลส์สัญญาณค่อนข้างสั้น เหมาะกับการวัดในรูปแบบที่ 1 และ 3 ในการใช้เลเซอร์ ทำให้มีสัญญาณรบกวนต่ำแต่มีข้อเสียคือการเลือกช่วงความยาวคลื่นทำได้ยากการใช้หลอดไฟสุญญากาศก็ทำให้แก้ปัญหานี้ได้เนื่องจากมีช่วงความยาวคลื่นกว้าง (broadband) จึงเหมาะกับการวัดในรูปแบบที่ 2 ซึ่งหลอดไฟมีให้เลือกใช้หลายชนิดและความเข้ม

2.3.5 การแตกตัวเป็นไอออนเนื่องจากแสง (photoionization)

เป็นกระบวนการทางกายภาพที่เกิดจากโฟตอนเคลื่อนที่เข้าชนกับอะตอม ไอออน หรือโมเลกุล ผลที่ได้คือ การหลุดออกมาของอิเล็กตรอนหนึ่งตัวซึ่งการหลุดออกมาของอิเล็กตรอนเป็นที่รู้จักกันในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตรอน และมีพลังงานจลน์เท่ากับค่าของพลังงานโฟตอนลบด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน โฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนจะเกิดการกระตุ้นแต่ไม่เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตรอนเมื่อเคลื่อนที่เข้าชนกับอะตอมหรือไอออนตัวอย่างเช่น การทำให้อะตอมของไฮโดรเจนแตกตัวเป็นไอออนโฟตอนต้องมีพลังงานมากกว่า 13.6 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งสอดคล้องกับความยาวคลื่น 91 นาโนเมตร สำหรับโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่านี้พลังงานของการปล่อยโฟโตอิเล็กตรอนสามารถหาได้ดังสมการที่ (2.2)

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - 13.6 \text{ eV} \quad (2.2)$$

โดย h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ = 6.625×10^{-34} จูล-วินาที

ν คือ เป็นค่าความถี่ของโฟตอน

ไม่ใช่ทุกโฟตอนที่เคลื่อนที่เข้าชนกับอะตอมหรือไอออนแล้วจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน เนื่องจากแสง ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนเนื่องจากแสง นั้นเกี่ยวข้องกับภาคตัดขวางของการแตกตัวเป็นไอออนเนื่องจากแสง ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าพลังงานของโฟตอนและไอออน หรืออะตอมที่เราสนใจ สำหรับพลังงานโฟตอนที่ต่ำกว่าค่าที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน จะได้ว่าภาคตัดขวางของการแตกตัวเป็นไอออนมีค่าเป็นศูนย์และถ้ามีค่ามากกว่าพลังงานกระตุ้นภาคตัดขวางจะลดแบบผกผันกับค่าพลังงานโฟตอนยกกำลังสาม

2.3.6 รัสเซลล์-ซอนเดอร์คัปปลิง (Russell-Saunders coupling)

รัสเซลล์ และ ซอนเดอร์พบวิธีหาผลรวมของค่าโมเมนตัมเชิงมุมของออร์บิทัล และของสปินของอิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุเบา (ที่มีเลขอะตอม Z ต่ำกว่า 40) อันตรกิริยาระหว่างโมเมนตัมเชิงมุมของออร์บิทัลค่าต่างๆ (l_i) จะมีค่าแรงกว่าอันตรกิริยาระหว่างโมเมนตัมเชิงมุมของสปินค่าต่างๆ (s_i) ดังนั้นผลรวมของโมเมนตัมเชิงมุมของออร์บิทัล คือ L และผลรวมของโมเมนตัมเชิงมุมของสปิน คือ S โดยที่

$$L = \sum_{i=1}^p l_i ; S = \sum_{i=1}^p s_i \quad (2.3)$$

ผลรวมนี้เป็นของอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นพี (p-shell) ที่มีอิเล็กตรอนไม่เต็มแต่สำหรับวงโคจรชั้นพี ที่มีอิเล็กตรอนครอบครองอยู่เต็ม แล้วค่า L และ S จะมีค่าเป็นศูนย์ ยิ่งกว่านั้นค่า L และ S จะมีอันตรกิริยาต่อกันอย่างอ่อนๆ ซึ่งเรียกว่า อันตรกิริยาระหว่างค่าโมเมนตัมเชิงมุมของออร์บิทัลกับของสปิน $L \cdot S$ ของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนสองตัวซึ่งจะทำให้เกิดการแตกออกของระดับพลังงานที่แสดงด้วยค่าแฟกเตอร์ของการแตกออก (splitting factor : g_j เมื่อ $\mu_m = -g_j \mu_B J$) ของระดับพลังงาน โดยจะสร้างตัวดำเนินการโมเมนตัมเชิงมุมรวมให้เป็น $\hbar J$ ซึ่งเลขควอนตัมของโมเมนตัมเชิงมุมรวม คือ J โดยที่

$$J = (L + S), (L + S + 1), \dots, |L - S + 1|, |L - S| \quad (2.3ก)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคัปปลิงระหว่างโมเมนตัมเชิงมุมของออร์บิทัลกับโมเมนตัมเชิงมุมของสปิน เรียกว่า รัสเซลล์-ฮอนเดอร์คัปปลิง รูปที่ 2.21 แสดงผลรวมของโมเมนตัมเชิงมุมของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนสองตัวแต่เนื่องจากสมการดังกล่าวนี้เป็นผลรวมทางเวกเตอร์ ดังนั้นผลลัพธ์จึงมีได้หลายแบบ ยกตัวอย่างเช่น ถ้า $s_1 = \frac{1}{2}$ และ $s_2 = \frac{1}{2}$ แล้ว $S = 1$ หรือ 0 และถ้า $l_1 = 2$ และ $l_2 = 2$ (d -ออร์บิทัล) แล้ว $L = 4, 3, 2, 1$ หรือ 0

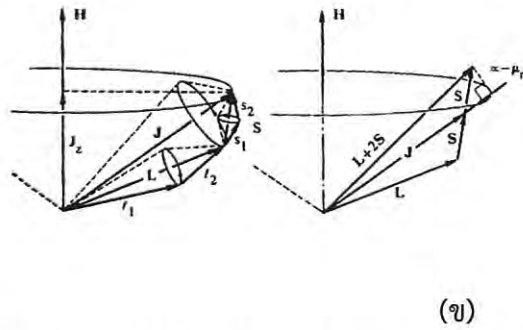
ระดับพลังงานที่เป็นไปได้ตามสมการที่ (2.3ก) เรียกว่า มัลติเพลต (multiplet) และนิยามของมัลติพลิตี (multiplicity) ของระบบคือ $2S + 1$ ในกรณีที่ค่า $L \geq S$ แล้ว จะได้มัลติเพลตจำนวน $2S + 1$ ค่า แต่ในกรณีที่ค่า $L < S$ แล้วจะได้มัลติเพลตจำนวน $2L + 1$ ค่าระยะห่างระหว่างมัลติเพลตจะกำหนดโดยค่าคงที่ของสปิน-ออร์บิตคัปปลิง (spin-orbit coupling constant : λ) จะได้ว่าพลังงานของอันตรกิริยาค่าโมเมนตัมเชิงมุมรวมของสปิน คือ

$$V_{so} = \lambda L \cdot S \quad (2.4)$$

ดังนั้นระดับพลังงานของเลขควอนตัมของโมเมนตัมเชิงมุมรวม J คือ

$$\left(\frac{\lambda}{2}\right)[J(J+1) - L(L+1) - S(S+1)] \quad (2.5)$$

ซึ่งสมการที่ (2.5) ได้มาจากตัวดำเนินการ คือ $J^2 = L^2 + S^2 + 2L \cdot S$ และค่าไอเกน (eigenvalues) คือ $J \cdot J = J(J+1)$, $L \cdot L = L(L+1)$ และ $S \cdot S = S(S+1)$ ก่อนอื่นจะกล่าวถึงการกำหนดสถานะพื้น (ground state) และจะกล่าวถึงพฤติกรรมของระดับพลังงานเหล่านี้เมื่ออะตอมอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กต่อไป



รูปที่ 2.18 แสดงปรากฏการณ์คัปปลิงของอันตรกิริยาระหว่างโมเมนต์เชิงมุมของออร์บิทัลกับสปินของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนสองตัว

ก. แสดงรีเซิลล์-ซอนเดอร์คัปปลิงของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนสองตัว

ข. แสดงวิธีการคำนวณหาค่าแฟกเตอร์ของการแตกออกของระดับพลังงาน g_J เมื่อ

$$\mu_m = -g_J \mu_B J$$

2.3.7 กฎของฮุนด์

กฎของฮุนด์ได้ประยุกต์ใช้สำหรับอิเล็กตรอนที่ให้ลักษณะพิเศษของค่า S , L และ J ที่สถานะพื้น (ground state) ของอะตอม

1. ค่า S ที่ใหญ่ที่สุดสอดคล้องกับหลักการกีดกันของเพาลีที่จะอธิบายที่สถานะพื้นนั้น ถ้าอิเล็กตรอนสองตัวในอะตอมมีสถานะออร์บิทัลเดียวกันอิเล็กตรอนต้องมีสปินที่ตรงข้ามกัน อย่างไรก็ตามแรงผลักรวมของอิเล็กตรอนทั้งสองตัวจะมีค่าต่ำลงถ้าอิเล็กตรอนทั้งสองอยู่ในออร์บิทัลที่ต่างกัน อิเล็กตรอนทั้งสองตัวสามารถมีสปินแบบขนานหรือทิศตรงข้าม แต่ในการแลกเปลี่ยนนั้นจะเป็นจำนวนเต็ม สำหรับวงโคจรที่ตั้งฉากกันจะเป็นบวกเสมอ พลังงานที่ต่ำกว่าของเหตุการณ์สปินที่ขนานกันกับเหตุการณ์ที่สปินตรงข้ามกัน
2. ค่า L สูงตรงกับค่า S ในกฎข้อแรกจะอธิบายที่สถานะพื้น กฎข้อนี้จะยากกว่าที่จะอธิบายทางคุณภาพ โดยการคำนวณทางปริมาณนั้นเป็นที่ต้องการ
3. ค่า $J = |L - S|$ เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจร (shell) นั้นมีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่ง และจะเท่ากับ $|L + S|$ เมื่ออิเล็กตรอนมีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่ง

ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างในกรณีของ Ce^{3+} เมื่อ $4f^1$ ที่ค่า $S = 1/2$ และ $\ell = 3$ สำหรับอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรเอฟนี้ (f-shell) ดังนั้นสำหรับสถานะพื้น: ค่า $S = 1/2$; $L = 3$; $J = 5/2$ ทำให้ได้สเปกโทรสโกปีโนเทนซ์ $^2F_{5/2}$ ทางซ้ายบนบอกถึงมัลติพลิตีตีเป็นสปินดีเจเนอเรซี $2S + 1$ ทางขวาล่าง เป็นค่า J และอักษร เป็นระบุค่า L

$$L = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$$

$$S, P, D, F, G, \dots$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสัญลักษณ์เป็น $^{2S+1}L_J$ ในกรณีที่มีอิเล็กตรอนสองตัว $4f^2(\text{Pr}^{3+})$ จากกฎของฮุนด์จะ
 ได้ว่า $S = 1$ เนื่องจากสปินของอิเล็กตรอนทั้งสองเหมือนกัน เฉพาะอิเล็กตรอนตัวแรกสามารถมี
 $m_l = 3$ ดังนั้นอิเล็กตรอนตัวที่ 2 จึงมี $m_l = 2$ และได้ $L = 5$; $J = 4$ ดังนั้นจึงได้สถานะเป็น 3H_4
 ตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงถึงผลลัพธ์สำหรับอะตอมที่มีอิเล็กตรอนอยู่ในวงโคจรชั้นเอฟ
 (f-shell) และ ชั้นดี (d-shell)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า S , L และ J ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นดี (d - shell : $l = 2$) และ
 วงโคจรชั้นเอฟ (f - shell : $l = 3$)

n	$m_l = 2, 1, 0, -1, -2$					S	$L = \Sigma m_l $	J		
1	↓					1/2	2	3/2	$^2D_{3/2}$	Ti ³⁺
2	↓	↓				1	3	2	3F_2	V ³⁺
3	↓	↓	↓			3/2	3	3/2	$^4F_{3/2}$	Cr ³⁺
4	↓	↓	↓	↓		2	2	0	5D_0	Cr ²⁺
5	↓	↓	↓	↓	↓	5/2	0	5/2	$^6S_{5/2}$	Fe ³⁺ , Mn ²⁺
6	↓↑	↑	↑	↑	↑	2	2	4	6D_4	Fe ²⁺
7	↓↑	↓↑	↑	↑	↑	3/2	3	9/2	$^4F_{9/2}$	Co ²⁺
8	↓↑	↓↑	↓↑	↑	↑	1	3	4	3F_4	Ni ²⁺
9	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↑	1/2	2	5/2	$^2D_{5/2}$	Cu ²⁺
10	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	0	0	0	1S_0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า S , L , J และ g_ℓ ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นดี (d - shell : $l = 2$) และวงโคจรชั้นเอฟ (f - shell : $l = 3$)

n	$m_\ell = 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3$							S	$L = \sum m_\ell $	J		g_ℓ	
0								0	0	0	1S_0	0	La ³⁺
1	↓							1/2	3	5/2	$^2F_{5/2}$	6/7	Ce ³⁺
2	↓	↓						1	5	4	3H_4	4/5	Pr ³⁺
3	↓	↓	↓					3/2	6	9/2	$^4I_{9/2}$	8/11	Nd ³⁺
4	↓	↓	↓	↓				2	6	4	5I_4	3/5	Pm ³⁺
5	↓	↓	↓	↓	↓			5/2	5	5/2	$^6H_{5/2}$	2/7	Sm ³⁺
6	↓	↓	↓	↓	↓	↓		3	3	0	7F_0	-	Eu ³⁺
7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7/2	0	7/2	$^8S_{7/2}$	2	Gb ³⁺
8	↓↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	3	3	6	7F_6	3/2	Tb ³⁺
9	↓↑	↓↑	↑	↑	↑	↑	↑	5/2	5	15/2	$^6H_{15/2}$	4/3	Dg ³⁺
10	↓↑	↓↑	↓↑	↑	↑	↑	↑	2	6	8	5I_8	5/4	Ho ³⁺
11	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↑	↑	↑	3/2	6	16/2	$^4I_{15/2}$	6/5	Er ³⁺
12	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↑	↑	1	5	6	3H_6	7/6	Tm ³⁺
13	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↑	1/2	3	7/2	$^2F_{7/2}$	8/7	Yb ³⁺
14	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	0	0	0	1S_0	0	Lu ³⁺

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8 การบวกของสปินสองตัว

โดยปกติฟังก์ชันเจาะจงที่สมบูรณ์(complete eigenfunction)มักจะแสดงอยู่ในรูปของผลคูณระหว่างฟังก์ชันเจาะจงสเปเชียล(spatial eigenfunction) กับฟังก์ชันเจาะจงสปิน(spin eigenfunction) ถ้าประมาณว่า ขณะนี้ยังไม่คิดอันตรกิริยาระหว่างโมเมนต์เชิงมุมของสปินกับโมเมนต์เชิงมุมของวงโคจร (spin-orbit interaction) ดังนั้น m_s ในแนวแกนยังไม่เปลี่ยนแปลง ฟังก์ชันเจาะจงของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนหนึ่งตัว $\psi_{nlm_l m_s}$ มักจะแสดงได้ดังสมการที่ (2.6) ดังนี้ คือ

$$\psi_{nlm_l m_s} = \psi_{nlm_l} \sigma_{m_s} \quad (2.6)$$

ถ้าระบบประกอบด้วยอิเล็กตรอน 2 ตัว สำหรับฟังก์ชันเจาะจงของอิเล็กตรอนตัวที่ 1 จะแสดงได้ดังนี้ คือ

$$\psi_\alpha(1) = \psi_a(1) \sigma_{m_s}(1) \quad (2.7)$$

โดยที่เลขควอนตัม a แทนเลขควอนตัม n, l, m_l, m_s และฟังก์ชันเจาะจงที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอิเล็กตรอนตัวที่ 1 และตัวที่ 2 จะเขียนได้ดังนี้ คือ

$$\begin{aligned} \psi_{\alpha\beta} &= \psi_\alpha(1)\psi_\beta(2) \\ &= \psi_a(1)\psi_b(2)\sigma_{m_{sa}}(1)\sigma_{m_{sb}}(2) \end{aligned} \quad (2.8)$$

เพื่อความสะดวกมักจะเขียนอยู่ในรูปที่กะทัดรัดดังนี้ คือ

$$\psi_{\alpha\beta} = \psi_{ab} \sigma_{m_{sa} m_{sb}} \quad (2.9)$$

แต่สมการที่ (2.9) ยังไม่เป็นฟังก์ชันเจาะจงแบบปฏิสมมาตร(anti-symmetric eigenfunction) อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะสร้างฟังก์ชันเจาะจงแบบปฏิสมมาตร โดยการนำผลบวกของฟังก์ชันเจาะจงสเปเชียลแบบสมมาตร หรือแบบปฏิสมมาตร(symmetric or antisymmetric linear combination of spatial eigenfunctions) คูณกับผลบวกของฟังก์ชันเจาะจงสปินที่มีสมมาตรต่างกับฟังก์ชันเจาะจงสเปเชียล ซึ่งฟังก์ชันเจาะจงสเปเชียลแบบสมมาตรจะเขียนได้ดังนี้ คือ

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{ab} + \psi_{ba}) \quad (2.10)$$

ส่วนฟังก์ชันเจาะจงสเปเชียลแบบปฏิสมมาตร คือ

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{ab} - \psi_{ba}) \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับฟังก์ชันเจาะจงสปินของระบบที่ประกอบไปด้วยอิเล็กตรอน 2 ตัว ซึ่ง m_s จะมีค่าได้เป็น $-1/2$ และ $1/2$ ดังนั้นลักษณะของสปินที่เป็นไปได้มี 4 แบบ คือ

$$\sigma_{+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}}, \sigma_{+\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}, \sigma_{-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}}, \sigma_{-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}$$

และฟังก์ชันเจาะจงสปินจะเป็นแบบสถานะซุดเดี่ยว (singlet) และสถานะซุดสาม (triplet) ดังนี้ คือ

$$\text{สถานะซุดเดี่ยว} \quad \frac{1}{\sqrt{2}}(\sigma_{+\frac{1}{2}-\frac{1}{2}} - \sigma_{-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}})$$

$$\text{สถานะซุดสาม} \quad \begin{cases} \sigma_{+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(\sigma_{+\frac{1}{2}-\frac{1}{2}} - \sigma_{-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}}) \\ \sigma_{-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (2.12)$$

ฟังก์ชันเจาะจงสถานะสปินแบบสถานะซุดเดี่ยวจะมีลักษณะไม่สมมาตรเนื่องจากการสลับสัญลักษณ์ 1 และ 2 จะให้ผลต่างไปจากเดิม ส่วนฟังก์ชันเจาะจงที่แสดงสถานะซุดสามจะเป็นฟังก์ชันเจาะจงสปินแบบสมมาตร เนื่องจากการสลับสัญลักษณ์ 1 และ 2 ไม่ทำให้สมการทั้งสามต่างไปจากเดิม ฟังก์ชันเจาะจงของระบบที่มีอิเล็กตรอน 2 ตัวจะแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงฟังก์ชันเจาะจงของระบบที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 2 ตัว

สถานะเจาะจง	การปรับแนวสปิน	ฟังก์ชันเจาะจงสปิน	S	M_s	S_1	S_2
ซุดเดี่ยว	$\uparrow\downarrow - \downarrow\uparrow$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(\sigma_{+\frac{1}{2}-\frac{1}{2}} - \sigma_{-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}})$	0	0	1/2	1/2
ซุดสาม	$\uparrow\uparrow$	$\sigma_{+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}}$	1	1	1/2	1/2
	$\uparrow\downarrow + \downarrow\uparrow$	$\frac{1}{\sqrt{2}}(\sigma_{+\frac{1}{2}-\frac{1}{2}} + \sigma_{-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}})$	1	0	1/2	1/2
	$\downarrow\downarrow$	$\sigma_{-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}$	1	-1	1/2	1/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเจาะจงสมบูรณ์ที่เป็นแบบปฏิสมมาตร ทั้ง 4 ฟังก์ชันของระบบที่ยังไม่พิจารณาอันตรกิริยาระหว่างโมเมนต์วงโคจรและโมเมนต์เชิงมุมจะแสดงได้ดังนี้ คือ

$$\psi_A = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{ab} + \psi_{ba})\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\sigma_{+\frac{1}{2}\frac{1}{2}} - \sigma_{-\frac{1}{2}\frac{1}{2}}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{ab} - \psi_{ba})\sigma_{+\frac{1}{2}\frac{1}{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{ab} - \psi_{ba})\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\sigma_{+\frac{1}{2}\frac{1}{2}} + \sigma_{-\frac{1}{2}\frac{1}{2}}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{ab} - \psi_{ba})\sigma_{-\frac{1}{2}\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (2.13)$$

สมการทั้ง 4 นี้มีสมบัติเป็นสภาพปกติ (normalized) เป็นสภาวะเชิงตั้งฉาก (orthogonality) และมีสภาพซ้อนสถานะ (degeneracy)

สำหรับระบบที่ประกอบไปด้วยอิเล็กตรอน 2 ตัว เวกเตอร์ของโมเมนต์เชิงมุมสปินรวมจะแสดงได้ดังนี้ คือ

$$\vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2$$

ซึ่งขนาดของโมเมนต์เชิงมุมสปินรวมจะมีค่าดังนี้ คือ

$$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar$$

$$S_z = m_s \hbar$$

เมื่อ

$$m_s = -s, \dots, +s$$

โดยที่

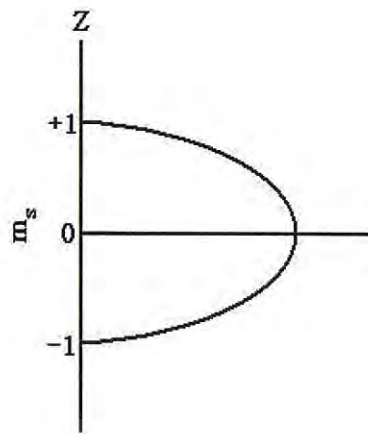
$$s = 0, 1$$

ถ้ากำหนดให้อิเล็กตรอนทั้งสองตัวมีเวกเตอร์สปินเท่ากับ $s_1 = 1/2$ และ $s_2 = 1/2$ เวกเตอร์ลัพธ์ของสปินทั้งสองในแนวแกน z จะเป็น $s = 0$ และ 1 ตามลำดับดังรูปที่ 2.19 ซึ่งฟังก์ชันเจาะจงสปินของสถานะชุดเดียวจะสอดคล้องกับ $s = 0$ ส่วนฟังก์ชันเจาะจงสปินแบบชุดสามจะสอดคล้องกับ $s = 1$

$$s_1 = 1/2 \quad \uparrow\downarrow \quad s_2 = 1/2 \\ s = 0$$

$$s_1 = 1/2 \quad \uparrow \\ s_2 = 1/2 \quad \uparrow \quad \uparrow \quad s = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงแผนภาพการรวมเวกเตอร์สปินของอะตอมที่มีอิเล็กตรอน 2 ตัว

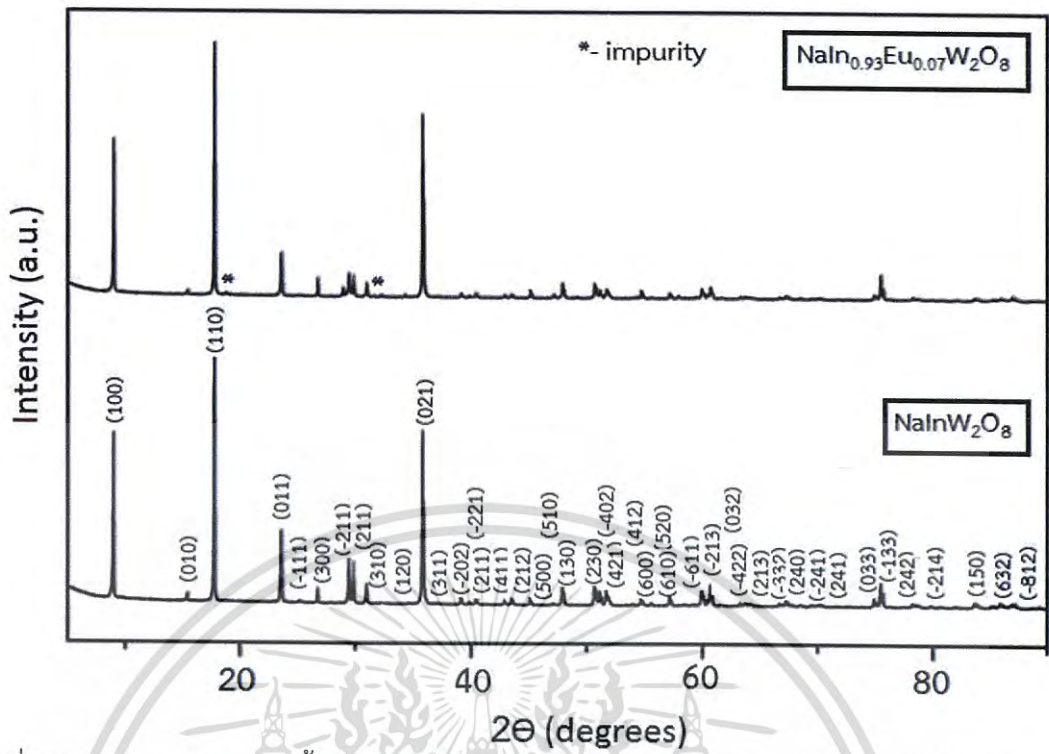
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง(Asiri Naidu, 2012)

ไนท์ดูและผู้ร่วมงาน ได้ทำการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของธาตุหายากของไอออน Tb^{3+} และ Eu^{3+} ที่เจือลงในเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $NalnW_2O_8$ ที่มีโครงสร้างผลึกแบบบูลแฟรไมต์โดยการเกิดเป็นปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็งจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกสารประกอบ Li_2CO_3 , Na_2CO_3 , In_2O_3 , WO_3 , Eu_2O_3 และ Tb_7O_{12} ซึ่งทำการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในบรรยากาศ แล้วนำสารตั้งต้นตามปริมาณสารสัมพันธ์มาบดให้ละเอียดแล้วใส่ในครุชีเบิลแพลทินัม และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในบรรยากาศ ส่วนการสังเคราะห์เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $LilnW_2O_8$ ซึ่งทำการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ในบรรยากาศ

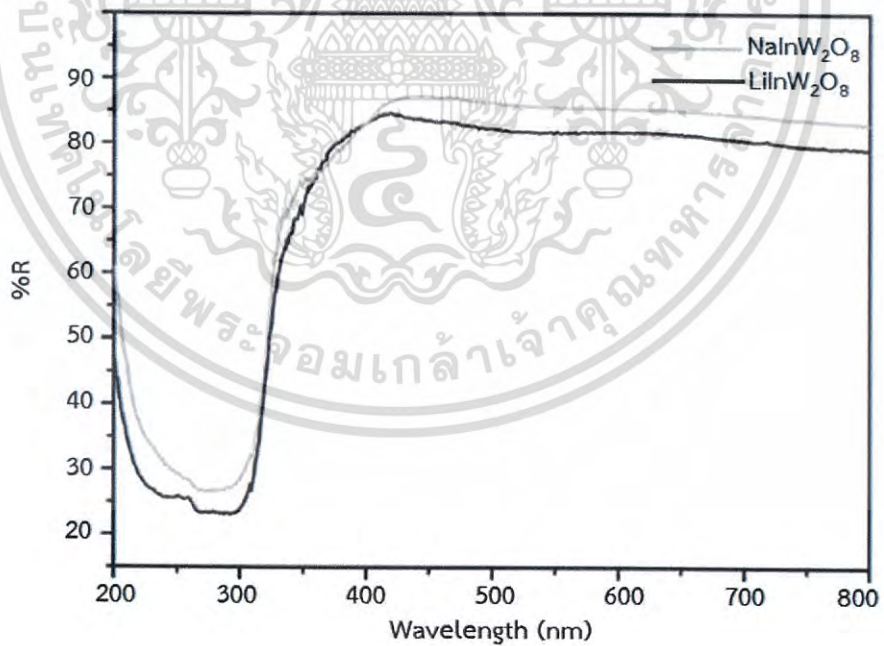
รูปที่ 2.21 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{0.93}Eu_{0.07}W_2O_8$ และ $NalnW_2O_8$ ทุกพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{1-x}RE_xW_2O_8$ ที่เจือด้วยไอออนของธาตุ Tb^{3+} และ Eu^{3+} ($0 \leq x \leq 0.05$) เฟสขึ้นอยู่กับผลึกระบบโมโนคลินิกกลุ่ม P2/c

สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $NalnW_2O_8$ คล้ายกับเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $LilnW_2O_8$ มาก ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ค่าช่องว่างแถบพลังงานแสงสามารถคำนวณจากการเริ่มต้นการดูดกลืนแสงโดย Tandon และ Gupta ผลการวัดค่าช่องว่างแถบพลังงานของ $NalnW_2O_8$ และ $LilnW_2O_8$ คือ 3.66 และ 3.85 อิเล็กตรอนโวลต์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



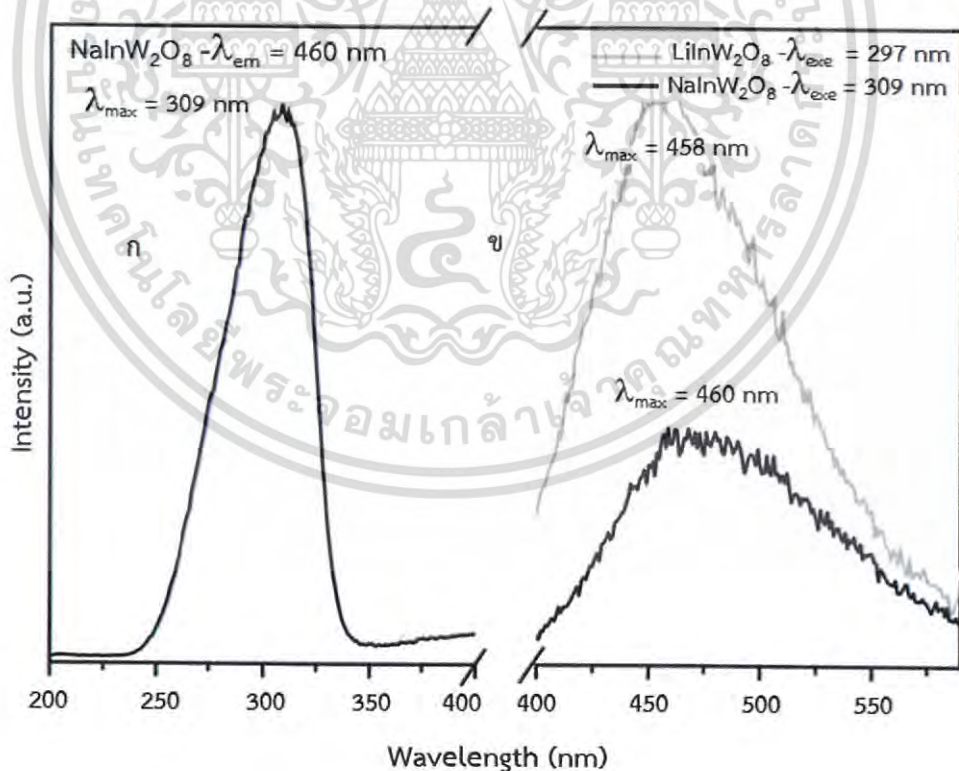
รูปที่ 2.21 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaInW_2O_8 และ $\text{NaIn}_{0.93}\text{Eu}_{0.07}\text{W}_2\text{O}_8$



รูปที่ 2.22 แสดงสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaInW_2O_8 และ LiInW_2O_8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมการกระตุ้น PL ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaInW_2O_8 ที่ความยาวคลื่นมากที่สุดที่ 309 นาโนเมตร จะได้สเปกตรัมการเปล่งแสง 460 นาโนเมตรดังแสดงในรูปที่ 2.23(ก) จุดกำเนิดของการเปล่งแสงสีน้ำเงินในแลททิซเพื่อนบ้านสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากการทรานซิชันภายในสารประกอบ InO_6 และ/หรือ สารประกอบ WO_6 ในความเป็นจริงการเปล่งแสงสีน้ำเงินภายใต้การฉายรังสียูวี เช่นเดียวกับในสารทั้งสแตนบริสุทธิ์เช่นเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{KLu}(\text{WO}_4)_2$ และ $\text{AgLa}(\text{WO}_4)_2$ หรือ ในสารอินทรีย์บริสุทธิ์ เช่น สารประกอบ LaInO_3 , CaIn_2O_4 หรือ SrIn_2O_4 , WO_6 มีโครงสร้างแบบออกตะฮีดรัล เมื่อไม่นานมานี้ได้มีรายงานของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ LiInW_2O_8 และ LiScW_2O_8 ส่วนมากแสดงการเปล่งแสงสีน้ำเงินของทั้งสองสารประกอบ ดังนั้นในปัจจุบันการศึกษาสารประกอบ WO_6 ที่โครงสร้างแบบออกตะฮีดรัล ส่วนมากแสดงการเปล่งแสงสีน้ำเงินของ NaInW_2O_8 การเรืองแสงบริสุทธิ์ของทั้งสแตนเนื่องจากการทรานซิชันของอิเล็กตรอน 3T_1 และ ${}^3T_2 \rightarrow {}^1A_1$ นอกจากนี้ความเข้มการเรืองแสงของเม็ดเซรามิกสารประกอบ LiInW_2O_8 และ NaInW_2O_8 รูปที่ 4(ข) แสดงว่าความเข้มการเปล่งแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ LiInW_2O_8 มากกว่า NaInW_2O_8 ดังนั้นสารประกอบ WO_6 มีโครงสร้างแบบออกตะฮีดรัลมีการบิดตัวของแลททิซเพื่อนบ้านในเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaInW_2O_8 มากกว่าเมื่อเทียบกับเม็ดเซรามิกของสารประกอบ LiInW_2O_8 ที่แสดงการเปรียบเทียบของระยะห่างภายในอะตอมในตารางที่ 2.5



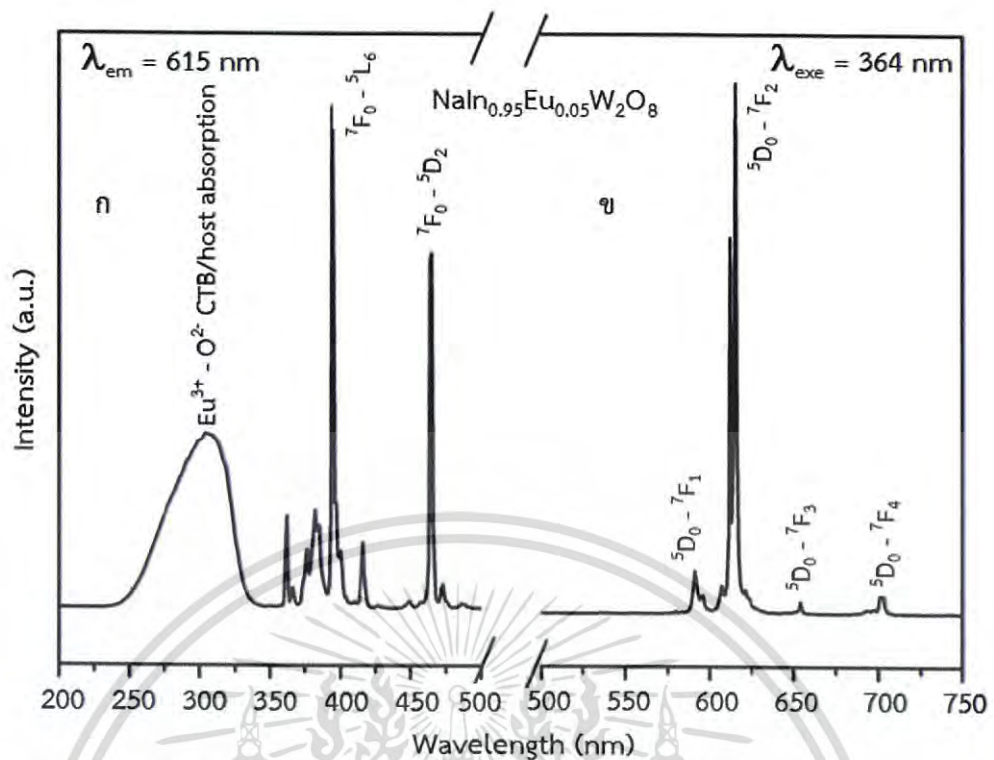
รูปที่ 2.23 แสดงสเปกตรัมแถบกระตุ้นของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaInW_2O_8 และ สเปกตรัมแถบเรืองแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaInW_2O_8 และ LiInW_2O_8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

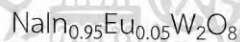
ตารางที่ 2.5 แสดงระยะห่างระหว่างพันธะเคมีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaInW_2O_8 และ LiInW_2O_8

W-O(1)	1.98	W-O(1)	1.84
W-O(1)	2.16	W-O(2)	1.72
W-O(2)	1.79	W-O(3)	1.88
W-O(3)	1.84	W-O(4)	1.9
W-O(3)	2.07	W-O'(3)	2.09
W-O(4)	1.81	W-O'(4)	2.24
W-O	1.94	W-O	1.94
In-O(1)	2.10×2	In-O(1)	2.16×2
In-O(2)	2.08×2	In-O'(1)	2.31×2
In-O(4)	2.23×2	In-O(4)	2.11×2
In-O	2.14	In-O	2.19
Li-O(2)	2.37×2	Na-O(2)	2.25×2
Li-O(3)	2.15×2	Na-O'(2)	2.42×2
Li-O(4)	2.07×2	Na-O'(3)	2.39×2
Li-O	2.19	Li-O	2.35

รูปที่ 2.24 แสดงสเปกตรัมของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.95}\text{Eu}_{0.05}\text{W}_2\text{O}_8$ (615 นาโนเมตร) สเปกตรัมการกระตุ้นของแถบพลังงานในช่วง 200-350 นาโนเมตรด้วยความยาวคลื่นมากที่สุด 309 นาโนเมตรและลักษณะการดูดกลืนของแลททิซเพื่อนบ้าน (รูปที่ 2.23ก) การเกิด charge transfer band (CTB) ของอะตอมไอออน $\text{Eu}^{3+} - \text{O}^{2-}$ ไม่ชัดเจนในสเปกตรัมการกระตุ้น เนื่องจากการซ้อนทับแถบการดูดกลืนของ host พิกที่ 395 นาโนเมตร (${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_6$) และ 456 นาโนเมตร (${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_1$) เนื่องจากการทรานซิชันของอิเล็กตรอนของอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานภายในชั้น f-f ของไอออน Eu^{3+} การทรานซิชันของ ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{F}_6$ ที่การกระตุ้น 395 นาโนเมตรมีมากกว่าเกือบทุกการทรานซิชันในสเปกตรัมการกระตุ้น ในกรณีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ LiInW_2O_8 ที่เจือด้วยไอออนของธาตุ Eu^{3+} จากสเปกตรัมการกระตุ้นที่ 297 นาโนเมตรการดูดกลืนของ host จะโดดเด่นกว่าทุกการทรานซิชันแม้ว่าแลททิซเพื่อนบ้านของสารประกอบทั้งสองเหมือนกับตระกูลลิวทอปไรต์ สเปกตรัมการเปล่งแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.95}\text{Eu}_{0.05}\text{W}_2\text{O}_8$ ที่กระตุ้นที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตรแสดงในรูปที่ 2.24(ข) ในช่วงความยาวคลื่น 575 – 700 นาโนเมตรคือการทรานซิชันจาก ${}^5\text{D}_0$ ไป ${}^7\text{F}_j$ ($j=0-4$) ของไอออน Eu^{3+} การทรานซิชันอิเล็กทริกไดโพลที่ความยาวคลื่น 615 นาโนเมตรเป็นที่โดดเด่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



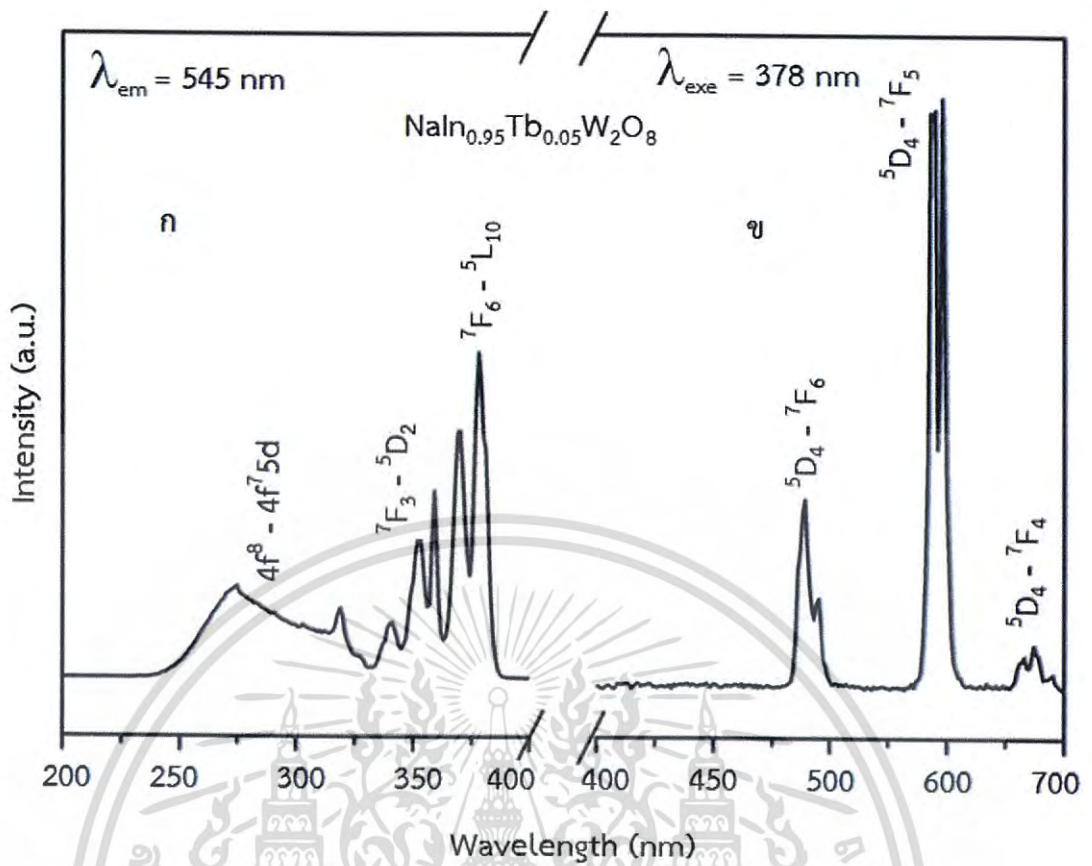
รูปที่ 2.24 แสดงสเปกตรัมแถบกระตุ้นและแถบเรืองแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ



สเปกตรัมแถบกระตุ้น และแถบเรืองแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.95}\text{Tb}_{0.05}\text{W}_2\text{O}_8$ แสดงในรูปที่ 2.25(ก) และ 2.25(ข) ไม่มีการดูดกลืนของแลททิซ ในแถบกระตุ้นที่อยู่ในช่วง 240 – 300 นาโนเมตร ซึ่งคือการทรานซิชันของระดับพลังงาน $4f^8 - 4f^75d^1$ แถบกระตุ้นในช่วง 310 – 400 นาโนเมตร คือการทรานซิชันของระดับพลังงานภายใน $4f - 4f$ ของไอออนของธาตุ Tb^{3+} สเปกตรัมของแถบเรืองแสงที่มีความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร (การทรานซิชันของระดับพลังงาน $5D_4 \rightarrow 7F_6$), ที่ความยาวคลื่น 585 นาโนเมตร (การทรานซิชันของระดับพลังงาน $5D_4 \rightarrow 7F_4$) และ ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร การทรานซิชันของพลังงานโดดเด่นที่สุดสำหรับการศึกษาการโดปไอออน Tb^{3+} ในปัจจุบันเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{LiIn}_{0.95}\text{Tb}_{0.05}\text{W}_2\text{O}_8$ จะให้การเปล่งแสงสีเขียว จากการศึกษาข้างต้นการเรืองแสงถ้ามีการเปลี่ยนโครงสร้างเพียงเล็กน้อยก็ทำให้สมบัติการเรืองแสงของไอออนธาตุหายากเปลี่ยนไป

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออน Activator จะมีผลต่อการเปล่งแสงของสารเรืองแสงโดยทั่วไปการเจือไอออนของ Activator ที่ต่ำจะทำให้การเปล่งแสงที่น้อยลง แต่การเจือไอออนของ Activator ที่มากเกินไปก็ไม่สามารถทำให้การเปล่งแสงได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 แสดงสเปกตรัมของแถบกระตุ้นและแถบเรืองแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.95}\text{Tb}_{0.05}\text{W}_2\text{O}_8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

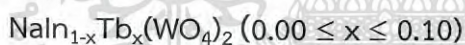
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยเริ่มจากการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaN}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, WO_3 และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็งเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศเป็นเวลาอุณหภูมิละ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นจึงเป็นขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของเม็ดเซรามิกที่เตรียมได้ด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ตรวจสอบโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยการถ่ายภาพผิวหน้าของเม็ดเซรามิกโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และทำการตรวจสอบการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิก

3.1 ขั้นตอนการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง (ฐิตินัย, 2558)

3.1.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ



ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}(\text{WO}_4)_2$ เตรียมโดยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็งจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ รวมกับผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3 และ WO_3 ดังสมการ



มวลอะตอมของ Na, In, W, Tb, C, N, H และ O มีค่าดังนี้คือ 22.9898, 114.82, 183.85, 158.924, 12.01115, 14.0067, 1.00797 และ 15.9994 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} &= 22.9898 + 12.01115 + 3(15.9994) \\ &\quad + 2(1.00797) + 15.9994 \\ &= 101.0145 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{In}_2\text{O}_3 &= 2(114.8200) + 3(15.9994) \\ &= 277.6382 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

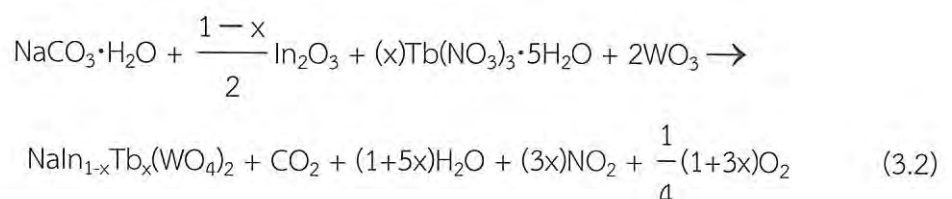
$$\begin{aligned}
 \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{WO}_3 &= 183.8500 + 3(15.9994) \\
 &= 231.8482 \text{ กรัมต่อโมล} \\
 \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 158.9240 + 3(14.0067) + 3(3(15.9994)) \\
 &\quad + 5(2(1.00797)) + 5(15.9994) \\
 &= 435.0154 \text{ กรัมต่อโมล} \\
 \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{NaIn}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 114.8200 + 2(183.8500) \\
 &\quad + 2(4(15.9994)) \\
 &= 633.5050 \text{ กรัมต่อโมล}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ จำนวน 101.0145 กรัม รวมกับผงผลึกของสารประกอบ $\frac{1}{2}\text{In}_2\text{O}_3$ จำนวน 138.8191 กรัม และ ผงผลึกของสารประกอบ 2WO_3 จำนวน 463.6964 กรัม จะได้ ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 633.5050 กรัม แต่ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม เราต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ

$\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\frac{1}{2}\text{In}_2\text{O}_3$ และ 2WO_3 ดังนี้คือ

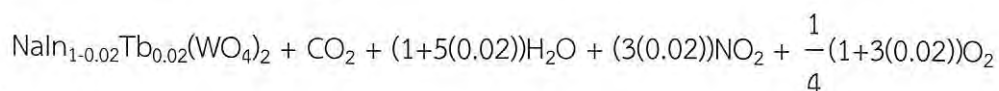
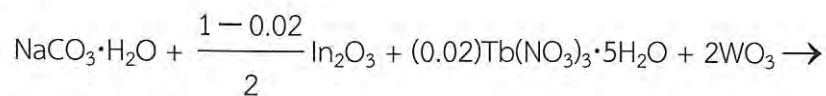
$$\begin{aligned}
 \text{ผงผลึกของสารประกอบ } \text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} &= \frac{4(101.0145)}{633.5050} \\
 &= 0.6378 \text{ กรัม} \\
 \text{ผงผลึกของสารประกอบ } \frac{1}{2}\text{In}_2\text{O}_3 &= \frac{4(0.5)(277.6382)}{633.5050} \\
 &= 0.8765 \text{ กรัม} \\
 \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 2\text{WO}_3 &= \frac{4(2)(231.8482)}{633.5050} \\
 &= 2.9278 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

สำหรับเม็ดสารเซรามิกของสารกึ่งตัวนำ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จะแสดงการคำนวณหามวลของสารประกอบตั้งต้น โดยเริ่มจากกรณีเจืออะตอมของธาตุ Tb^{3+} ในปริมาณค่า x ใดๆ โดยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง ดังสมการ

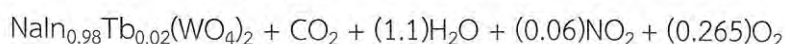
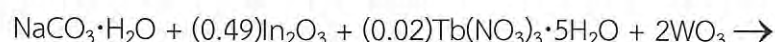


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี $x = 0.02$



จะได้ว่า



มวลโมเลกุลของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$

$$\begin{aligned} \text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 0.98(114.82) + 0.02(158.924) + 2(183.85) \\ &\quad + 2(4(15.9994)) \\ &= 634.3871 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม จะต้องใช้สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(0.49)\text{In}_2\text{O}_3$, $(0.02)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 โดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ คือ

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.3871 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 101.0145$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } \text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{4(101.0145)}{634.3871} = 0.6369 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6369$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.3871 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.49)\text{In}_2\text{O}_3 = (0.49)(277.6382) = 136.0427$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } (0.49)\text{In}_2\text{O}_3 = \frac{(4)(136.0427)}{634.3871} = 0.8578 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8578$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.3871 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.02)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.02(435.0154) = 8.7003$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.02)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{4(8.7003)}{634.3871} = 0.0549$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.0549$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ WO_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.3871 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = 2(231.8482) = 463.6964$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = \frac{4(463.6964)}{634.3871} = 2.9237$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9237$ กรัม

สรุปเซรามิกสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นดังนี้ คือ

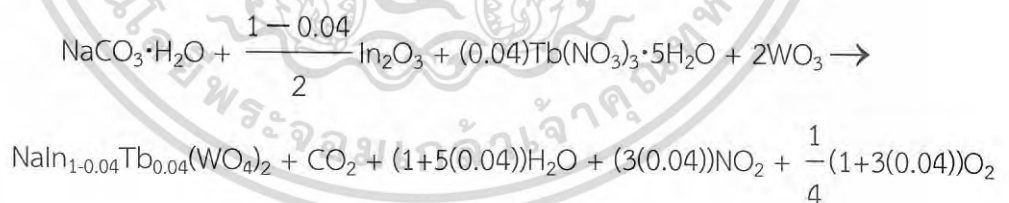
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6369$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8578$ กรัม

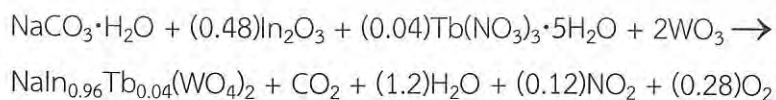
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.0549$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9237$ กรัม

กรณี $x = 0.04$



จะได้ว่า



มวลโมเลกุลของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$

$$\begin{aligned} \text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 0.96(114.82) + 0.04(158.924) + 2(183.85) \\ &\quad + 2(4(15.9994)) \\ &= 635.2692 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม จะต้องใช้สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(0.48)\text{In}_2\text{O}_3$, $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ คือ

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 635.2692 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 101.0145$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{4(101.0145)}{635.2692} = 0.6360$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6360$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 635.2692 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.48)\text{In}_2\text{O}_3 = (0.48)(277.6382) = 133.2663$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.48)\text{In}_2\text{O}_3 = \frac{(4)(133.2663)}{635.2692} = 0.8391$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8391$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 635.2692 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.04(435.0154) = 17.4006$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{4(17.4006)}{635.2692} = 0.1096$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.1096$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ WO_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 635.2692 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = 2(231.8482) = 463.6964$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = \frac{4(463.6964)}{635.2692} = 2.9197$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9197$ กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปเขรามิกสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นดังนี้ คือ

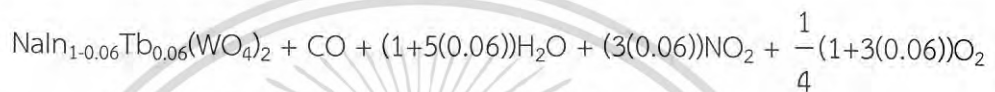
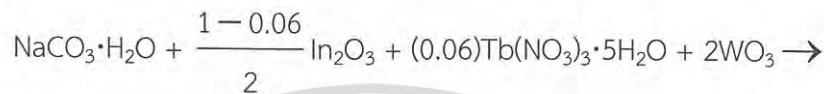
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6360$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8391$ กรัม

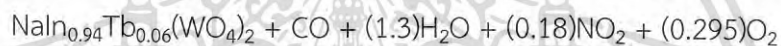
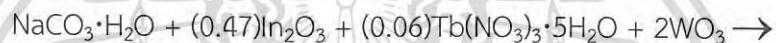
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.1096$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9197$ กรัม

กรณี $x = 0.06$



จะได้ว่า



มวลโมเลกุลของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$

$$\begin{aligned} \text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 0.94(114.82) + 0.06(158.924) + 2(183.85) \\ &\quad + 2(4(15.9994)) \\ &= 635.2692 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม จะต้องใช้สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(0.47)\text{In}_2\text{O}_3$, $(0.06)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ คือ

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 636.1512 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 101.0145$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } \text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{4(101.0145)}{636.1512} = 0.6352 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6352$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 636.1512 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.47)\text{In}_2\text{O}_3 = (0.47)(277.6382) = 130.4900$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.47)\text{In}_2\text{O}_3 = \frac{(4)(130.4900)}{636.1512} = 0.8205$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8205$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 636.1512 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.06)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.06(435.0154) = 26.1010$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.06)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{4(26.1010)}{636.1512} = 0.1641$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.1641$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ WO_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 636.1512 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = 2(231.8482) = 463.6964$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = \frac{4(463.6964)}{636.1512} = 2.9156$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9156$ กรัม

สรุปเขรามิกสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Tb}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นดังนี้ คือ

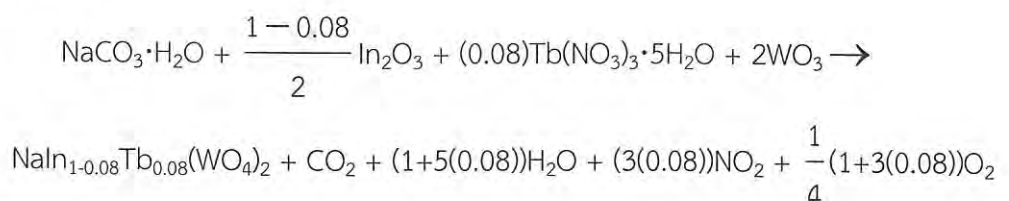
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6352$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8205$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.1641$ กรัม

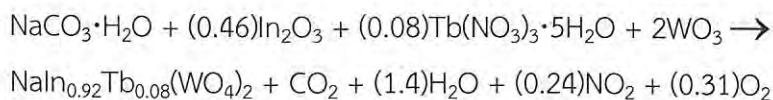
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9156$ กรัม

กรณี $x = 0.08$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า



มวลโมเลกุลของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$

$$\begin{aligned} \text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 0.92(114.82) + 0.08(158.924) + 2(183.85) \\ &\quad + 2(4(15.9994)) \\ &= 637.0333 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม จะต้องใช้สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(0.46)\text{In}_2\text{O}_3$, $(0.08)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ คือ

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.0333 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 101.0145$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{4(101.0145)}{637.0333} = 0.6343$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6343$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.0333 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.46)\text{In}_2\text{O}_3 = (0.46)(277.6382) = 127.7136$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.46)\text{In}_2\text{O}_3 = \frac{(4)(127.7136)}{637.0333} = 0.8019$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8019$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.0333 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.08)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.08(435.0154) = 34.8012$ กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } (0.08)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{4(34.8012)}{637.0333} = 0.2185 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.2185$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ WO_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.0333 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = 2(231.8482) = 463.6964$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } 2\text{WO}_3 = \frac{4(463.6964)}{637.0333} = 2.9116 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9116$ กรัม

สรุปเซรามิกสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นดังนี้ คือ

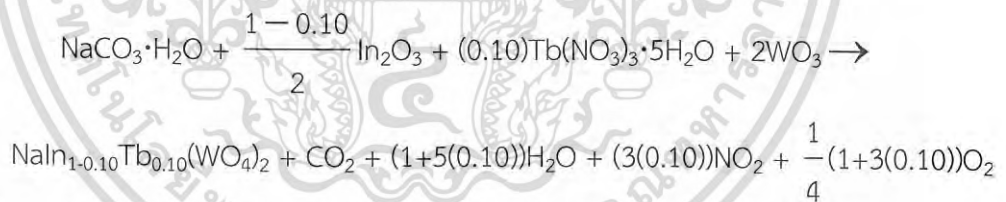
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6352$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8019$ กรัม

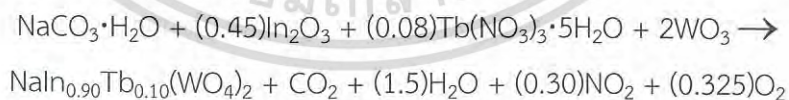
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.2185$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9116$ กรัม

กรณี $x = 0.10$



จะได้ว่า



มวลโมลเลขมูลของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$

$$\begin{aligned} \text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 0.90(114.82) + 0.10(158.924) + 2(183.85) \\ &\quad + 2(4(15.9994)) \\ &= 637.9154 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม จะต้องใช้สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(0.46)\text{In}_2\text{O}_3$, $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ คือ

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.9154 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 101.0145$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{4(101.0145)}{637.9154} = 0.6334$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6334$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.9154 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.45)\text{In}_2\text{O}_3 = (0.45)(277.6382) = 124.9372$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.45)\text{In}_2\text{O}_3 = \frac{(4)(124.9372)}{637.9154} = 0.7834$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.7834$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.9154 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.10)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.10(435.0154) = 43.5015$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.10)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{4(43.5015)}{637.9154} = 0.2728$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.2728$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ WO_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.9154 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = 2(231.8482) = 463.6964$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = \frac{4(463.6964)}{637.9154} = 2.9076$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9076$ กรัม

สรุปเขรามิกสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6334$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.7834$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.2728$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9076$ กรัม

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของของแข็ง เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอุณหภูมิละ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

Composition (x)	$\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (g)	In_2O_3 (g)	WO_3 (g)	$\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g)	Total (g)
0.00	0.6378	0.8765	2.9278	-	4.4421
0.02	0.6369	0.8578	2.9237	0.0549	4.4733
0.04	0.6360	0.8391	2.9197	0.1096	4.5044
0.06	0.6352	0.8205	2.9156	0.1641	4.5354
0.08	0.6343	0.8019	2.9116	0.2185	4.5663
0.10	0.6334	0.7834	2.9076	0.2728	4.5972

3.1.2 วิธีการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$)

จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

- นำผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 และ WO_3 ตามปริมาณที่ต้องการนำมาบดรวมกันในครกอาเกตให้เป็นผงละเอียดคล้ายแป้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- ทำการเจือด้วยไอออนของธาตุ Tb^{3+} จากสารประกอบ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เจือในปริมาณ 0.00, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์โดยโมล เมื่อบดสารตั้งต้นให้ละเอียดดีแล้วจึงนำไปอบในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง รอให้เย็นแล้วนำมาบดใหม่อีก 2 ชั่วโมง
- นำไปอัดเม็ดจะทำการอัดเม็ดโดยใช้แรงอัด 5 ตัน ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกโดยเพิ่มแรงอัดทีละ 1 ตันแล้วทิ้งไว้ 20 วินาที จากนั้นจึงเพิ่มแรงอัดไปจนถึง 5 ตัน และตอนเอาเม็ดผงผลึกออกจากโม่ลัดอัดเม็ดจะใช้แรงอัดครั้งละประมาณ 0.5 ตัน
- นำเม็ดของสารที่ได้นำมาใส่ครูชีเบล ปิดฝาให้มิดชิดแล้วนำเข้าเตาอบ เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนครบเวลาจึงปิดเตา รอให้อุณหภูมิลดลง

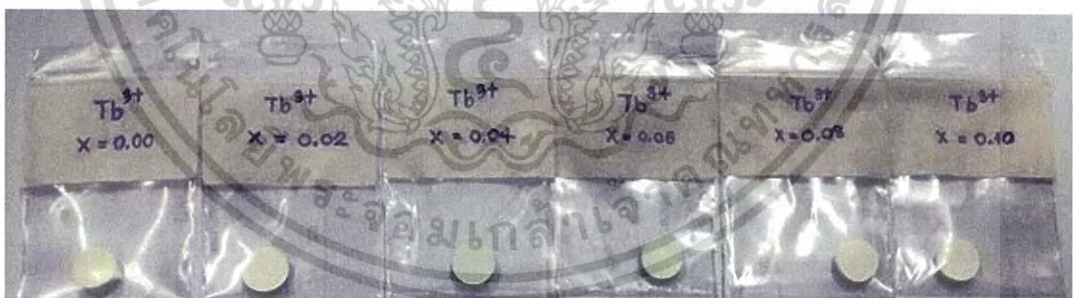
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

5. นำเม็ดของสารที่ได้นำมาใส่ครุซีเบล ปิดฝาให้มิดชิดแล้วนำเข้าเตาอบ เเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนครบเวลาจึงปิดเตา รอให้อุณหภูมิลดลงจนเย็นแล้วจึงนำออกมาทำการศึกษาวเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ต่อไป

เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้ขณะยังไม่เผาสีจะเป็นสีเขียว แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.1 และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

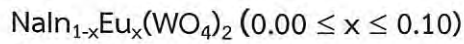


รูปที่ 3.2 แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

3.2.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ



ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ เตรียมโดยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็งจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ร่วมกับผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3 และ WO_3 ดังสมการ



มวลอะตอมของ Na, In, W, Eu, C, N, H และ O มีค่าดังนี้คือ 22.9898, 114.82, 183.85, 151.96, 12.01115, 14.0067, 1.00797 และ 15.9994 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} &= 22.9898 + 12.01115 + 3(15.9994) \\ &\quad + 2(1.00797) + 15.9994 \\ &= 101.0145 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{In}_2\text{O}_3 &= 2(114.8200) + 3(15.9994) \\ &= 277.6382 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{WO}_3 &= 183.8500 + 3(15.9994) \\ &= 231.8482 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

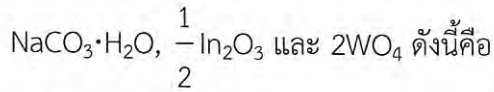
$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 151.9600 + 3(14.0067) + 3(3(15.9994)) \\ &\quad + 5(2(1.00797)) + 5(15.9994) \\ &= 428.0514 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{NaIn}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 114.8200 + 2(183.8500) \\ &\quad + 2(4(15.9994)) \\ &= 633.5050 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ จำนวน 101.0145 กรัม ร่วมกับผงผลึกของสารประกอบ $\frac{1}{2} \text{In}_2\text{O}_3$ จำนวน 138.8191 กรัม และ ผงผลึกของสารประกอบ 2WO_3 จำนวน 463.6964 กรัม จะได้ ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 633.5050 กรัม แต่ถ้าเรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม เราต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ

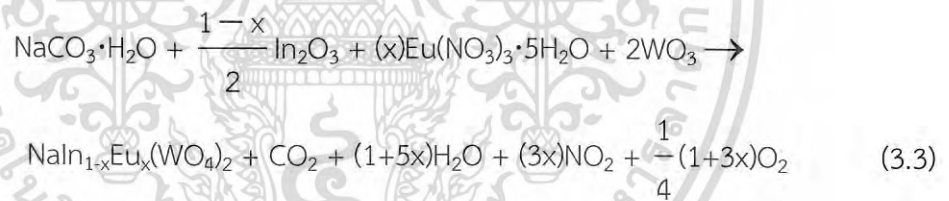


$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } \text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} &= \frac{4(101.0145)}{633.5050} \\ &= 0.6378 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

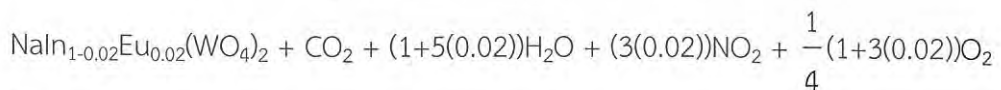
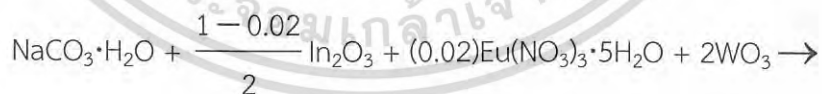
$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } \frac{1}{2} \text{In}_2\text{O}_3 &= \frac{4(0.5)(277.6382)}{633.5050} \\ &= 0.8765 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 2\text{WO}_3 &= \frac{4(2)(231.8482)}{633.5050} \\ &= 2.9278 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

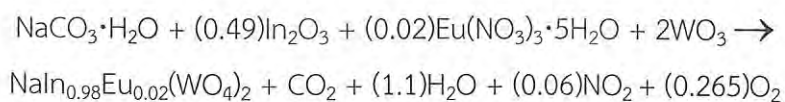
สำหรับเม็ดสารเซรามิกของสารกึ่งตัวนำ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จะแสดงการคำนวณหามวลของสารประกอบตั้งต้น โดยเริ่มจากกรณีเจืออะตอมของธาตุ Eu^{3+} ในปริมาณค่า x ใดๆ โดยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง ดังสมการ



กรณี $x = 0.02$



จะได้ว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลโมเลกุลของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Eu}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$

$$\begin{aligned}\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 0.98(114.82) + 0.02(151.96) + 2(183.85) + 2(4(15.9994)) \\ &= 634.2478 \text{ กรัมต่อโมล}\end{aligned}$$

ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Eu}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม จะต้องใช้สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(0.49)\text{In}_2\text{O}_3$, $(0.02)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 โดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ คือ

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Eu}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.2478 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 101.0145$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Eu}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } \text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{4(101.0145)}{634.2478} = 0.6371 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6371$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Eu}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.2478 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.49)\text{In}_2\text{O}_3 = (0.49)(277.6382) = 136.0427$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Eu}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } (0.49)\text{In}_2\text{O}_3 = \frac{(4)(136.0427)}{634.2478} = 0.8580 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8580$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Eu}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.2478 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.02)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.02(428.0514) = 8.5610$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Eu}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } (0.02)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{4(8.5610)}{634.2478} = 0.0540 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.0540$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ WO_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Eu}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.2478 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = 2(231.8482) = 463.6964$ กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Tb}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } 2\text{WO}_3 = \frac{4(463.6964)}{634.3871} = 2.9244 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9244$ กรัม

สรุปเขรามิกสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.98}\text{Eu}_{0.02}(\text{WO}_4)_2$ จะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นดังนี้ คือ

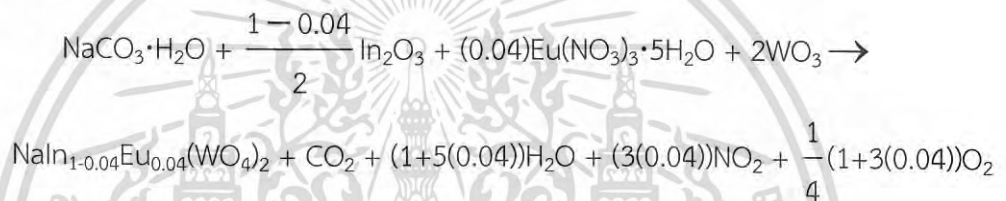
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6371$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8580$ กรัม

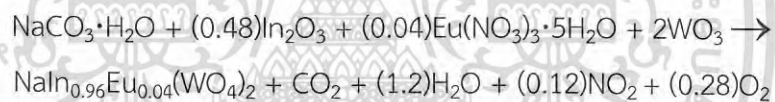
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.0540$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9244$ กรัม

กรณี $x = 0.04$



จะได้ว่า



มวลโมเลกุลของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$

$$\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2 = 22.9898 + 0.96(114.82) + 0.04(151.96) + 2(183.85) + 2(4(15.9994))$$

$$= 634.9906 \text{ กรัมต่อโมล}$$

ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม จะต้องใช้สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(0.48)\text{In}_2\text{O}_3$, $(0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ คือ

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.9906 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 101.0145$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } \text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{4(101.0145)}{634.9906} = 0.6363 \text{ กรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6363$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.9906 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.48)\text{In}_2\text{O}_3 = (0.48)(277.6382) = 133.2663$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.48)\text{In}_2\text{O}_3 = \frac{(4)(133.2663)}{634.9906} = 0.8395$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8395$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.9906 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.04(428.0514) = 17.1221$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{4(17.1221)}{634.9906} = 0.1079$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.1079$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ WO_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.9906 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = 2(231.8482) = 463.6964$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = \frac{4(463.6964)}{634.9906} = 2.9210$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9210$ กรัม

สรุปเซรามิกสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นดังนี้ คือ

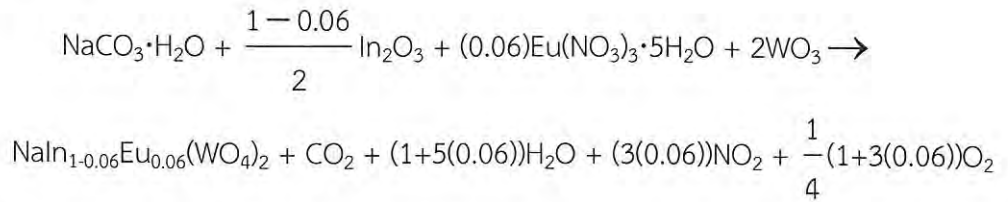
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6363$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8395$ กรัม

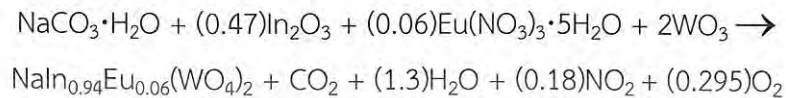
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.1079$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9210$ กรัม

กรณี $x = 0.06$



จะได้ว่า



มวลโมเลกุลของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$

$$\text{NaIn}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2 = 22.9898 + 0.94(114.82) + 0.06(151.96) + 2(183.85) + 2(4(15.9994))$$

$$= 635.7334 \text{ กรัมต่อโมล}$$

ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม จะต้องใช้สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(0.47)\text{In}_2\text{O}_3$, $(0.06)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ คือ

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 635.7334 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 101.0145$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{4(101.0145)}{635.7334} = 0.6356$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6356$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 635.7334 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.47)\text{In}_2\text{O}_3 = (0.47)(277.6382) = 130.4900$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.47)\text{In}_2\text{O}_3 = \frac{(4)(130.4900)}{635.7334} = 0.8210$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8210$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 635.7334 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.06)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.06(428.0514) = 25.6831$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } (0.06)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{4(25.6831)}{635.7334} = 0.1616 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.1616$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ WO_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 635.7334 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = 2(231.8482) = 463.6964$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } 2\text{WO}_3 = \frac{4(463.6964)}{635.7334} = 2.9176 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9176$ กรัม

สรุปเซรามิกสารประกอบ $\text{NaN}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}(\text{WO}_4)_2$ จะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นดังนี้ คือ

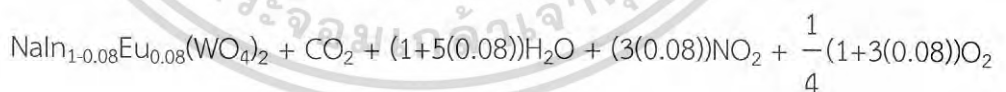
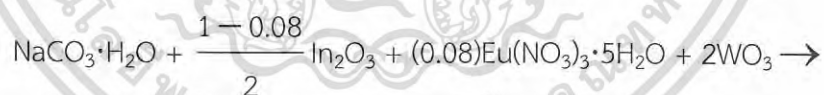
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6356$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8210$ กรัม

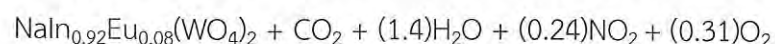
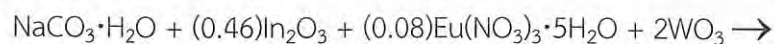
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.1616$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9176$ กรัม

กรณี $x = 0.08$



จะได้ว่า



มวลโมเลกุลของสารประกอบ $\text{NaN}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$

$$\begin{aligned} \text{NaN}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 0.92(114.82) + 0.08(151.96) + 2(183.85) + 2(4(15.9994)) \\ &= 636.4762 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม จะต้องใช้สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(0.46)\text{In}_2\text{O}_3$, $(0.08)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ คือ

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 636.4762 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 101.0145$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{4(101.0145)}{636.4762} = 0.6348$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6348$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 636.4762 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.46)\text{In}_2\text{O}_3 = (0.46)(277.6382) = 127.7136$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.46)\text{In}_2\text{O}_3 = \frac{(4)(127.7136)}{636.4762} = 0.8026$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8026$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 636.4762 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.08)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.08(428.0514) = 34.2441$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.08)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{4(34.2441)}{636.4762} = 0.2152$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.2152$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ WO_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 636.4762 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = 2(231.8482) = 463.6964$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = \frac{4(463.6964)}{636.4762} = 2.9141$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9141$ กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปเซรามิกสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Eu}_{0.08}(\text{WO}_4)_2$ จะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นดังนี้ คือ

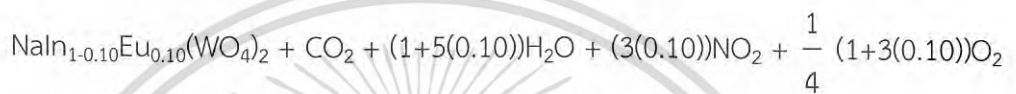
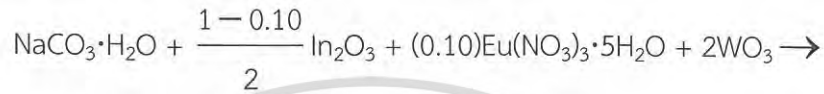
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6348$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.8026$ กรัม

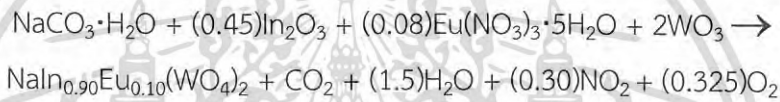
ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.2152$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9141$ กรัม

กรณี $x = 0.10$



จะได้ว่า



มวลโมเลกุลของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$

$$\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2 = 22.9898 + 0.90(114.82) + 0.10(151.96) + 2(183.85) + 2(4(15.9994))$$

$$= 637.2190 \text{ กรัมต่อโมล}$$

ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Tb}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม จะต้องใช้สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $(0.46)\text{In}_2\text{O}_3$, $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ คือ

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.2190 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 101.0145$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{4(101.0145)}{637.2190} = 0.6341$ กรัม

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6341$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.2190 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.45)\text{In}_2\text{O}_3 = (0.45)(277.6382) = 124.9372$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } (0.45)\text{In}_2\text{O}_3 = \frac{(4)(124.9372)}{637.2190} = 0.7843 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.7843$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.2190 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $(0.10)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.10(428.0514) = 42.8051$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } (0.10)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{4(42.8051)}{637.2190} = 0.2687 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.2687$ กรัม

- สำหรับการคำนวณปริมาณของผงผลึกของสารประกอบ WO_3

ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 637.2190 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ $2\text{WO}_3 = 2(231.8482) = 463.6964$ กรัม

แต่ถ้าผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม ต้องใช้ผงผลึกของ

$$\text{สารประกอบ } 2\text{WO}_3 = \frac{4(463.6964)}{637.2190} = 2.9108 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9108$ กรัม

สรุปเซรามิกสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.90}\text{Eu}_{0.10}(\text{WO}_4)_2$ จะต้องใช้ปริมาณสารตั้งต้นดังนี้ คือ

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 0.6341$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}_2\text{O}_3 = 0.7843$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0.2687$ กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{WO}_3 = 2.9108$ กรัม

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของของแข็ง เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอุณหภูมิละ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

Composition (x)	$\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (g)	In_2O_3 (g)	WO_3 (g)	$\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g)	Total (g)
0.00	0.6378	0.8765	2.9278	-	4.4421
0.02	0.6371	0.8580	2.9244	0.0540	4.4735
0.04	0.6363	0.8394	2.9210	0.1079	4.5046
0.06	0.6356	0.8210	2.9176	0.1616	4.5358
0.08	0.6348	0.8026	2.9141	0.2152	4.5667
0.10	0.6341	0.7843	2.9108	0.2687	4.5979

3.2.2 วิธีการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$)

จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

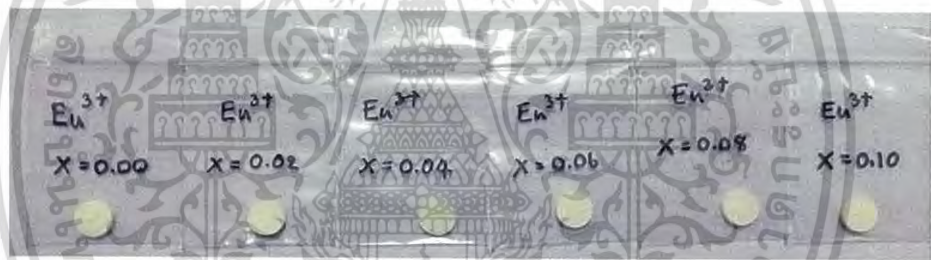
- นำผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 และ WO_3 ตามปริมาณที่ต้องการนำมาบดรวมกันในครกอาเกตให้เป็นผงละเอียดคล้ายแป้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- ทำการเจือด้วยไอออนของธาตุ Eu^{3+} จากสารประกอบ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เจือในปริมาณ 0.00, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์โดยโมล เมื่อบดสารตั้งต้นให้ละเอียดดีแล้วจึงนำไปอบในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง รอให้เย็นแล้วนำมาบดใหม่อีก 2 ชั่วโมง
- นำไปอัดเม็ดจะทำการอัดเม็ดโดยใช้แรงอัด 5 ตัน ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกโดยเพิ่มแรงอัดทีละ 1 ตันแล้วทิ้งไว้ 20 วินาที จากนั้นจึงเพิ่มแรงอัดไปจนถึง 5 ตัน และตอนเอาเม็ดผงผลึกออกจากโม่ลัดอัดเม็ดจะใช้แรงอัดครั้งละประมาณ 0.5 ตัน
- นำเม็ดของสารที่ได้นำมาใส่ครูซิเบิล ปิดฝาให้มิดชิดแล้วนำเข้าเตาอบ เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนครบเวลาจึงปิดเตา รอให้อุณหภูมิลดลงจนเย็นแล้วจึงนำออกมาบดจนละเอียด แล้วนำไปอัดเม็ดโดยใช้แรงอัด 5 ตัน
- นำเม็ดของสารที่ได้นำมาใส่ครูซิเบิล ปิดฝาให้มิดชิดแล้วนำเข้าเตาอบ เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนครบเวลาจึงปิดเตา รอให้อุณหภูมิลดลงจนเย็นแล้วจึงนำออกมาทำการศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้ขณะนี้ยังไม่เผาสีจะเป็นสีเขียวอ่อน แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.3 และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.4



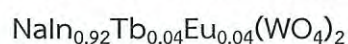
รูปที่ 3.3 แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.4 แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

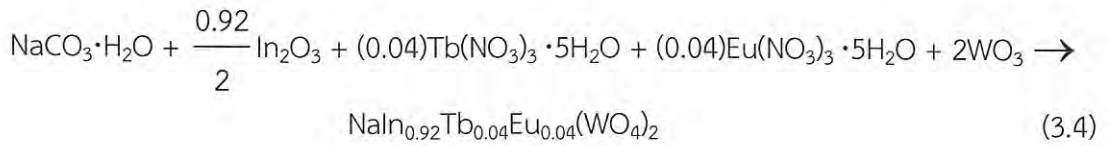
3.3 ขั้นตอนการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง (ฐิตินัย, 2558)

3.3.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ



ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เตรียมโดยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็งจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ร่วมกับผงผลึกของสารประกอบ In_2O_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ WO_3 ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



มวลอะตอมของ Na, In, W, Tb, Eu, C, N, H และ O มีค่าดังนี้คือ 22.9898, 114.82, 183.85, 158.924, 151.96, 12.01115, 14.0067, 1.00797 และ 15.9994 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} &= 22.9898 + 12.01115 + 3(15.9994) \\ &\quad + 2(1.00797) + 15.9994 \\ &= 101.0145 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ In}_2\text{O}_3 &= 2(114.8200) + 3(15.9994) \\ &= 277.6382 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ WO}_3 &= 183.8500 + 3(15.9994) \\ &= 231.8482 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ Tb(NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 158.9240 + 3(14.0067) + 3(3(15.9994)) \\ &\quad + 5(2(1.00797)) + 5(15.9994) \\ &= 435.0154 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ Eu(NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 151.9600 + 3(14.0067) + 3(3(15.9994)) \\ &\quad + 5(2(1.00797)) + 5(15.9994) \\ &= 428.0507 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + (0.92)(114.8200) \\ &\quad + (0.04)(158.9240) + (0.04)(151.9600) \\ &\quad + 2(183.8500) + 2(4(15.9994)) \\ &= 636.7548 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ จำนวน 101.0145 กรัม รวมกับผงผลึก

ของสารประกอบ $\frac{0.92}{2} \text{In}_2\text{O}_3$ จำนวน 127.7136 กรัม, $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 17.4006 กรัม,

$(0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 17.1206 กรัม และผงผลึกของสารประกอบ 2WO_3 จำนวน 463.6964 กรัม

จะได้ ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 636.7548 กรัม แต่ถ้าเรา

ต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม เราต้องใช้ผงผลึกของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\frac{0.92}{2} \text{In}_2\text{O}_3$, $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $(0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 2WO_3 ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } \text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} &= \frac{4(101.0145)}{636.7548} \\ &= 0.6346 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } \frac{0.92}{2} \text{In}_2\text{O}_3 &= \frac{4(0.46)(277.6382)}{636.7548} \\ &= 0.8023 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } (0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= \frac{4(0.04)(435.0154)}{636.7548} \\ &= 0.1093 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } (0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= \frac{4(0.04)(428.0514)}{636.7548} \\ &= 0.1076 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 2\text{WO}_3 &= \frac{4(2)(231.8482)}{636.7548} \\ &= 2.9278 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอุณหภูมิละ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

Composition (x)	$\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (g)	In_2O_3 (g)	WO_3 (g)	$\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g)	$\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g)
0.04	0.6346	0.8023	2.9278	0.1093	0.1076
Total (g)	4.5819				

3.3.2 วิธีการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

- นำผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 และ WO_3 ตามปริมาณที่ต้องการนำมาบดรวมกันในครกอาเกตให้เป็นผงละเอียดคล้ายแป้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการเจือด้วยไอออนของธาตุ Tb^{3+} และ Eu^{3+} จากสารประกอบ $Tb(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ และ $Eu(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ เจือในปริมาณ 0.04 เปอร์เซ็นต์โดยโมล เมื่ออบสารตั้งต้นให้ละเอียดดีแล้วจึงนำไปอบในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง รอให้เย็นแล้วนำมาบดใหม่อีก 2 ชั่วโมง
3. นำไปอัดเม็ดจะทำการอัดเม็ดโดยใช้แรงอัด 5 ตัน ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกโดยเพิ่มแรงอัดที่ละ 1 ตันแล้วทิ้งไว้ 20 วินาที จากนั้นจึงเพิ่มแรงอัดไปจนถึง 5 ตัน และตอนเอาเม็ดผงผลึกออกจากโม่อัดเม็ดจะใช้แรงอัดครั้งละประมาณ 0.5 ตัน
4. นำเม็ดของสารที่ได้นำมาใส่ครุชีเบล ปิดฝาให้มิดชิดแล้วนำเข้าเตาอบ เเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนครบเวลาจึงปิดเตา รอให้อุณหภูมิลดลงจนเย็นแล้วจึงนำออกมาบดจนละเอียด แล้วนำไปอัดเม็ดโดยใช้แรงอัด 5 ตัน
5. นำเม็ดของสารที่ได้นำมาใส่ครุชีเบล ปิดฝาให้มิดชิดแล้วนำเข้าเตาอบ เเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนครบเวลาจึงปิดเตา รอให้อุณหภูมิลดลงจนเย็นแล้วจึงนำออกมาทำการศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ต่อไป

เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$ ที่เตรียมได้ขณะยังไม่เผาสีจะเป็นสีเขียว แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$ จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.5 และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$ จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



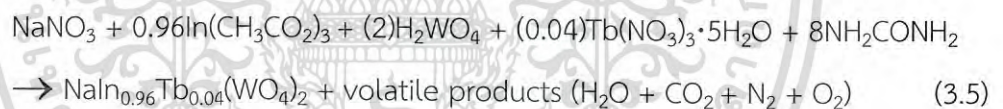
รูปที่ 3.6 แสดงสีของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.4 ขั้นตอนการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tb}^{3+}$ ด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ (จุตินัย, 2558)

3.4.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมผงผลึกของสารประกอบ

$\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เตรียมโดยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 ร่วมกับผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ NH_2CONH_2 ดังสมการ



มวลอะตอมของ Na, In, W, Tb, C, N, H และ O มีค่าดังนี้คือ 22.9898, 114.82, 183.85, 158.924, 12.01115, 14.0067, 1.00797 และ 15.9994 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{NaNO}_3 &= 22.9898 + 14.0067 + 3(15.9994) \\ &= 84.9947 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3 &= 114.82 + 3(12.01115) + 3(3(1.00797)) \\ &\quad + 3(12.01115) + 3(2(15.9994)) \\ &= 291.9550 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{H}_2\text{WO}_4 &= 2(1.00797) + 183.85 + 4(15.9994) \\ &= 249.8635 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ } \text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 158.9240 + 3(14.0067) + 3(3(15.9994)) \\ &\quad + 5(2(1.00797)) + 5(15.9994) \\ &= 435.0154 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{มวลโมลของสารประกอบ } \text{NH}_2\text{CONH}_2 &= 14.0067 + 2(1.00797) + 12.01115 + \\ & 15.9994 + 14.0067 + 2(1.00797) \\ &= 60.0558 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมลของสารประกอบ } \text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 0.96(114.82) + 0.04(158.924) \\ & + 2(183.85) + 2(4(15.9994)) \\ &= 635.2692 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 จำนวน 84.9947 กรัม รวมกับผงผลึกของสารประกอบ $0.96\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$ จำนวน 280.2768 กรัม $2\text{H}_2\text{WO}_4$ จำนวน 499.7270 กรัม $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 17.4006 กรัม และผงผลึกของสารประกอบ $8\text{NH}_2\text{CONH}_2$ จำนวน 480.4464 กรัม จะได้ ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 635.2692 กรัม แต่ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม เราต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 , $0.96\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, $2\text{H}_2\text{WO}_4$, $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $8\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } \text{NaNO}_3 &= \frac{4(84.9947)}{635.2692} \\ &= 0.5352 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 0.96\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3 &= \frac{4(0.96)(291.9550)}{635.2692} \\ &= 1.7648 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 2\text{H}_2\text{WO}_4 &= \frac{4(2)(249.8635)}{635.2692} \\ &= 3.1466 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } (0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= \frac{4(0.04)(435.0154)}{635.2692} \\ &= 0.1096 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 8\text{NH}_2\text{CONH}_2 &= \frac{4(8)(60.0558)}{635.2692} \\ &= 3.0252 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Composition (x)	NaNO_3 (g)	$\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$ (g)	H_2WO_4 (g)	$\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g)	NH_2CONH_2 (g)
0.04	0.5352	1.7648	3.1466	0.1096	3.0252
Total (g)	8.5814				

3.4.2 วิธีการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

1. ชั่งสารตั้งต้นตามปริมาณที่คำนวณไว้ ได้แก่ NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 และ $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เอาใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำเปล่าต่อประจุปริมาณ 10 มิลลิลิตร ตั้งบนฮีลเตอร์พร้อมกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนด้วยแม่เหล็ก (magnetic stirrer) พร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศา จนสารตั้งต้นละลายหมด
2. ใส่ยูเรีย (NH_2CONH_2) ลงในบีกเกอร์ กวนให้ละลายให้หมด
3. นำสารละลายเข้าเตาไมโครเวฟแล้วให้กำลังไฟฟ้า 100 เอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 นาที จึงเกิดการลุกไหม้กลายเป็นของแข็ง
4. รอให้เย็นแล้วหลังจากนั้นจึงนำออกจากเตาไมโครเวฟจะได้เป็นลักษณะคล้ายเกล็ดขนมปังสีน้ำตาล
5. นำเกล็ดขนมปังสีน้ำตาลที่ได้มาบดให้เป็นผงละเอียดแล้วจึงนำไปเผาในเตามัลฟิลที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามลำดับ
6. บดให้ละเอียดเพื่อทำ XRD และ PL

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้ขณะยังไม่เผาจะมีลักษณะคล้ายเกล็ดขนมปังสีน้ำตาล แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.7 และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



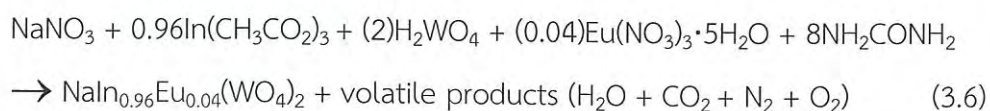
รูปที่ 3.8 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.5 ขั้นตอนการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2 : \text{Eu}^{3+}$ ด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ (ฐิตินัย, 2558)

3.5.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมผงผลึกของสารประกอบ

$\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เตรียมโดยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 ร่วมกับผงผลึกของสารประกอบ $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ NH_2CONH_2 ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลอะตอมของ Na, In, W, Eu, C, N, H และ O มีค่าดังนี้คือ 22.9898, 114.82, 183.85, 151.96, 12.01115, 14.0067, 1.00797 และ 15.9994 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ NaNO}_3 &= 22.9898 + 14.0067 + 3(15.9994) \\ &= 84.9947 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ In(CH}_3\text{CO}_2)_3 &= 114.82 + 3(12.01115) + 3(3(1.00797)) \\ &\quad + 3(12.01115) + 3(2(15.9994)) \\ &= 291.9550 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ H}_2\text{WO}_4 &= 2(1.00797) + 183.85 + 4(15.9994) \\ &= 249.8635 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ Eu(NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 151.96 + 3(14.0067) + 3(3(15.9994)) \\ &\quad + 5(2(1.00797)) + 5(15.9994) \\ &= 428.0514 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ NH}_2\text{CONH}_2 &= 14.0067 + 2(1.00797) + 12.01115 + \\ &\quad 15.9994 + 15.9994 + 2(1.00797) \\ &= 60.0558 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + 0.96(114.82) + 0.04(151.96) \\ &\quad + 2(183.85) + 2(4(15.9994)) \\ &= 634.9906 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 จำนวน 84.9947 กรัม รวมกับผงผลึกของสารประกอบ $0.96\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$ จำนวน 280.2768 กรัม $2\text{H}_2\text{WO}_4$ จำนวน 499.7270 กรัม $(0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 17.1221 กรัม และผงผลึกของสารประกอบ $8\text{NH}_2\text{CONH}_2$ จำนวน 480.4464 กรัม จะได้ ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 634.9906 กรัม แต่ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม เราต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 , $0.96\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, $2\text{H}_2\text{WO}_4$, $(0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $8\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ NaNO}_3 &= \frac{4(84.9947)}{634.9906} \\ &= 0.5354 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 0.96\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3 &= \frac{4(0.96)(291.9550)}{634.9906} \\ &= 1.7655 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 2\text{H}_2\text{WO}_4 &= \frac{4(2)(249.8635)}{634.9906} \\ &= 3.1479 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } (0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= \frac{4(0.04)(428.0514)}{634.9906} \\ &= 0.1079 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 8\text{NH}_2\text{CONH}_2 &= \frac{4(8)(60.0558)}{634.9906} \\ &= 3.0265 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Composition (x)	NaNO_3 (g)	$\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$ (g)	H_2WO_4 (g)	$\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g)	NH_2CONH_2 (g)
0.04	0.5354	1.7655	3.1479	0.1079	3.0265
Total (g)	8.5832				

3.5.2 วิธีการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

1. ชั่งสารตั้งต้นตามปริมาณที่คำนวณไว้ ได้แก่ NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เอาใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำเปล่าต่อประจุปริมาณ 10 มิลลิลิตร ตั้งบนฮีลเตอร์พร้อมกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนด้วยแม่เหล็ก (magnetic stirrer) พร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศา จนสารตั้งต้นละลายหมด
2. ใส่ยูเรีย (NH_2CONH_2) ลงในบีกเกอร์ กวนให้ละลายให้หมด
3. นำสารละลายเข้าเตาไมโครเวฟแล้วให้กำลังไฟฟ้า 100 เอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 นาที จึงเกิดการลุกไหม้กลายเป็นของแข็ง
4. รอให้เย็นแล้วหลังจากนั้นจึงนำออกจากเตาไมโครเวฟจะได้เป็นลักษณะคล้ายเกล็ดขนมปังสีน้ำตาล
5. นำเกล็ดขนมปังสีน้ำตาลที่ได้มาบดให้เป็นผงละเอียดแล้วจึงนำไปเผาในเตามัลฟิลที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามลำดับ
6. บดให้ละเอียดเพื่อทำ XRD และ PL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้ขณะยังไม่เผาสีจะมีลักษณะคล้ายเกล็ดขนมปังสีน้ำตาล แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.9 และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.10 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.6 ขั้นตอนการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tb}^{3+}$ และ Eu^{3+} ด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ (ฐิตินัย, 2558)

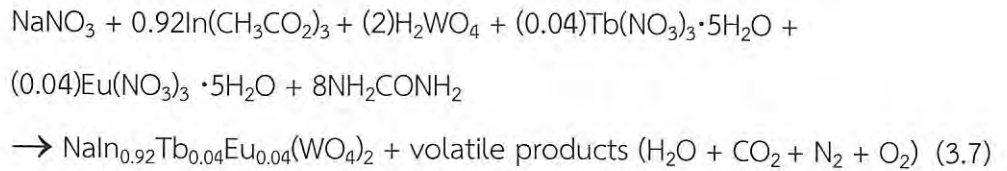
3.6.1 การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นสำหรับเตรียมผงผลึกของสารประกอบ

$\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เตรียมโดยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 ร่วมกับผงผลึกของสารประกอบ

$\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ NH_2CONH_2 ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



มวลอะตอมของ Na, In, W, Tb, Eu, C, N, H และ O มีค่าดังนี้คือ 22.9898, 114.82, 183.85, 158.924, 151.96, 12.01115, 14.0067, 1.00797 และ 15.9994 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ NaNO}_3 &= 22.9898 + 14.0067 + 3(15.9994) \\ &= 84.9947 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3 &= 114.82 + 3(12.01115) + 3(3(1.00797)) \\ &\quad + 3(12.01115) + 3(2(15.9994)) \\ &= 291.9550 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ H}_2\text{WO}_4 &= 2(1.00797) + 183.85 + 4(15.9994) \\ &= 249.8635 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 158.9240 + 3(14.0067) + 3(3(15.9994)) \\ &\quad + 5(2(1.00797)) + 5(15.9994) \\ &= 435.0154 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 151.96 + 3(14.0067) + 3(3(15.9994)) \\ &\quad + 5(2(1.00797)) + 5(15.9994) \\ &= 428.0514 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ NH}_2\text{CONH}_2 &= 14.0067 + 2(1.00797) + 12.01115 + \\ &\quad 15.9994 + 14.0067 + 2(1.00797) \\ &= 60.0558 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2 &= 22.9898 + (0.92)(114.8200) \\ &\quad + (0.04)(158.9240) + (0.04)(151.9600) \\ &\quad + 2(183.8500) + 2(4(15.9994)) \\ &= 636.7548 \text{ กรัมต่อโมล} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะใช้ผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 จำนวน 84.9947 กรัม รวมกับผงผลึกของสารประกอบ $0.92\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$ จำนวน 268.5986 กรัม $2\text{H}_2\text{WO}_4$ จำนวน 499.7270 กรัม $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 17.4006 กรัม $(0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 17.1221 กรัม และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผงผลึกของสารประกอบ $8\text{NH}_2\text{CONH}_2$ จำนวน 480.4464 กรัม จะได้ ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 636.7548 กรัม แต่ถ้าเราต้องการผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จำนวน 4 กรัม เราต้องใช้ผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 , $0.92\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, $2\text{H}_2\text{WO}_4$, $(0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $(0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $8\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{ผงผลึกของสารประกอบ } \text{NaNO}_3 &= \frac{4(84.9947)}{636.7548} \\ &= 0.5339 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 0.92\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3 &= \frac{4(0.92)(291.9550)}{636.7548} \\ &= 1.6873 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 2\text{H}_2\text{WO}_4 &= \frac{4(2)(249.8635)}{636.7548} \\ &= 3.1392 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } (0.04)\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= \frac{4(0.04)(435.0154)}{636.7548} \\ &= 0.1093 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } (0.04)\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= \frac{4(0.04)(428.0514)}{636.7548} \\ &= 0.1076 \text{ กรัม} \\ \text{ผงผลึกของสารประกอบ } 8\text{NH}_2\text{CONH}_2 &= \frac{4(8)(60.0558)}{636.7548} \\ &= 3.0181 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ตารางที่ 3.6 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Composition (x) = 0.04					
NaNO_3 (g)	$\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$ (g)	H_2WO_4 (g)	$\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g)	$\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g)	NH_2CONH_2 (g)
0.5339	1.7607	3.1392	0.1093	0.1076	3.0181
Total (g)			8.6688		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 วิธีการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

1. ชั่งสารตั้งต้นตามปริมาณที่คำนวณไว้ ได้แก่ NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เอาใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำปลอดประจุปริมาณ 10 มิลลิลิตร ตั้งบนฮีตเตอร์พร้อมกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนด้วยแม่เหล็ก (magnetic stirrer) พร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศา จนสารตั้งต้นละลายหมด
2. ใส่ยูเรีย (NH_2CONH_2) ลงในบีกเกอร์ กวนให้ละลายให้หมด
3. นำสารละลายเข้าเตาไมโครเวฟแล้วให้กำลังไฟฟ้า 100 เอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 นาที จึงเกิดการลุกไหม้กลายเป็นของแข็ง
4. รอให้เย็นแล้วหลังจากนั้นจึงนำออกจากเตาไมโครเวฟจะได้เป็นลักษณะคล้ายเกล็ดขนมปังสีน้ำตาล
5. นำเกล็ดขนมปังสีน้ำตาลที่ได้มาบดให้เป็นผงละเอียดแล้วจึงนำไปเผาในเตามัลฟิลที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามลำดับ
6. บดให้ละเอียดเพื่อทำ XRD และ PL

ผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้ขณะยังไม่เผาสีจะมีลักษณะคล้ายเกล็ดขนมปังสีน้ำตาล แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.11 และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จะมีสีขาว ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงสีของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.7 การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ด้วยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

3.7.1 การศึกษาสมบัติโครงสร้างผลึกทางจุลภาค

ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตรมิเตอร์ (XRD) ของ Bruker รุ่น D8 Advance ความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ 1.5406 อังสตรอม โดยใช้กระแส 40 มิลลิแอมป์ และ ความต่างศักย์ 40 กิโลโวลต์

3.7.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกทางมหภาค

ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1455VP

3.7.3 การศึกษาสมบัติการเรืองแสง

- เครื่องสเปกโทรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น RF-5031PC



รูปที่ 3.13 แสดงภาพถ่ายเครื่องสเปกโทรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น RF-5031PC

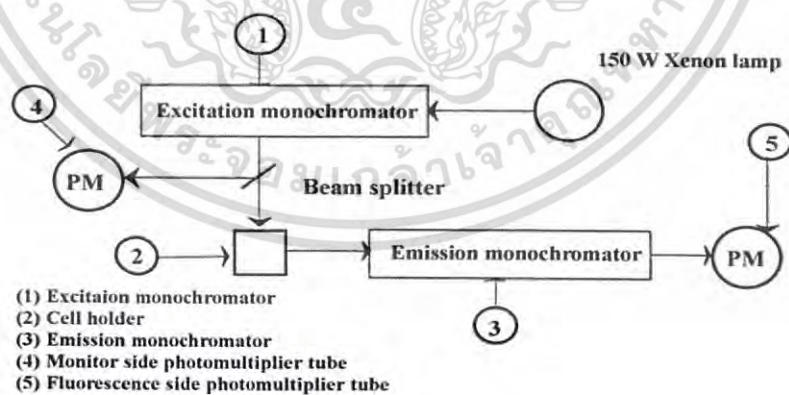
ในการวัดการเรืองแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{1-x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

- นำผงผลึกของสารตัวอย่างบรรจุลงในภาชนะใส่สารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำแผ่นแก้วควอทซ์มาวางปิดทับผงผลึกของสารตัวอย่างและยึดให้แน่นด้วยสก็อตเทป
- นำเอาภาชนะใส่สารตัวอย่างเข้าไปติดตั้งในเครื่องสเปกโทรฟลูออโรโฟมิเตอร์
- เปิดสวิตช์เครื่องสเปกโตรสเปกโทรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์เพื่อให้เครื่องเซตตัวเองพร้อมทำงาน
- ในการหาสเปกตรัมการเรืองแสงของสารตัวอย่างบรรจุ จำเป็นต้องเลือกความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการกระตุ้นให้เหมาะสม ก่อนอื่นควรดูการเรืองแสงด้วยตาเปล่า โดยเลือกความยาวคลื่นของ emission mode ไปที่ 545 นาโนเมตร จากนั้นจึงทำการสแกนความยาวคลื่นแสงกระตุ้นตั้งแต่ 220 – 700 นาโนเมตร ทำซ้ำหลายๆครั้งเพื่อให้ทราบความยาวคลื่นแสงกระตุ้นที่เหมาะสม
- ทำการบันทึกสเปกตรัมการเรืองแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มากกว่าความยาวคลื่นของแสงกระตุ้นเนื่องจากโดยธรรมชาติของการเรืองแสง พลังงานของการเรืองแสงจะน้อยกว่าพลังงานของแสงกระตุ้น
- ทำการบันทึกสเปกตรัมการกระตุ้นโดยกำหนดให้ความยาวคลื่นของการเปล่งแสงสอดคล้องกับพีคของการเรืองแสง สเปกตรัมการกระตุ้นต้องอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่สั้นกว่าความยาวคลื่นของการเรืองแสง

หลักการการทำงานของเครื่องสเปกโทรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์จะแสดงดังรูปที่ 3.14 แสงจากหลอดไฟซีนอน 150 วัตต์จะส่องเข้าทางโมโนโครเมเตอร์การกระตุ้น (excitation monochromator) เราสามารถเลือกความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการกระตุ้นได้จากโมโนโครมิเตอร์ การกระตุ้นนี้ให้แสงที่ใช้ในการกระตุ้นตกกระทบสารตัวอย่างแล้วจะเกิดการเรืองแสงออกมา สเปกตรัมของการเรืองแสงจะถูกบันทึกด้วยหลอดขยายสัญญาณ (photomultiplier tube) ในทำนองเดียวกันเราสามารถบันทึกสเปกตรัมการกระตุ้นได้ด้วยหลอดขยายสัญญาณอีกตัวหนึ่งที่ติดตั้งไว้ที่โมโนโครเมเตอร์การกระตุ้น



รูปที่ 3.14 แสดงแผนภาพหลักการทำงานของเครื่องสเปกโทรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น RF-5301PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

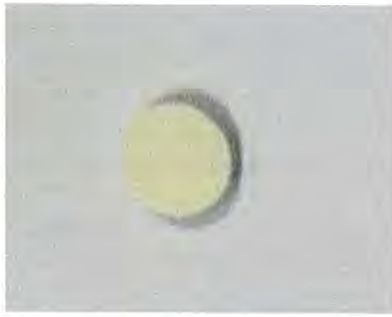
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

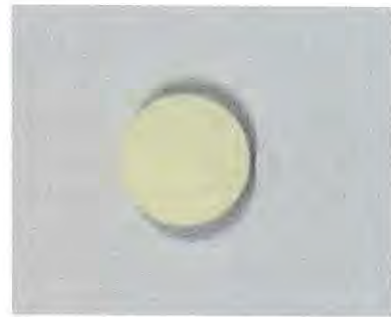
เนื้อหาในบทที่ 4 จะแบ่งเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรกจะทำการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็งเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนที่สองจะเป็นการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ส่วนที่สามทำการเตรียมผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$, $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบ NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , NH_2CONH_2 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ โดยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟเมื่อให้กำลังไฟฟ้า (power) 100 เอร์เซ็นต์ กับเตาไมโครเวฟจนลูกไหม้กลายเป็นของแข็ง และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนที่สี่จะเป็นการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Tb}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$, $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$

4.1 ลักษณะของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยวิธีการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้นั้นเป็นเม็ดสีขาว ขณะที่เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ก็มีสีขาวเช่นกัน ดังรูปที่ 4.1



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง โดยที่

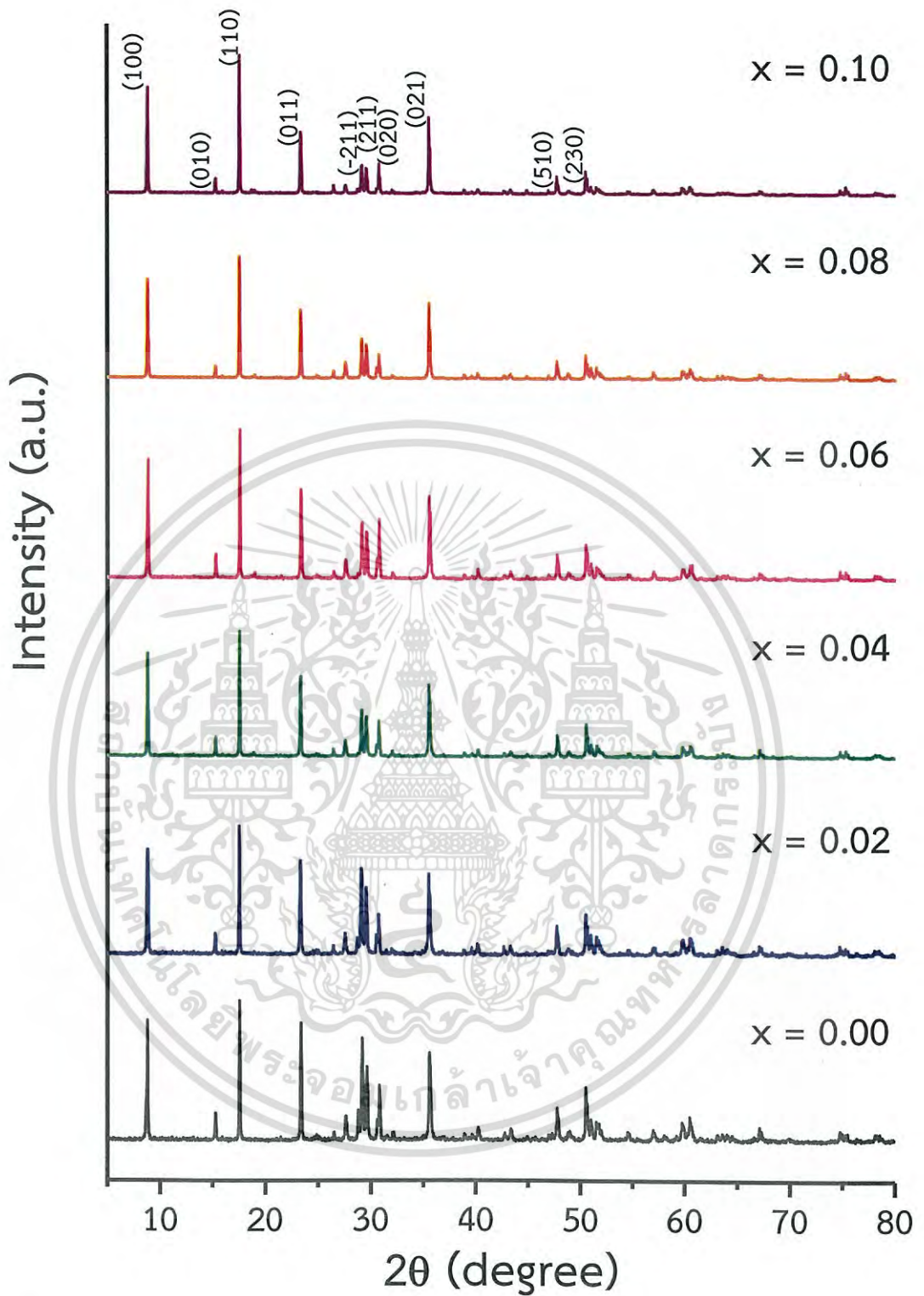
ก. เม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$)
 ข. เม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$)

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$)

4.2.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมโดยนำเอาสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกมาอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำผงผลึกมาอัดเม็ดและเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) มาทำการบดให้ละเอียด จากการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าพีคที่มีความเข้มสูงสุด เกิดจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยระนาบ (110) ของโครงผลึกแบบโมโนคลินิกที่มุม 2θ เท่ากับ 17.548 องศา นอกจากนี้ยังพบพีคของระนาบโครงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ได้แก่ ระนาบ (100), (010), (110), (011), (-211), (211), (021), (510) และ (230) ที่มุม 2θ ในกรณี $x = 0.02$ จะมีค่าเท่ากับ 8.776, 15.275, 17.582, 23.366, 29.175, 29.625, 35.577, 47.750 และ 50.500 องศา ตามลำดับ สำหรับกรณีที่เศษส่วนโดยโมลอะตอม (x) มีค่าตั้งแต่ $x = 0.04$ ขึ้นไปจะปรากฏเฟสแฝงของสารประกอบ $\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ร่วมกับเฟสหลักของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงพีคความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก

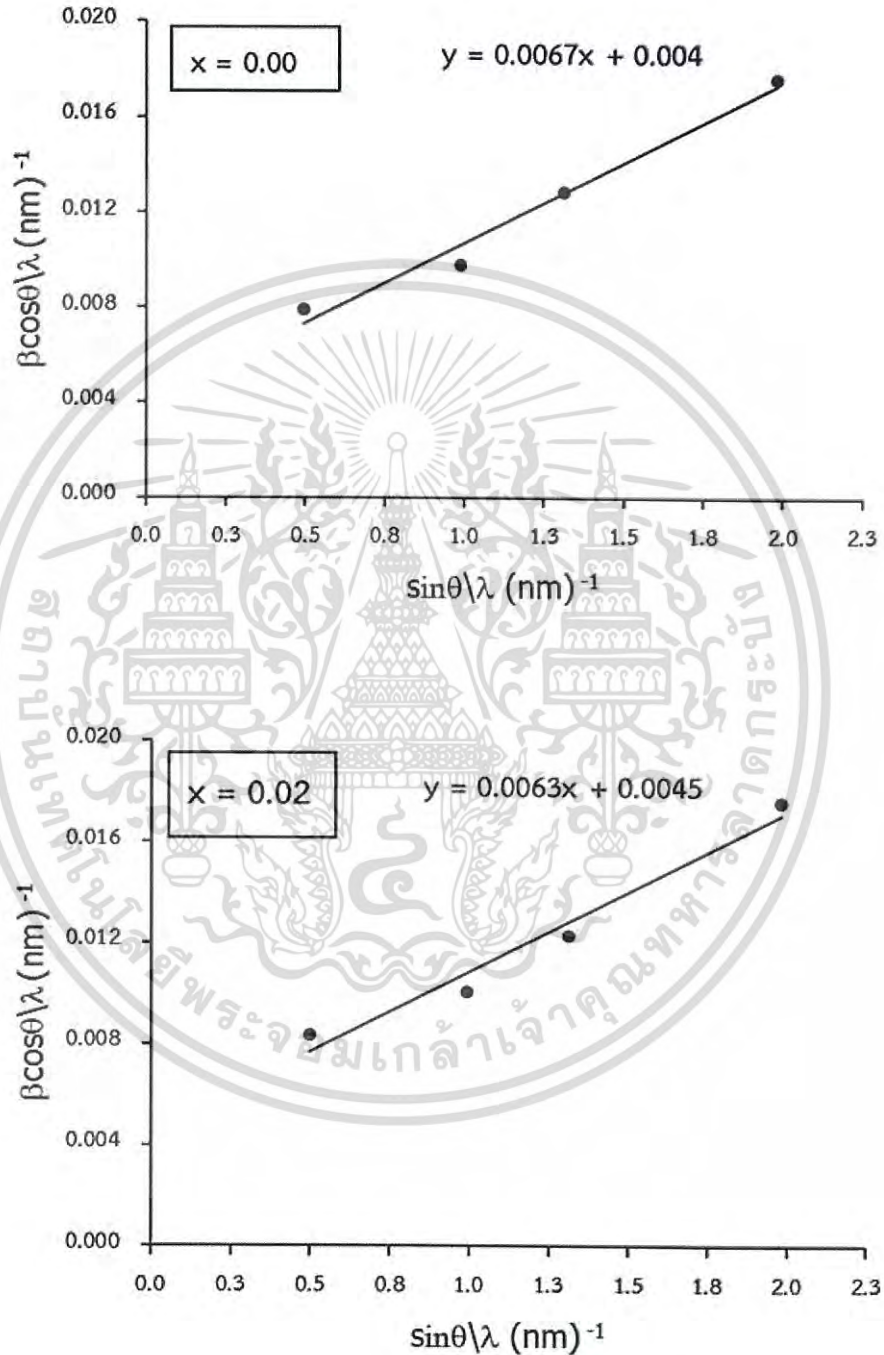
ค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกมีแนวโน้มลดลง ตามปริมาณของไอออนของธาตุ Tb³⁺ ที่เพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 4.1 เนื่องมาจากรัศมีของไอออนของธาตุ Tb³⁺ (0.93 อังสตรอม) ใหญ่กว่ารัศมีของไอออนของธาตุ In³⁺ (0.81 อังสตรอม) การที่ไอออนของธาตุ Tb³⁺ เข้าแทนที่ในตำแหน่งของไอออนของธาตุ In³⁺ ส่งผลให้ค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์มีขนาดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกมีแนวโน้มลดลง ตามปริมาณของไอออนของธาตุ Tb³⁺ ของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaIn_(1-x)Tb_x(WO₄)₂ (0.00 ≤ x ≤ 0.10) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

Compositio n of x	Lattice Parameters				Volume (Å) ³
	a (Å)	b (Å)	c (Å)	β (Å)	
0.00	10.078	5.811	5.056	91.12	296.01
0.02	10.072	5.807	5.044	91.18	294.99
0.04	10.073	5.811	5.051	91.18	295.62
0.06	10.083	5.803	5.097	90.13	298.20
0.08	10.068	5.808	5.050	91.25	295.21
0.10	10.066	5.804	5.043	91.11	294.57

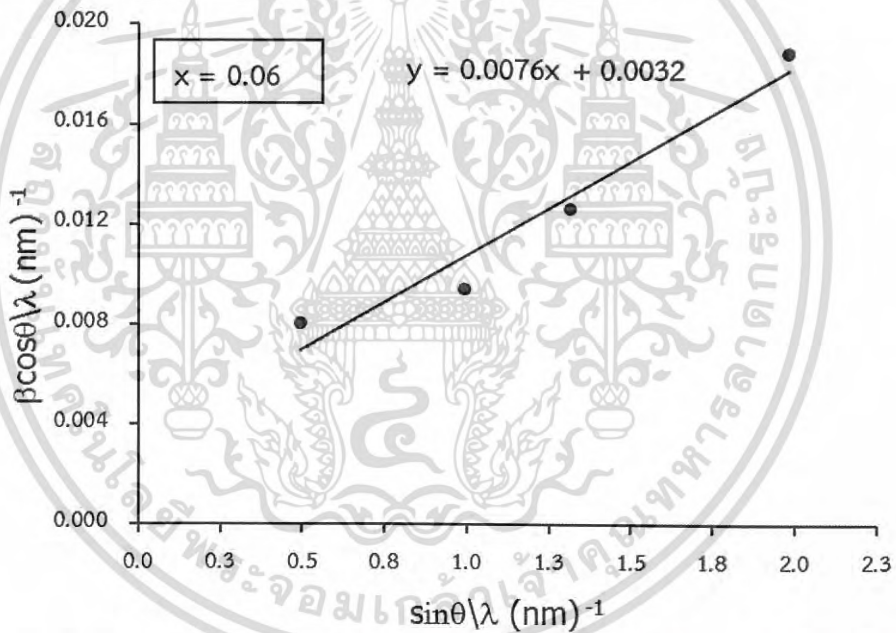
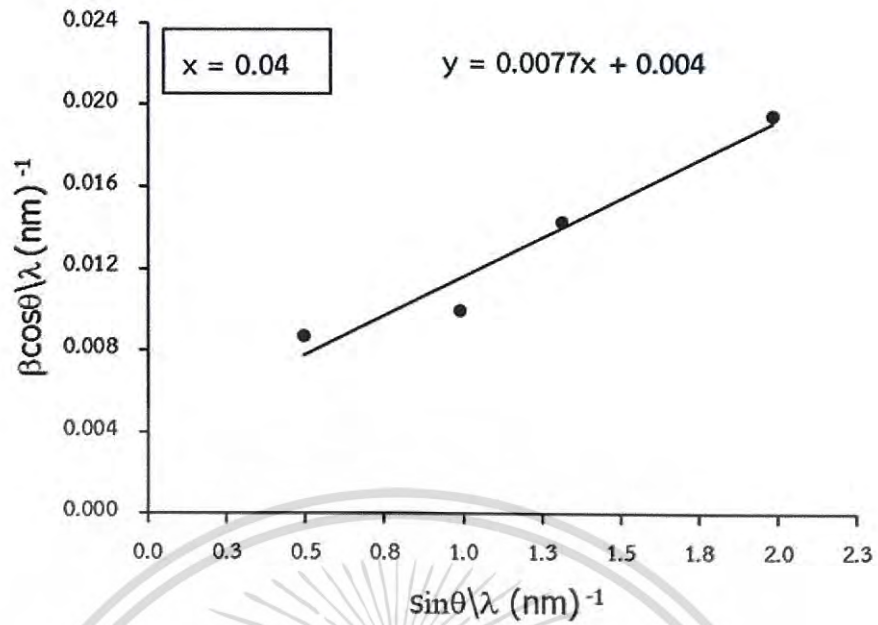
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง



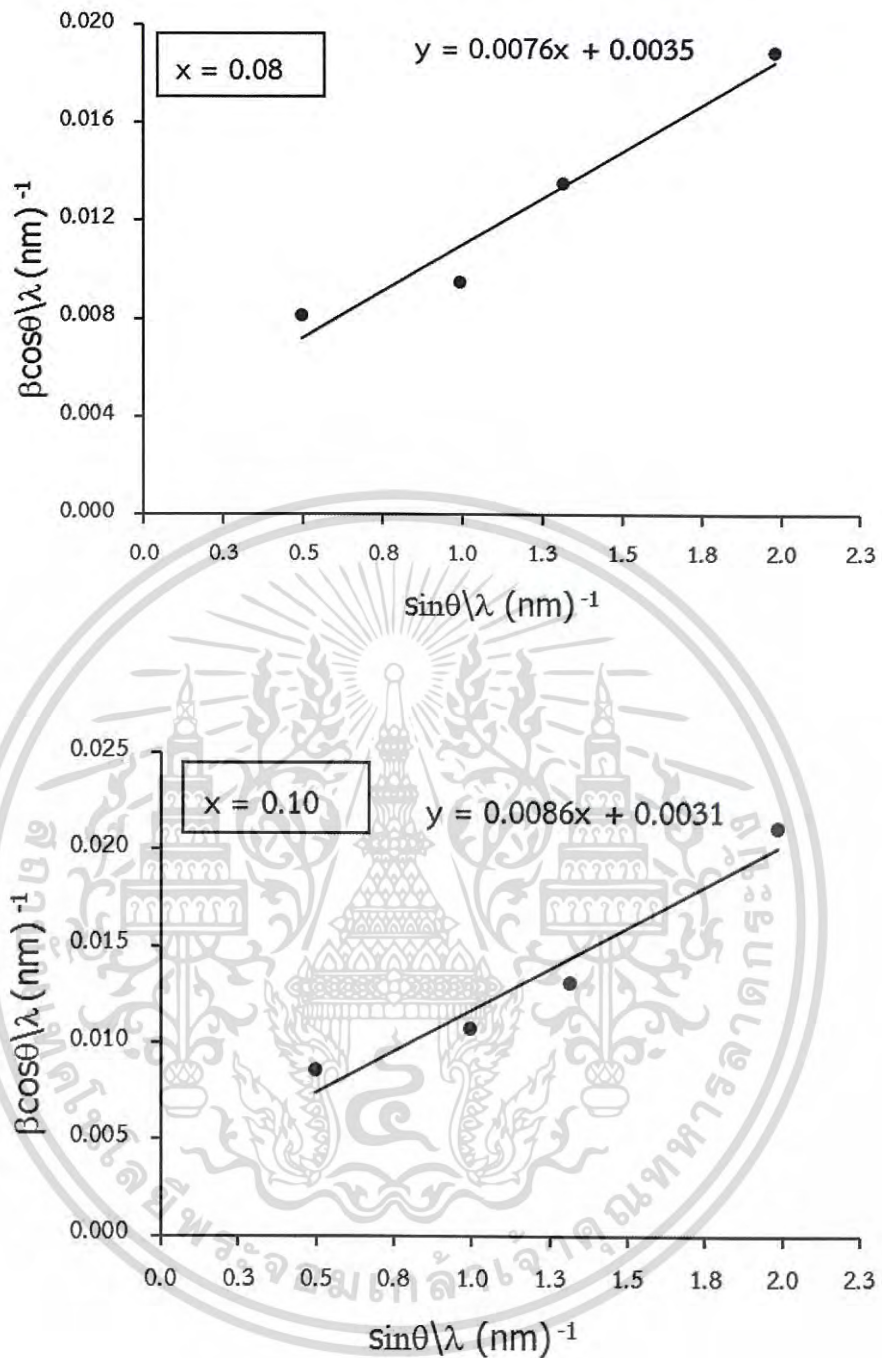
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.00, 0.02$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



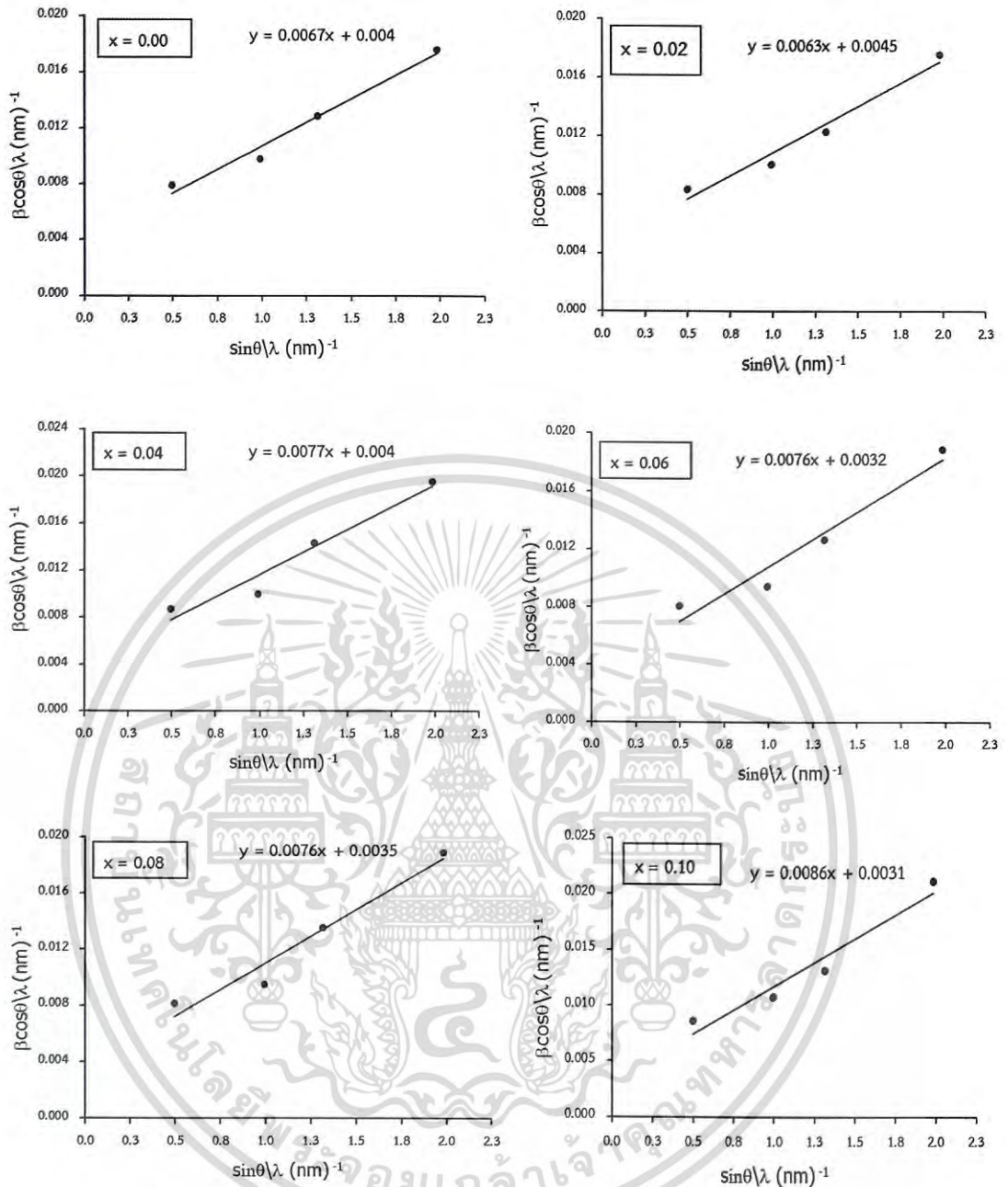
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04, 0.06$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.08, 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

จากความสัมพันธ์ของ วิลเลียมสัน – ฮอลล์ (Williamson-Hall) สามารถที่จะหาค่าขนาดของเกรนของผลึกได้จากสูตร

$$\frac{\beta \cos \theta}{\lambda} = \frac{k}{D} + \frac{4\epsilon \sin \theta}{\lambda}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ D คือขนาดของเกรน (มีหน่วยเป็นนาโนเมตร), β คือ ความกว้างของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูง (มีหน่วยเป็นเรเดียน), E คือความเครียดของเกรน, λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลอง (ซึ่งในที่นี้คือ 0.15406 นาโนเมตร) และ k คือค่าคงที่ (=0.94) ดังนั้นขนาดของเกรนสามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 คำนวณขนาดของเกรนจากสมการ $D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$ และ วิธีที่ 2 คำนวณขนาดของเกรนจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\beta \cos \theta}{\lambda}$ กับ $\frac{\sin \theta}{\lambda}$ (ดังแสดงในรูปที่ 4.6) ของ วิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson - Holl) ซึ่งจุดตัดแกน y ของกราฟ คือ ค่า $\frac{k}{D}$ เมื่อ k เท่ากับ 0.94 แล้วเมื่อนำค่าจุดตัดแกน y มาเท่ากับค่า $\frac{k}{D}$ จะได้ขนาดของเกรน คือ จุดตัดแกน y/k ซึ่งได้ขนาดของเกรนเท่ากับ 235, 208, 235, 293, 263 และ 303 นาโนเมตร ตามลำดับปริมาณการเจือของไอออนของธาตุ Tb^{3+} และจากความสัมพันธ์ของวิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson - Holl) สามารถหาค่าความเครียดของเกรนได้จาก $4\varepsilon = \text{slope}$ ซึ่งจากการทดลองได้ค่าความเครียดของเกรนเท่ากับ 1.67×10^{-3} , 1.57×10^{-3} , 1.92×10^{-3} , 1.90×10^{-3} , 1.90×10^{-3} และ 2.15×10^{-3} ตามลำดับปริมาณการเจือของไอออนของธาตุ Tb^{3+} ดังแสดงในตารางที่ 4.2

Composition of x	(hkl)	2θ	FWHM (radian)	Grain Size from FWHM (nm)	Grain Size from Williamson – Hall (nm)	Dislocation Density (line/m ²)	Strain
x = 0.00	(100)	8.774	0.0012	118	235	1.81×10^{13}	1.67×10^{-3}
	(110)	17.576	0.0015	94			
	(011)	23.351	0.0020	70			
	(021)	35.579	0.0014	96			
x = 0.02	(100)	8.770	0.0012	111	209	2.29×10^{13}	1.58×10^{-3}
	(110)	17.577	0.0015	91			
	(011)	23.355	0.0019	73			
	(021)	35.648	0.0028	48			
x = 0.04	(100)	8.735	0.0013	107	235	1.81×10^{13}	1.93×10^{-3}
	(110)	17.551	0.0015	92			
	(011)	23.348	0.0022	62			
	(021)	35.624	0.0031	43			

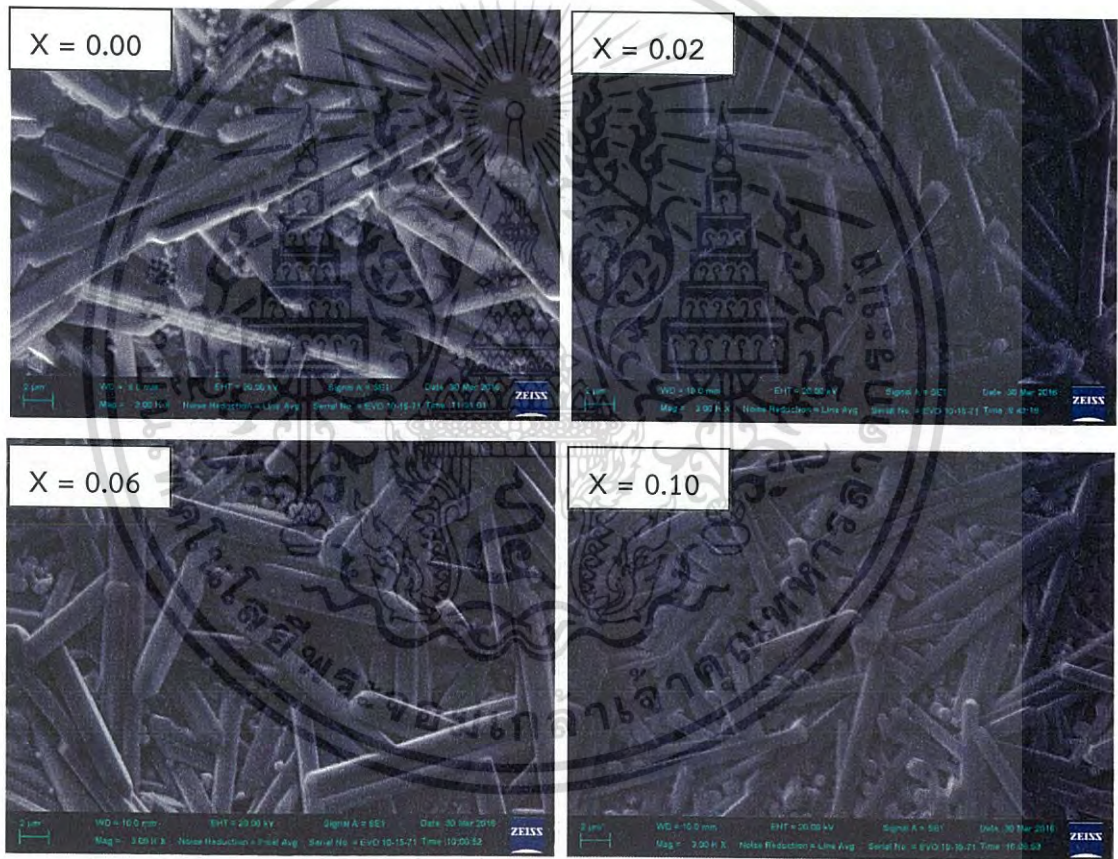
ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดของเกรนของเม็ดเซรามิก $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

Composition of x	ระนาบ (hkl)	มุม 2θ	FWHM (radian)	Grain Size from FWHM (nm)	Grain Size from Williamson – Hall (nm)	Dislocation Density (line/m ²)	Strain
x = 0.06	(100)	8.776	0.0012	116	293	1.16×10^{13}	1.90×10^{-3}
	(110)	17.575	0.0014	97			
	(011)	23.350	0.0019	71			
	(021)	35.578	0.0013	105			
x = 0.08	(100)	8.750	0.0012	115	263	1.44×10^{13}	1.90×10^{-3}
	(110)	17.579	0.0014	96			
	(011)	23.350	0.0021	66			
	(021)	35.575	0.0030	45			
x = 0.10	(100)	8.778	0.0013	109	303	1.09×10^{13}	2.15×10^{-3}
	(110)	17.547	0.0016	85			
	(011)	23.351	0.0020	69			
	(021)	35.574	0.0034	40			

ตารางที่ 4.2(ต่อ) แสดงขนาดของเกรนของเม็ดเซรามิก $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

4.3 การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

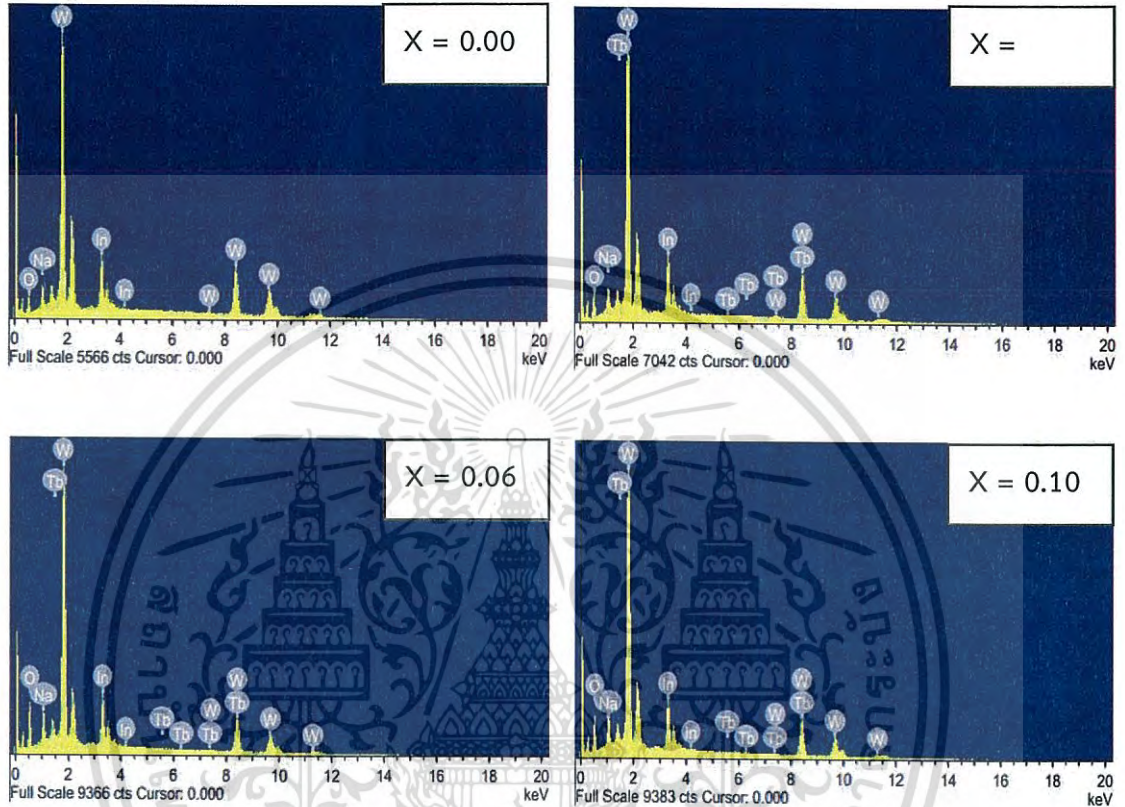
ทำการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ซึ่งเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นผลึกที่ผ่านการอัดเม็ดและเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากภาพถ่ายผิวหน้าพบว่าเกรนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) มีแนวโน้มเล็กลงตามปริมาณการเจือ สังกะสีได้จากผนังของเกรนมีการรวมตัวจนเป็นเนื้อเดียวกันทำให้เกรนมีขนาดเล็กลง



รูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณผิวหน้าของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง



รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_2)_4$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

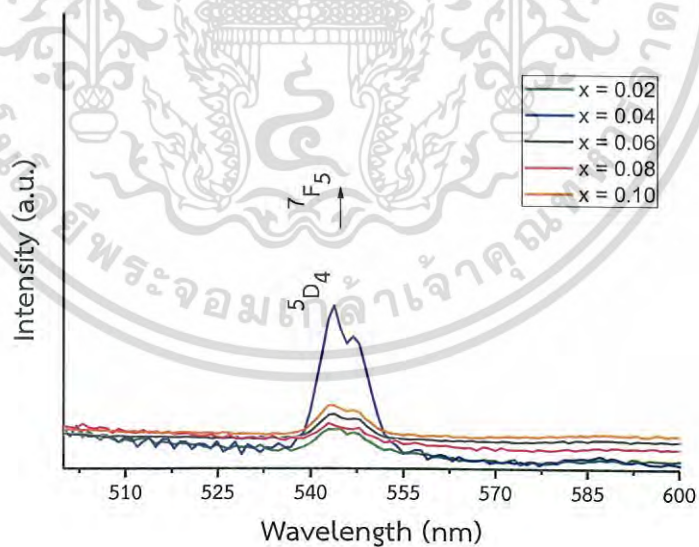
Composition of x	ESD analysis									
	Weight%					Atomic%				
	Na	In	W	O	Tb	Na	In	W	O	Tb
0.00	2.49	20.16	67.37	9.93	-	8.51	13.78	28.76	48.96	-
0.02	2.56	20.76	64.05	12.64	-	7.78	12.64	24.36	55.22	-
0.06	3.25	17.00	60.06	19.69	-	7.65	8.02	17.69	66.64	-
0.10	3.02	17.16	63.12	16.35	0.34	7.97	9.07	20.83	62.01	0.13

ตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบของธาตุที่หาได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

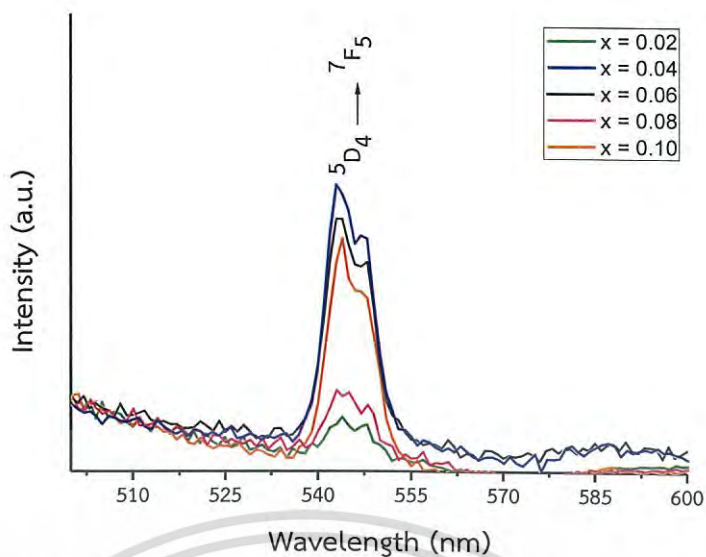
4.5 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาเป็นสารละลายของแข็ง

ได้ทำการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ความกว้างของช่องเปิดแสงกระตุ้นเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ทำการบันทึกแถบเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) โดยกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 348 นาโนเมตร ปรากฏว่าได้พีคการเรืองแสง 1 พีค ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งระบุได้ว่าเป็นการทรานซิชันของอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Tb^{3+} จากระดับพลังงานสูงลงสู่ระดับพลังงานต่ำ โดยปล่อยโฟตอนออกมาเป็นแสงสีเขียว ซึ่งการทรานซิชันดังกล่าวคือ $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$

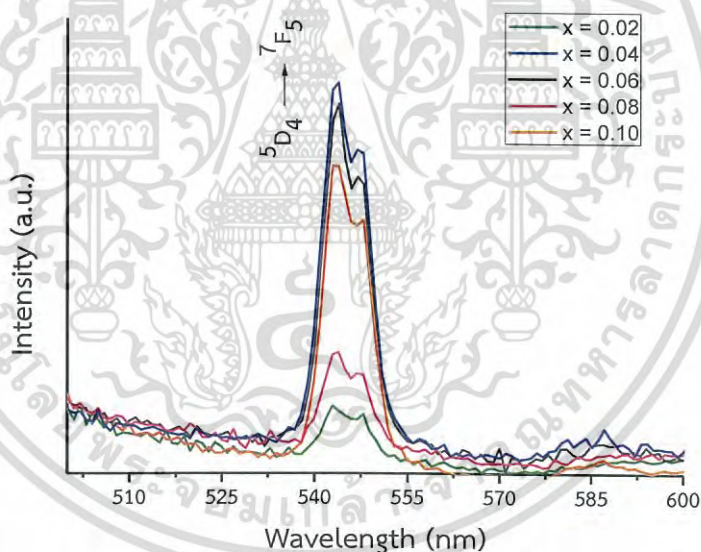
ในทำนองเดียวกันเมื่อกระตุ้นด้วยแสงด้วยความยาวคลื่น 355, 366 และ 375 นาโนเมตร จะได้แถบเรืองแสงมี 1 พีค เช่นเดียวกัน (ดังแสดงในรูปที่ 4.10 – 4.12) โดยความเข้มในแต่ละพีคจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นของแสงกระตุ้น แต่เมื่อศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เศษส่วนโดยโมลอะตอม (x) ของไอออนของธาตุ Tb^{3+} แต่พบว่าความเข้มของพีคการเรืองแสงจะมีค่าสูงสุดที่ $x = 0.04$ และเมื่อ x มีค่ามากกว่า 0.04 ขึ้นไปความเข้มของพีคการเรืองแสงจะลดลง (ดังแสดงในรูปที่ 4.13 – 4.16)



รูปที่ 4.9 แสดงพีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 348 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

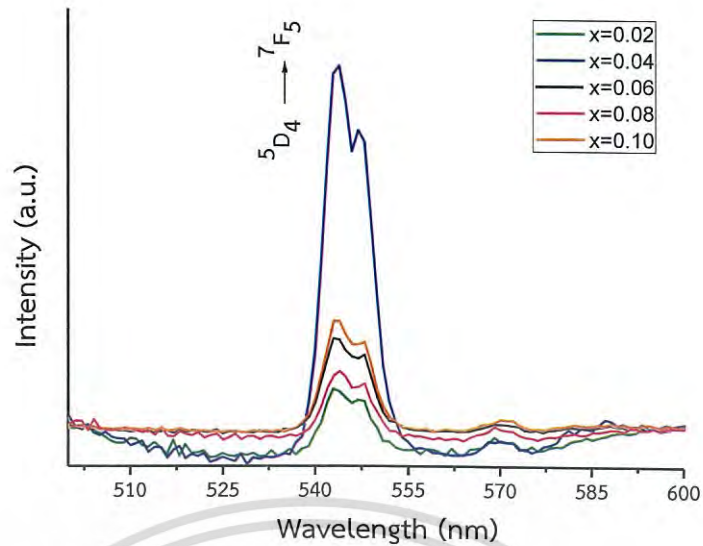


รูปที่ 4.10 แสดงฟลักซ์ความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 355 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

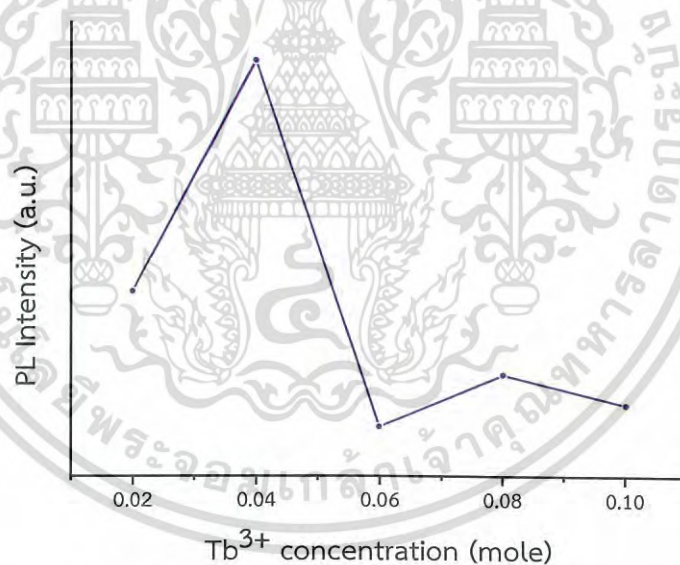


รูปที่ 4.11 แสดงฟลักซ์ความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 366 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

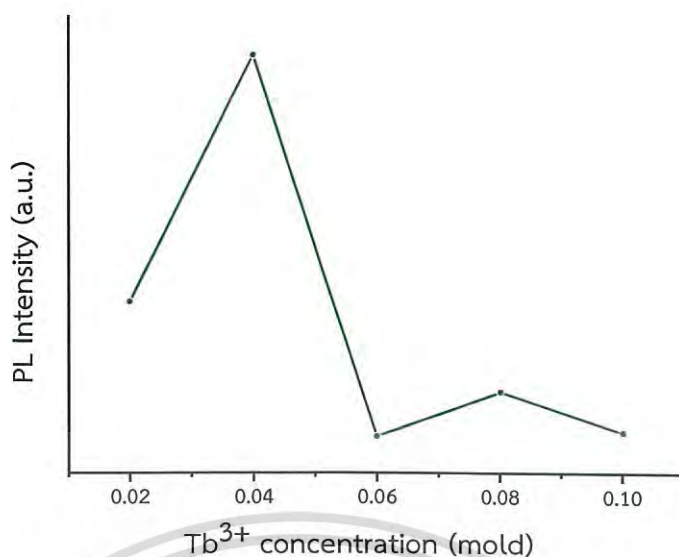


รูปที่ 4.12 แสดงฟลักซ์ความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

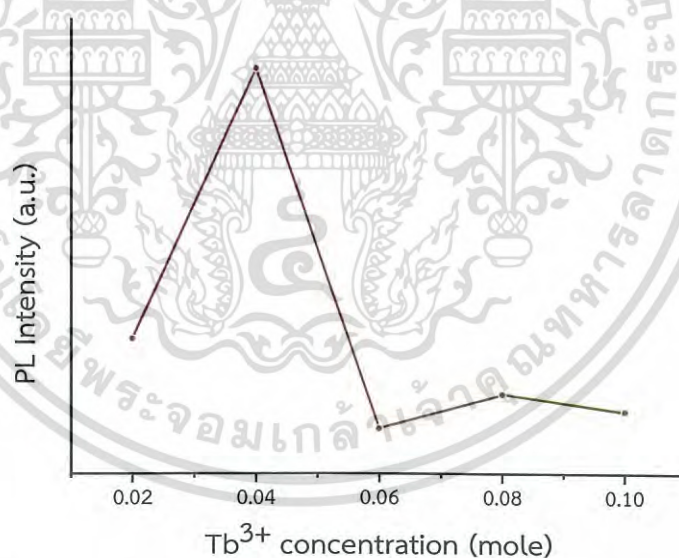


รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่กระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 348 นาโนเมตร ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Tb^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

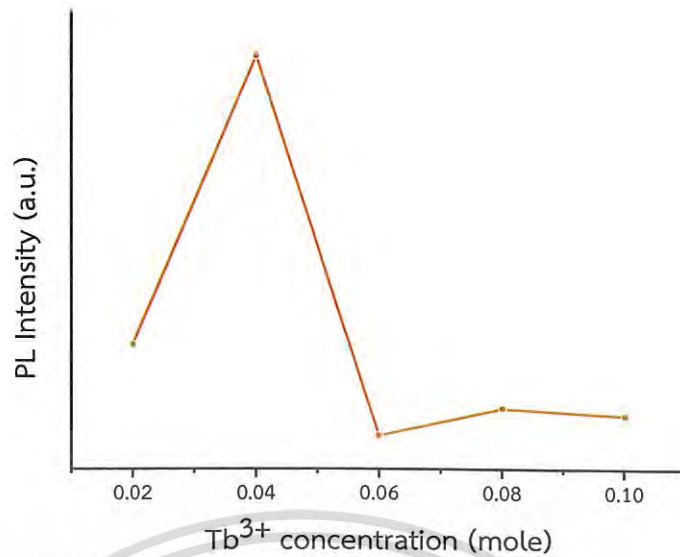


รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 355 นาโนเมตร ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Tb³⁺ ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaIn_(1-x)Tb_x(WO₄)₂ (0 ≤ x ≤ 0.10) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 366 นาโนเมตร ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Tb³⁺ ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ NaIn_(1-x)Tb_x(WO₄)₂ (0 ≤ x ≤ 0.10) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

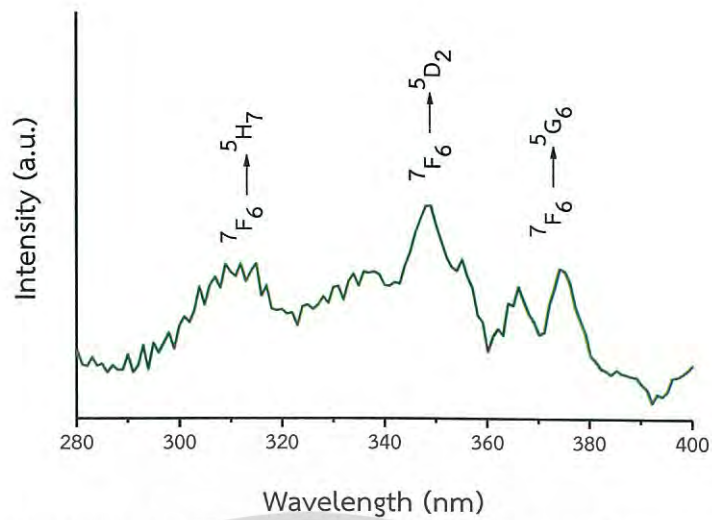


รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Tb³⁺ ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

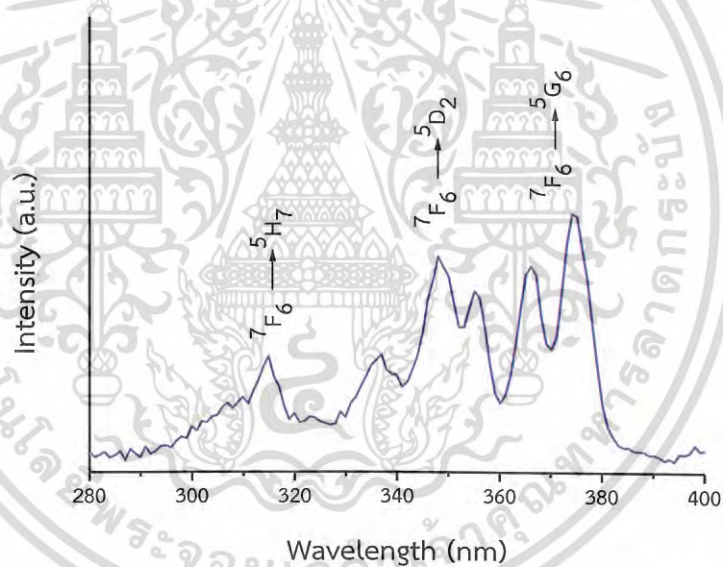
ทำการบันทึกแถบพลังงานกระตุ้นของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.02$) โดยพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร พบว่าเกิดพีคของพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้น จำนวน 3 พีค ที่ความยาวคลื่น 348, 355, 366 และ 375 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งระบุได้ว่าเป็นการทรานซิชันของอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Tb³⁺ จากระดับพลังงานต่ำไประดับพลังงานสูงโดยการดูดกลืนโฟตอนที่สอดคล้องกับพีคของแถบกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 348, 366 และ 375 นาโนเมตร ซึ่งการทรานซิชันดังกล่าวคือ $^7F_6 \rightarrow ^5H_7$, $^7F_6 \rightarrow ^5D_2$ และ $^7F_6 \rightarrow ^5G_6$ ในทำนองเดียวกันเมื่อบันทึกแถบกระตุ้นของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) โดยพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร จะได้แถบพลังงานกระตุ้นมี 4 พีค เช่นเดียวกัน (ดังแสดงในรูปที่ 4.18 – 4.21) แต่มีข้อสังเกตคือแถบกระตุ้นจะมีความเข้มสูงสุด เมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ความเข้มของแถบกระตุ้นจะมีค่าลดลงตามลำดับ ส่วนตำแหน่งของพีคแถบกระตุ้นจะอยู่ที่ความยาวคลื่นแสงเดิม แสดงว่าพลังงานของแถบกระตุ้นควรมีค่ามากกว่าพลังงานของแถบเรืองแสงแล้วจะได้รับความเข้มของการเรืองแสงมาก

แต่เมื่อพิจารณาแถบกระตุ้นของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เศษส่วนโดยโมลอะตอม (x) ของไอออนของธาตุ Tb³⁺ ค่าต่างๆ พบว่าความเข้มของแถบพลังงานกระตุ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก $x = 0.02$ จนมีค่าสูงสุดที่ $x = 0.04$ จากนั้นจะมีค่าลดลงซึ่งที่ $x = 0.04$ นี้แถบเรืองแสงจะมีค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

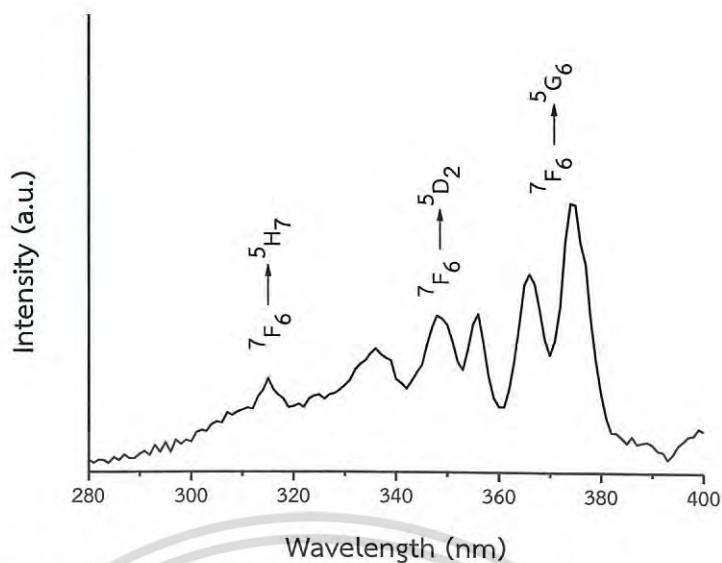


รูปที่ 4.17 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.02$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

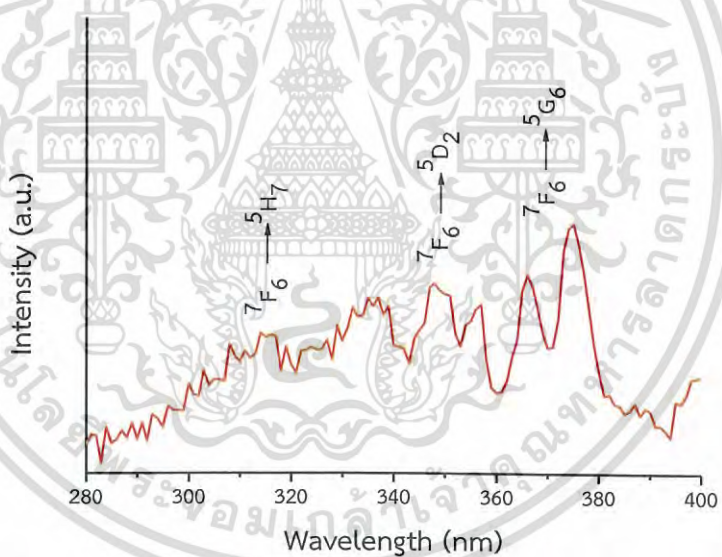


รูปที่ 4.18 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

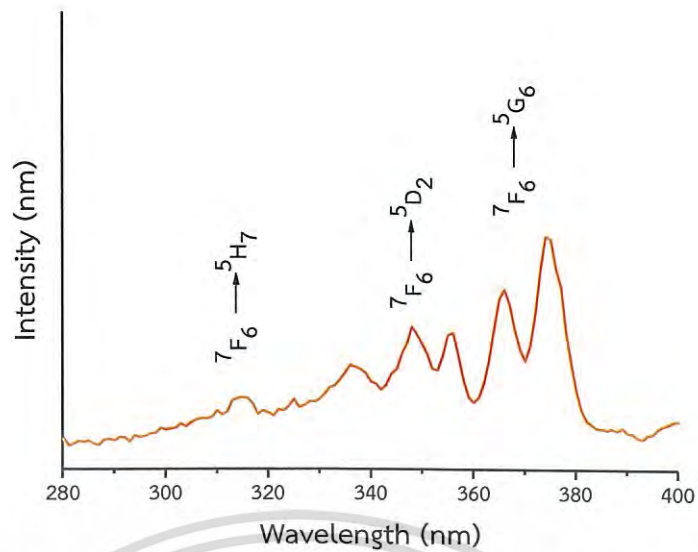


รูปที่ 4.19 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.06$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

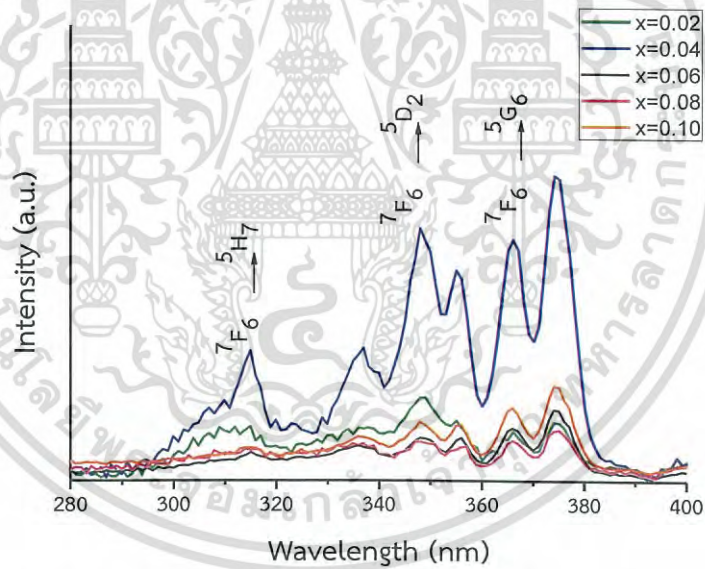


รูปที่ 4.20 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.08$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

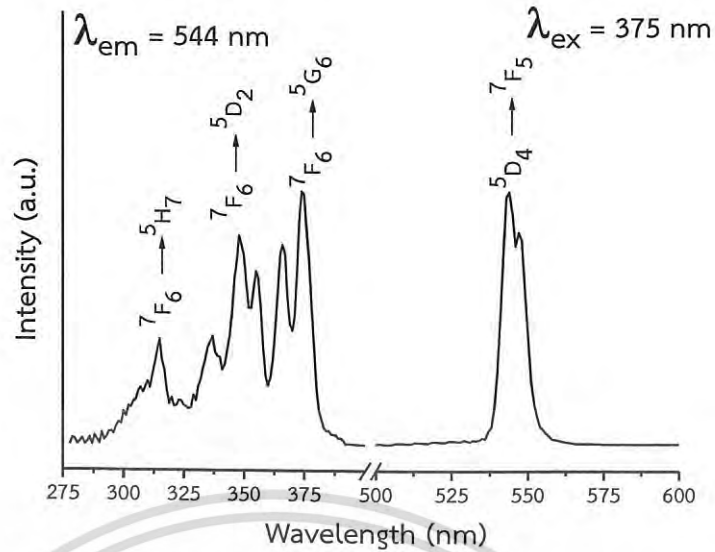


รูปที่ 4.21 แสดงฟลักซ์ความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่มีความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง



รูปที่ 4.22 แสดงฟลักซ์ความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่มีความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร และ พีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

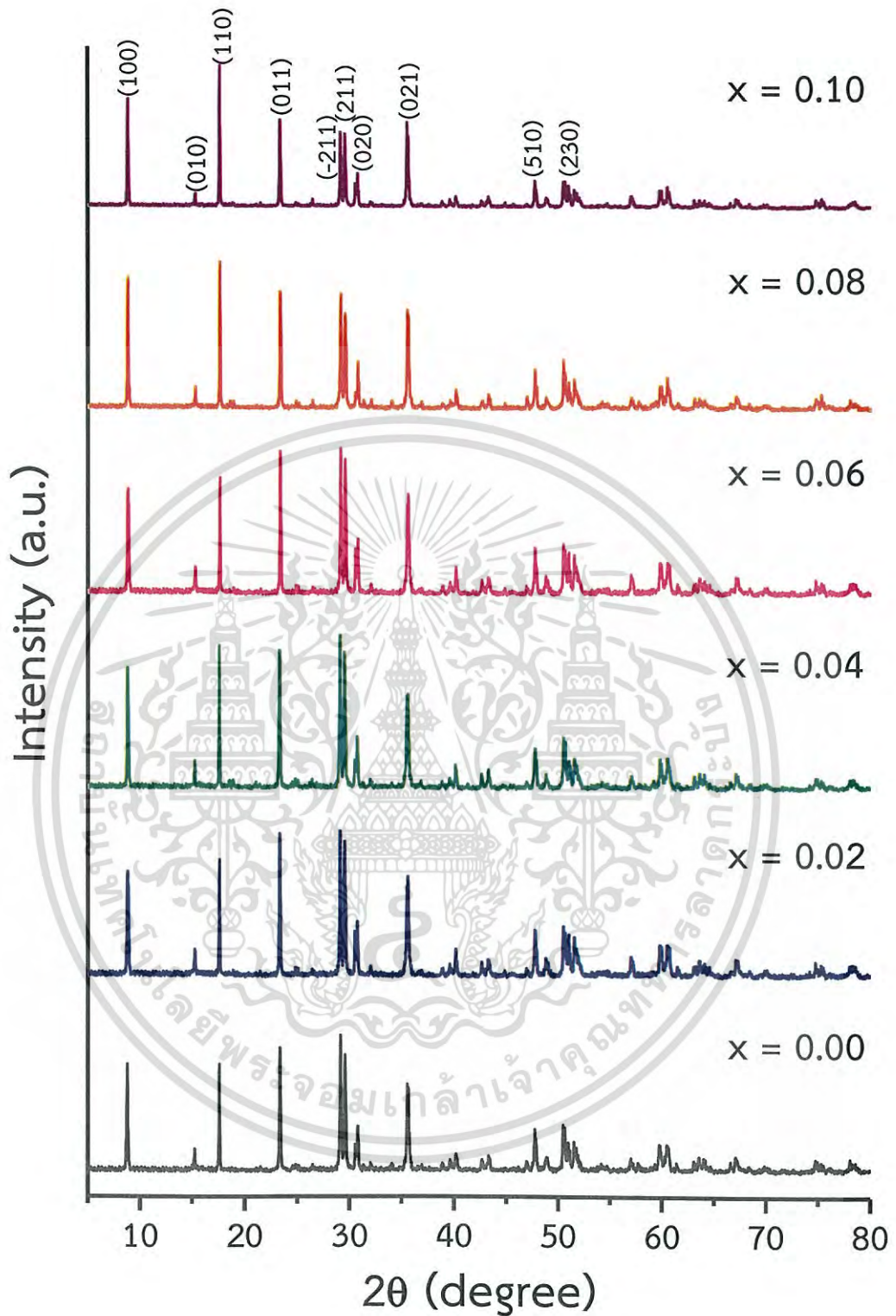
4.6 ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

4.6.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะใช้ในการทดสอบโครงสร้างผลึกของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมโดยนำเอาสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นได้นำเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) มาทำการบดให้ละเอียด จากการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ดังรูปที่ 4.24 พบว่าพีคที่มีความเข้มสูงสุดเกิดจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยระนาบ (110) ของโครงผลึกแบบโมโนคลินิกที่มุม 2θ เท่ากับ 17.557 องศา นอกจากนี้ยังพบพีคของระนาบโครงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ได้แก่ ระนาบ (100), (010), (110), (011), (-211), (211), (021), (510) และ (230) ที่มุม 2θ ในกรณี $x = 0.02$ จะมีค่าเท่ากับ 8.770, 15.275, 17.557, 23.355, 29.150, 29.600, 35.648, 47.775 และ 50.475 องศา ตามลำดับ สำหรับกรณีที่เศษส่วนโดยมวลอะตอม(x) มีค่าตั้งแต่ $x = 0.04$ ขึ้นไปจะ

ปรากฏเฟสแฝงของสารประกอบ EuO_3 ร่วมกับเฟสหลักของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงพีคความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบ โมโนคลินิก

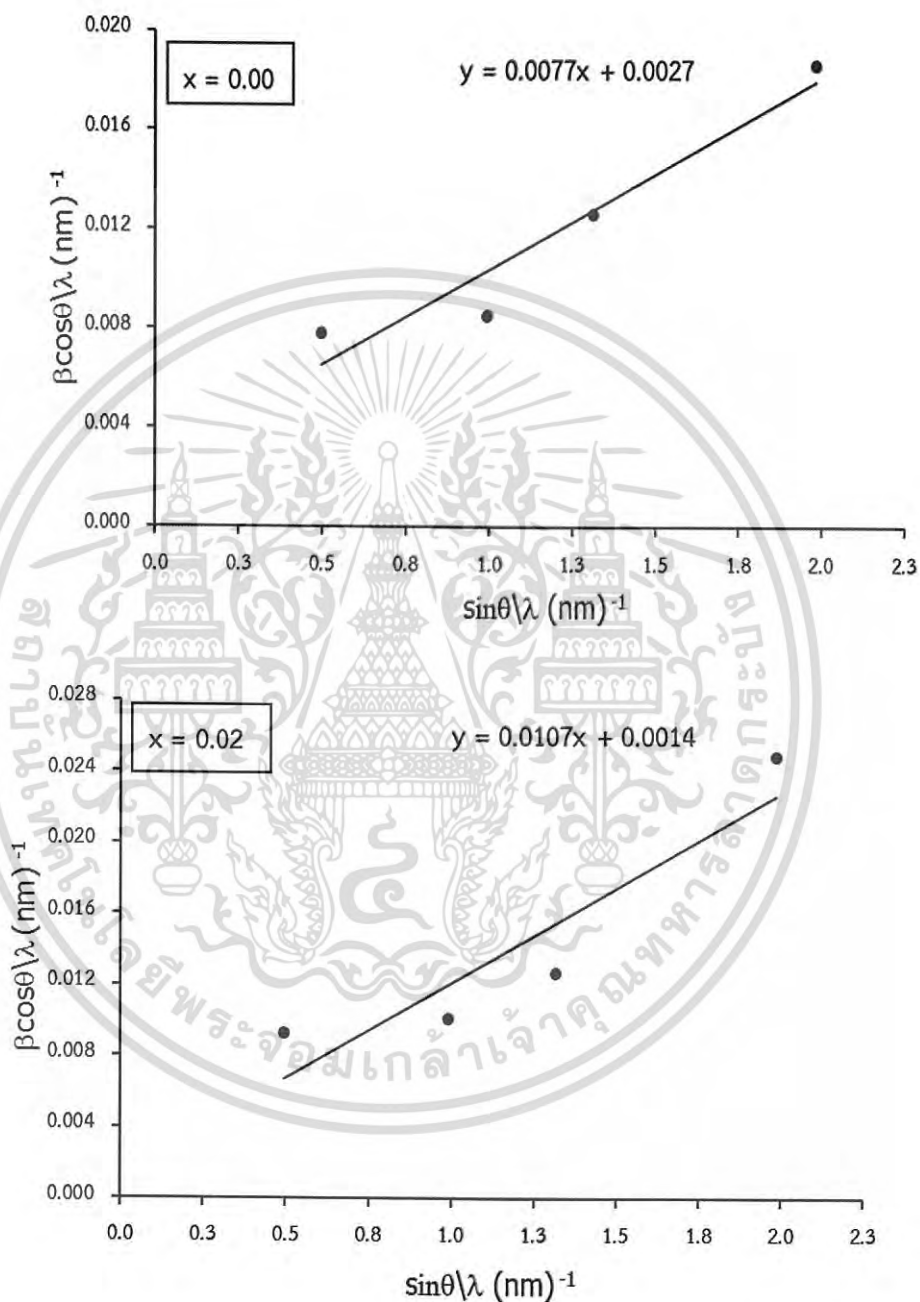
ค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกมีแนวโน้มลดลง ตามปริมาณของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ที่เพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 4.4 เนื่องจากรัศมีของไอออนของธาตุ Eu^{3+} (0.98 อังสตรอม) ใหญ่กว่ารัศมีของไอออนของธาตุ In^{3+} (0.81 อังสตรอม) การที่ไอออนของธาตุ Eu^{3+} เข้าแทนที่ในตำแหน่งของไอออนของธาตุ In^{3+} ส่งผลให้ค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์มีขนาดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าโครงที่โครงผลึก a, b, c และของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ โมโนคลินิกมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ของผงผลึก เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จาก สารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

Composition of x	Lattice Constant				Volume (\AA^3)
	a (\AA)	b (\AA)	c (\AA)	β (\AA)	
x = 0.00	10.073	5.806	5.051	91.182	295.44
x = 0.02	10.070	5.806	5.045	91.181	294.99
x = 0.04	10.075	5.808	5.048	91.116	295.41
x = 0.06	10.066	5.808	5.049	91.115	295.18
x = 0.08	10.074	5.806	5.052	91.182	295.48
x = 0.10	10.072	5.807	5.049	91.115	295.28

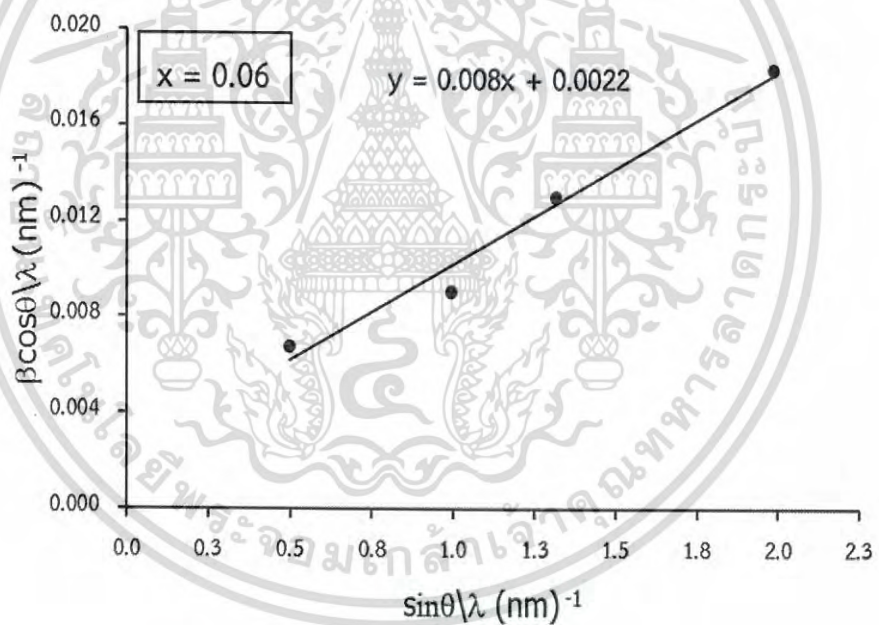
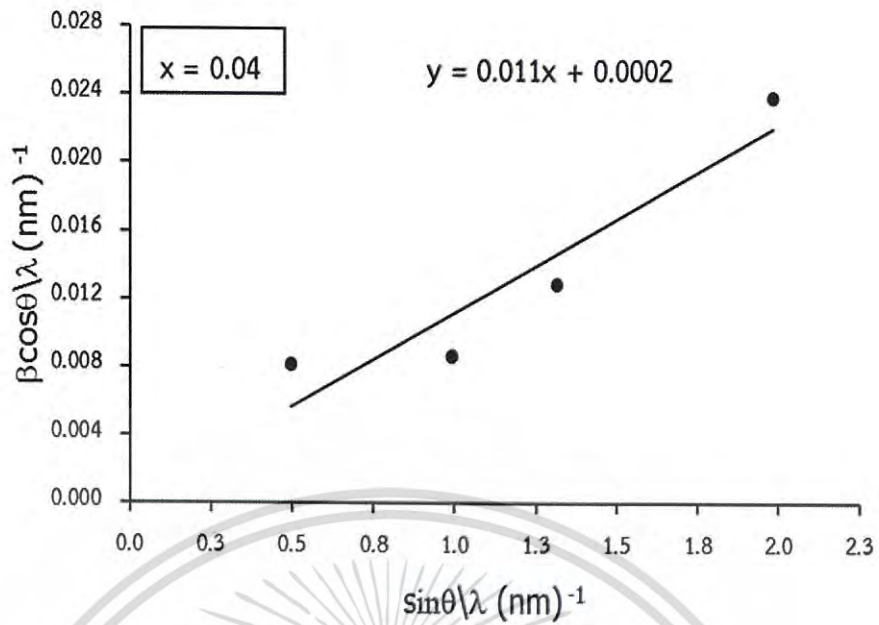
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 ผลการหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง



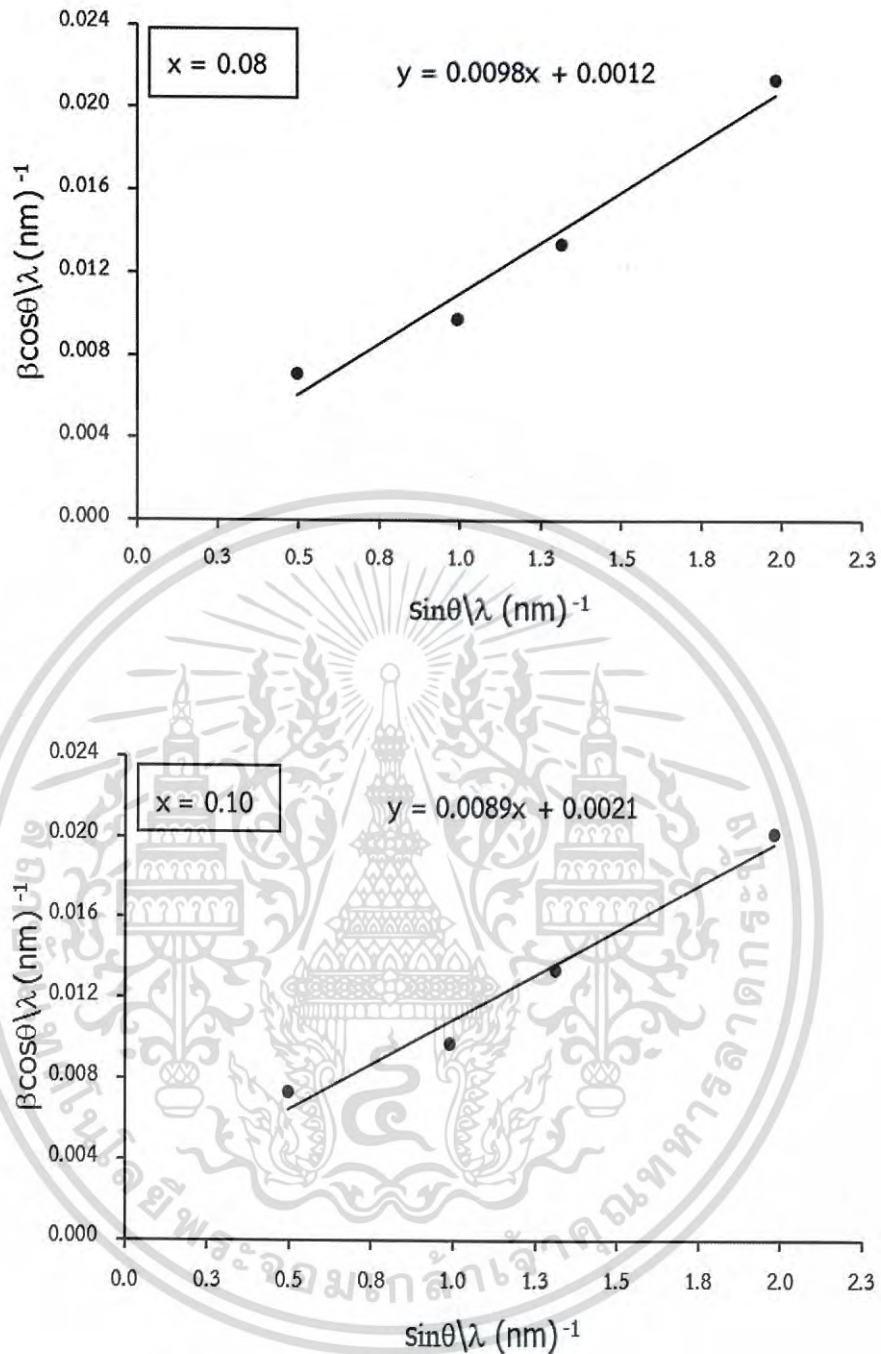
รูปที่ 4.25 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.00, 0.02$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



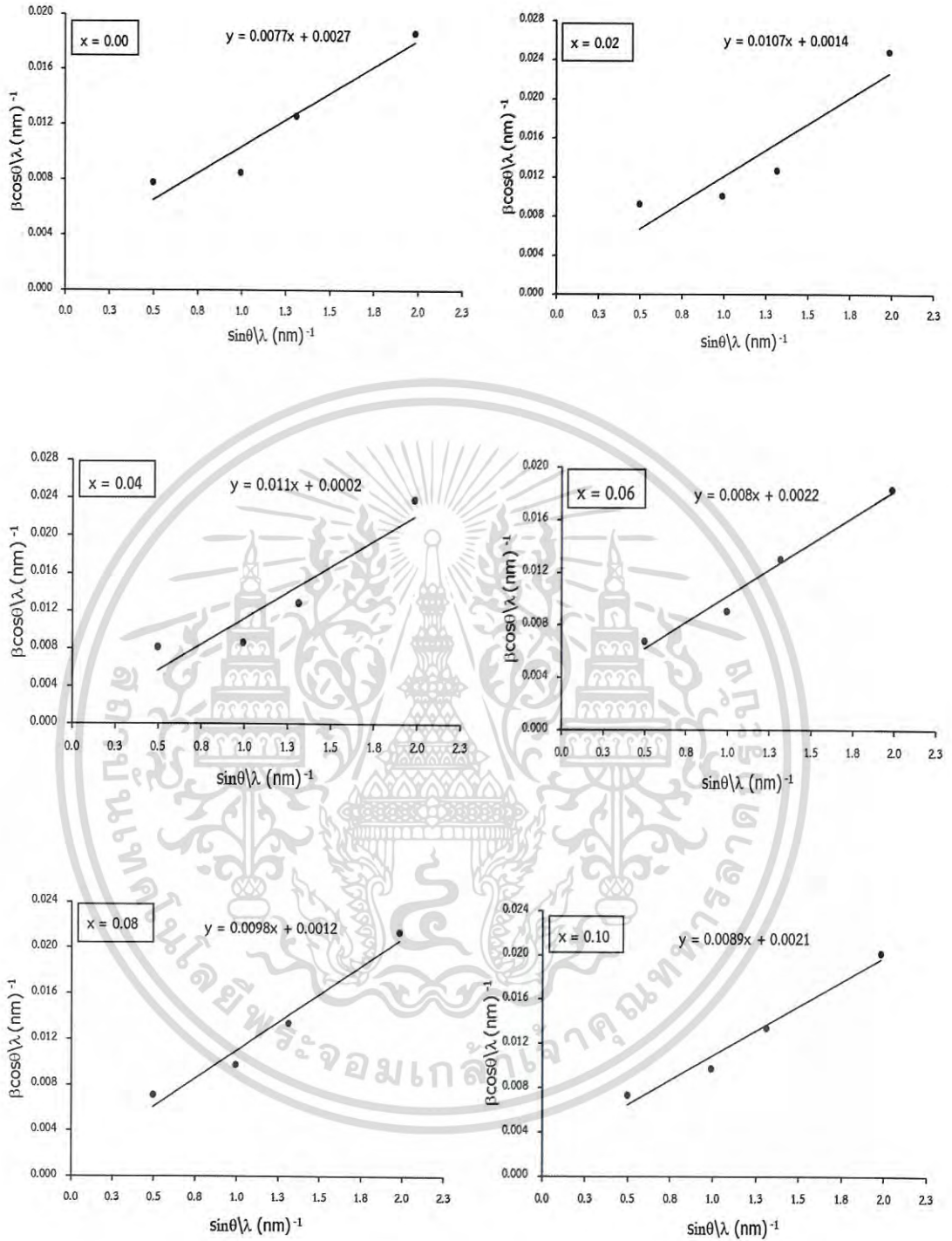
รูปที่ 4.26 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{Na}_{1-(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04, x = 0.06$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{Nal}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.08$, $x = 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของ วิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson-Hall) สามารถที่จะหาค่าขนาดของเกรนของผลึกได้จากสูตร

$$\frac{\beta \cos \theta}{\lambda} = \frac{k}{D} + \frac{4\varepsilon \sin \theta}{\lambda}$$

เมื่อ D คือขนาดของเกรน (มีหน่วยเป็นนาโนเมตร), β คือ ความกว้างของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูง (มีหน่วยเป็นเรเดียน), ε คือความเครียดของเกรน, λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลอง (ซึ่งในที่นี้คือ 0.15406 นาโนเมตร) และ k คือค่าคงที่ (=0.94) ดังนั้นขนาดของเกรนสามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 คำนวณขนาดของเกรนจากสมการ $D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$ และ วิธีที่ 2 คำนวณขนาดของเกรนจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\beta \cos \theta}{\lambda}$ กับ $\frac{\sin \theta}{\lambda}$ (ดังแสดงในรูปที่ 4.28) ของ วิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson - Holl) ซึ่งจุดตัดแกน y ของกราฟ คือ ค่า $\frac{k}{D}$ เมื่อ k เท่ากับ 0.94 แล้วเมื่อนำค่าจุดตัดแกน y มาเท่ากับค่า $\frac{k}{D}$ จะได้ขนาดของเกรน คือ จุดตัดแกน y/k ซึ่งได้ขนาดของเกรนเท่ากับ 348, 671, 4700, 427, 783 และ 447 นาโนเมตร ตามลำดับปริมาณการเจือของไอออนของธาตุ Eu^{3+} และจากความสัมพันธ์ของวิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson - Holl) สามารถหาค่าความเครียดของเกรนได้จาก $4\varepsilon = \text{slope}$ ซึ่งจากการทดลองได้ค่าความเครียดของเกรนเท่ากับ 1.93×10^{-3} , 2.68×10^{-3} , 2.75×10^{-3} , 2.00×10^{-3} , 2.45×10^{-3} และ 2.22×10^{-3} ตามลำดับปริมาณการเจือของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ดังแสดงในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Composition of x	ระนาบ (hkl)	มุม 2θ	FWHM (radian)	Grain Size from FWHM (nm)	Grain Size from William Son – Hall (nm)	Dislocation Density (line/m ²)	Strain
x = 0.00	(100)	8.774	0.0012	145	348	8.25×10^{12}	1.93×10^{-3}
	(110)	17.576	0.0013	146			
	(011)	23.351	0.0019	73			
	(021)	35.579	0.0030	50			
x = 0.02	(100)	8.770	0.0014	145	671	2.22×10^{12}	2.68×10^{-3}
	(110)	17.577	0.0015	73			
	(011)	23.355	0.0019	74			
	(021)	35.648	0.0040	38			
x = 0.04	(100)	8.753	0.0012	145	4700	4.53×10^{12}	2.75×10^{-3}
	(110)	17.551	0.0013	147			
	(011)	23.348	0.0020	74			
	(021)	35.624	0.0038	38			

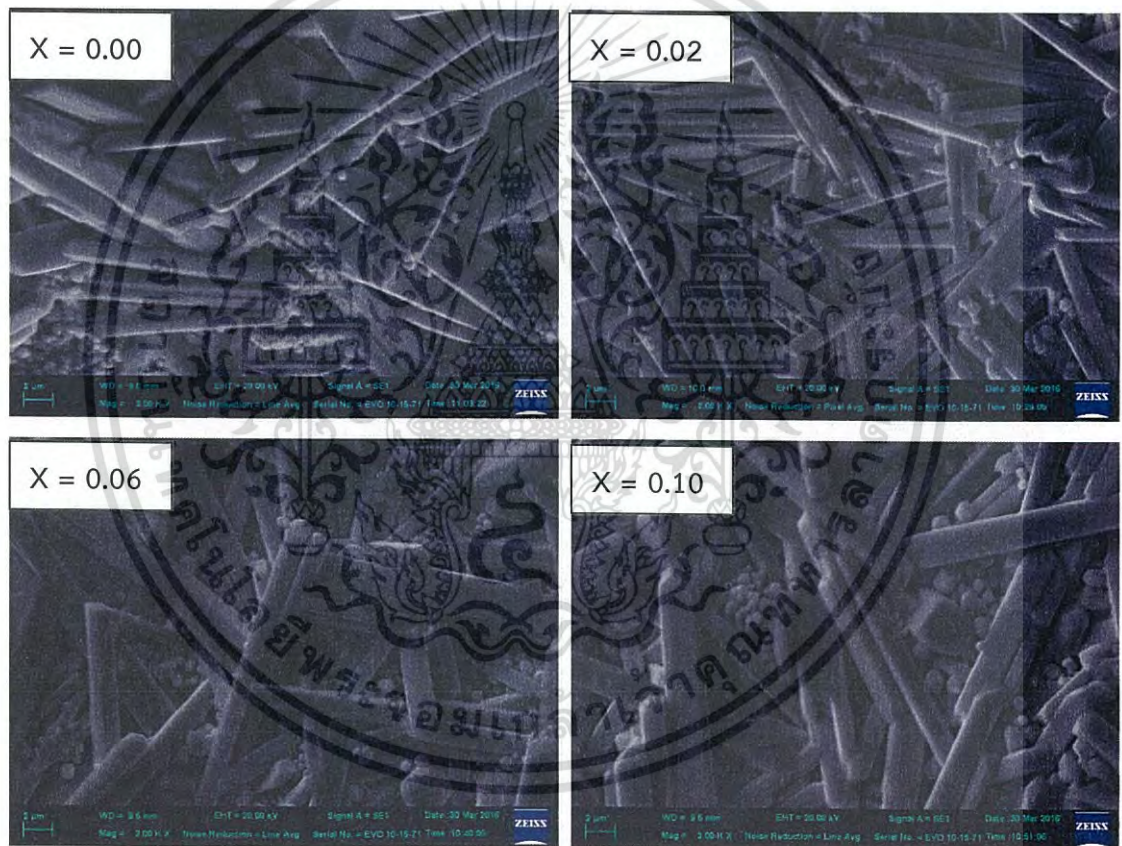
ตารางที่ 4.5 แสดงขนาดของเกรนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

Composition of x	ระนาบ (hkl)	มุม 2θ	FWHM (radian)	Grain Size from FWHM (nm)	Grain Size from William Son – Hall (nm)	Dislocation Density (line/m ²)	Strain
x = 0.06	(100)	8.776	0.0010	145	427	5.48×10^{12}	2.00×10^{-3}
	(110)	17.575	0.0014	146			
	(011)	23.350	0.0020	74			
	(021)	35.578	0.0029	51			
x = 0.08	(100)	8.750	0.0011	146	783	1.63×10^{12}	2.45×10^{-3}
	(110)	17.579	0.0015	73			
	(011)	23.350	0.0021	74			
	(021)	35.575	0.0034	50			
x = 0.10	(100)	8.778	0.0011	145	447	4.99×10^{12}	2.22×10^{-3}
	(110)	17.547	0.0015	73			
	(011)	23.351	0.0021	73			
	(021)	35.574	0.0032	50			

ตารางที่ 4.5(ต่อ) แสดงขนาดของเกรนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

4.7 การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

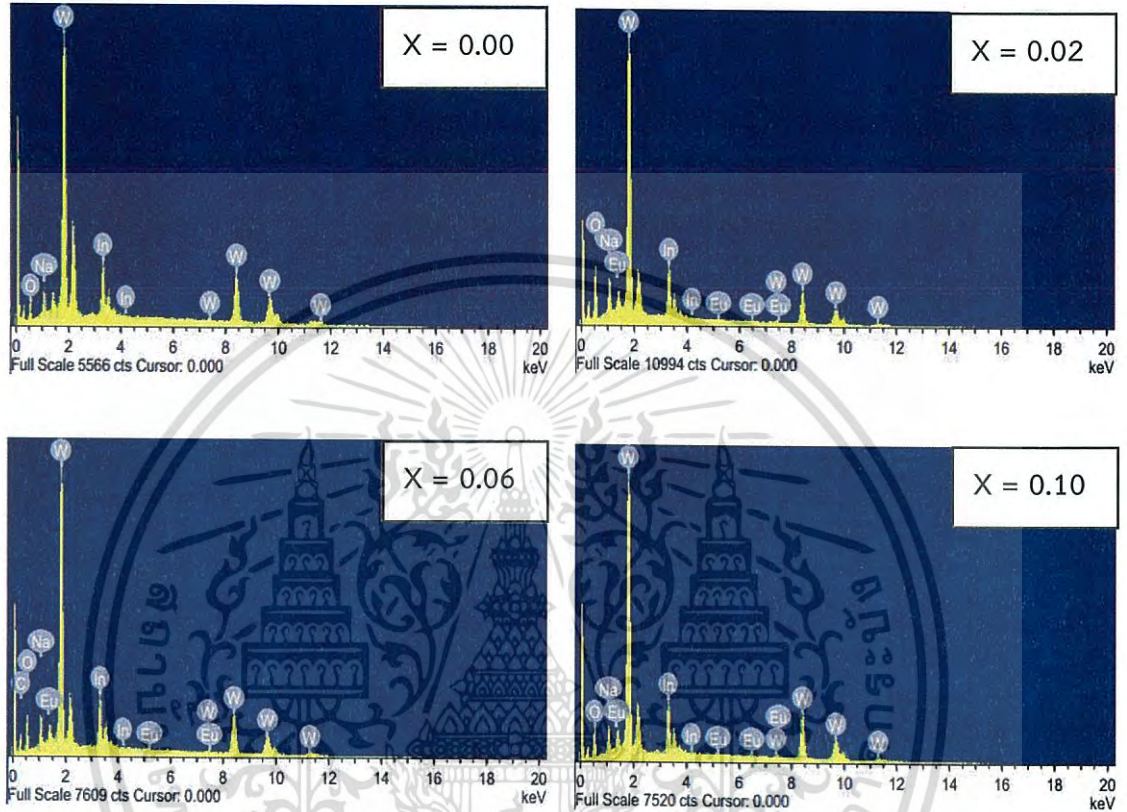
ทำการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ซึ่งเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกที่ผ่านการอัดเม็ดและเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากภาพถ่ายผิวหน้าพบว่าเกรนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) มีแนวโน้มใหญ่ขึ้นตามปริมาณการเจือ สังกะสีได้จากผนังของเกรนมีการรวมตัวจนเป็นเนื้อเดียวกันทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 4.29 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณผิวหน้าของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง



รูปที่ 4.30 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

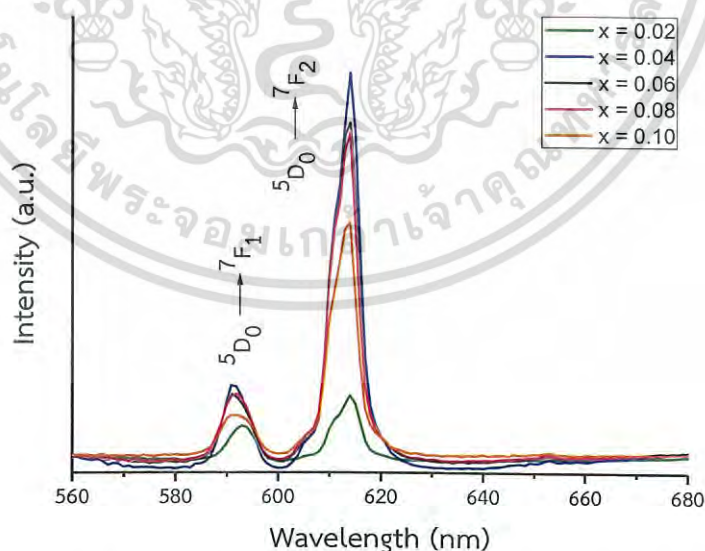
Composition of x	ESD analysis									
	Weight%					Atomic%				
	Na	In	W	O	Eu	Na	In	W	O	Eu
0.00	2.49	20.16	67.37	9.98	-	8.51	13.78	28.76	48.96	-
0.02	3.38	16.48	59.04	21.09	-	7.61	7.44	16.64	68.31	-
0.06	2.86	16.12	57.44	15.25	0.34	5.66	6.39	14.22	43.36	0.10
0.10	2.89	18.18	64.07	14.42	0.44	8.19	10.31	22.68	58.64	0.19

ตารางที่ 4.6 แสดงองค์ประกอบของธาตุที่หาได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

4.9 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาเป็นสารละลายของแข็ง

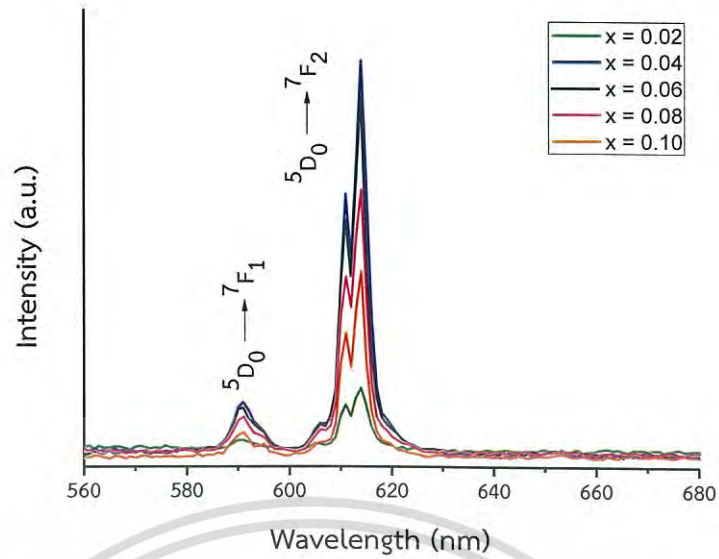
ได้ทำการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ความกว้างของช่องเปิดแสงกระตุ้น (excitation slit) กว้างเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร และช่องเปิดการเรืองแสง (emission slit) กว้างเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร ทำการบันทึกแถบเรืองแสงของผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) โดยกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 391 นาโนเมตร ปรากฏว่าได้พีคการเรืองแสง 2 พีค ที่ความยาวคลื่น 591 และ 613 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.31 ซึ่งระบุได้ว่าเป็นการทรานซิชันของอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Eu^{3+} จากระดับพลังงานสูงลงสู่ระดับพลังงานต่ำ โดยปล่อยโฟตอนออกมาเป็นแสงสีแดง ซึ่งการทรานซิชันดังกล่าวคือ ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_{1,2}$

ในทำนองเดียวกันเมื่อกระตุ้นแสงด้วยความยาวคลื่น 460 หรือ 532 นาโนเมตร จะได้แถบเรืองแสงมี 2 พีค เช่นเดียวกัน (ดังแสดงในรูปที่ 4.32 และ 4.33) โดยความเข้มในแต่ละพีคจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นของแสงกระตุ้น แต่เมื่อศึกษาการเรืองแสงของผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เศษส่วนโดยโมลอะตอม (x) ของไอออนของธาตุ Eu^{3+} แต่พบว่าความเข้มของพีคการเรืองแสงจะมีค่าสูงสุดที่ $x = 0.04$ และเมื่อ x มีค่ามากกว่า 0.04 ขึ้นไป ความเข้มของพีคการเรืองแสงจะลดลง (ดังแสดงในรูปที่ 4.34 – 4.36)

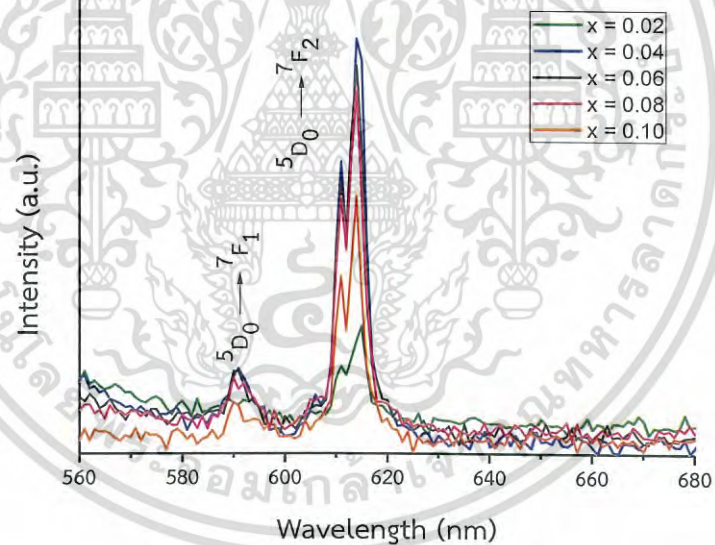


รูปที่ 4.31 แสดงพีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 391 นาโนเมตร ของผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

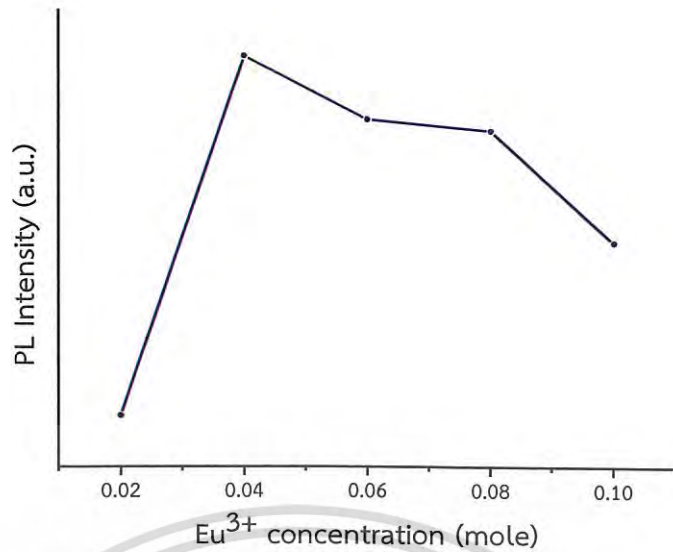


รูปที่ 4.32 แสดงฟลักซ์ความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

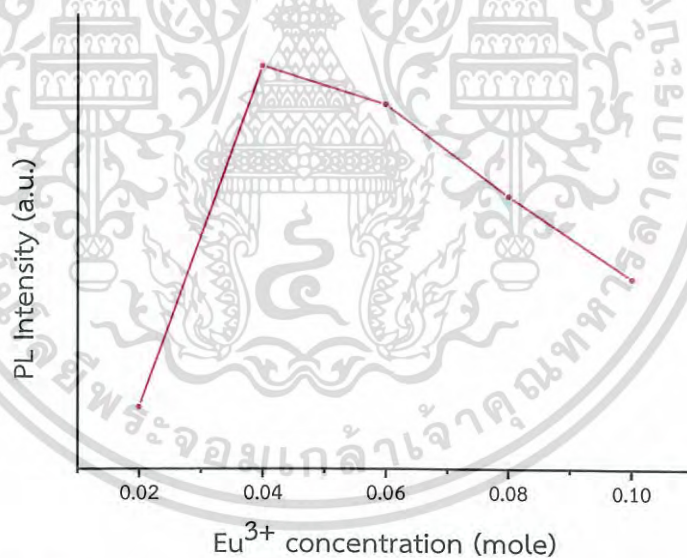


รูปที่ 4.33 แสดงฟลักซ์ความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

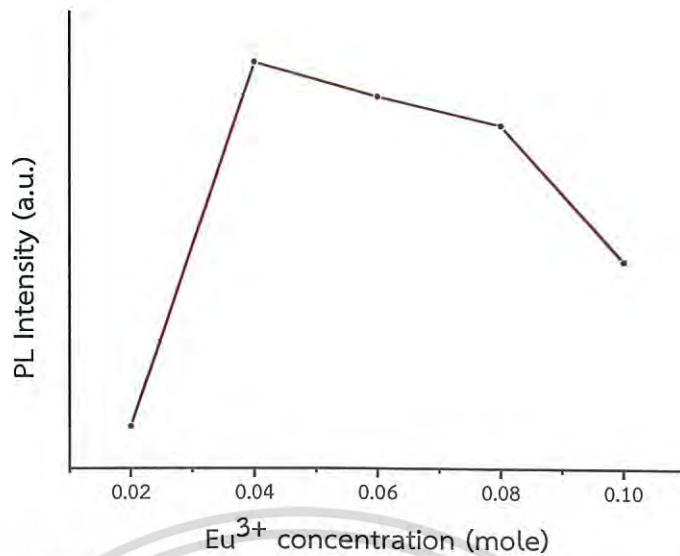


รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 391 นาโนเมตร ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง



รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก โดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ของแถบเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

ทำการบันทึกแถบกระตุ้นของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.02$) โดยพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร พบว่าเกิดพีคของพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้น จำนวน 3 พีค ที่ความยาวคลื่น 391, 460 และ 532 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.37 ซึ่งระบุได้ว่าเป็นการทรานซิชันของอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Eu^{3+} จากระดับพลังงานต่ำไประดับพลังงานสูงโดยการดูดกลืนโฟตอนที่สอดคล้องกับพีคของแถบกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 391, 460 และ 532 นาโนเมตร ซึ่งการทรานซิชันดังกล่าวคือ ${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_{1,2,3}$

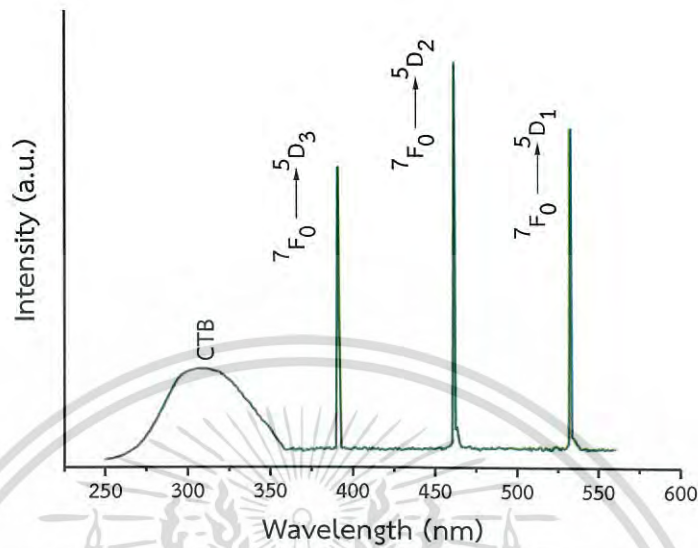
ในทำนองเดียวกันเมื่อบันทึกแถบกระตุ้นของผงผลึกของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0 \leq x \leq 0.10$) โดยพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร จะได้แถบพลังงานกระตุ้นมี 3 พีค เช่นเดียวกัน (ดังแสดงในรูปที่ 4.38 – 4.41) แต่มีข้อสังเกตคือแถบพลังงานกระตุ้นจะมีความเข้มสูงสุด เมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร แต่เมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 591 นาโนเมตร ความเข้มของแถบพลังงานกระตุ้นจะมีค่าน้อยกว่าแถบพลังงานกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ส่วนตำแหน่งของพีคแถบพลังงานกระตุ้นจะอยู่ที่ความยาวคลื่นแสงเดิม แสดงว่าพลังงานของแถบพลังงานกระตุ้นควรมีค่ามากกว่าพลังงานของแถบเรืองแสงแล้วจะได้ความเข้มของการเรืองแสงมาก

แต่เมื่อพิจารณาแถบพลังงานกระตุ้นของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaN}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เศษส่วนโดยโมลอะตอม (x) ของไอออนของธาตุ Eu^{3+} ค่า

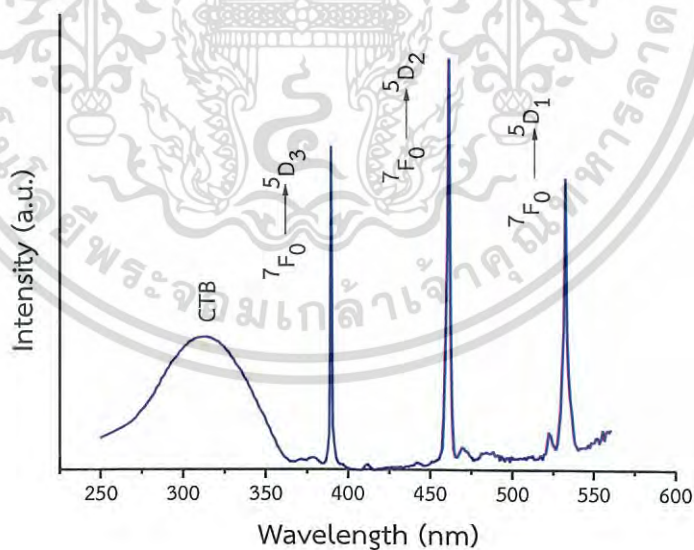
ต่างๆ พบว่าความเข้มของแถบพลังงานกระตุ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก $x = 0.02$ จนมีค่าสูงสุดที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$x = 0.04$ จากนั้นจะมีค่าลดลง ซึ่งที่ $x = 0.04$ นี้แถบเรืองแสงจะมีค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.42

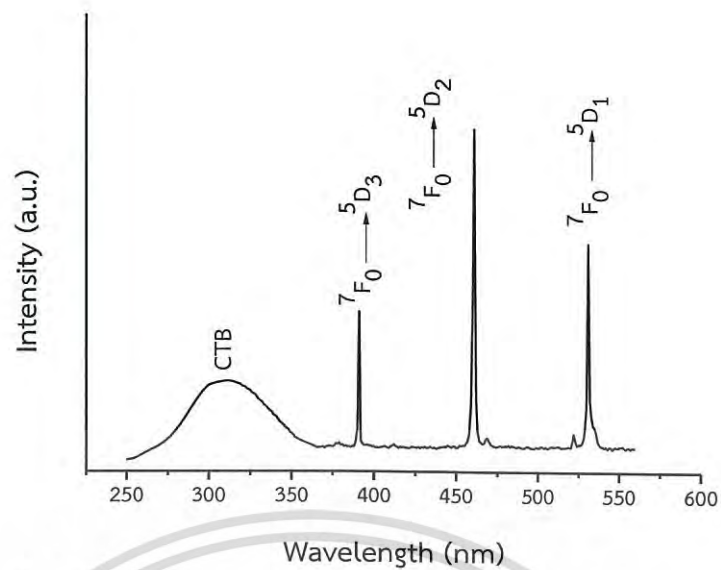


รูปที่ 4.37 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.02$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

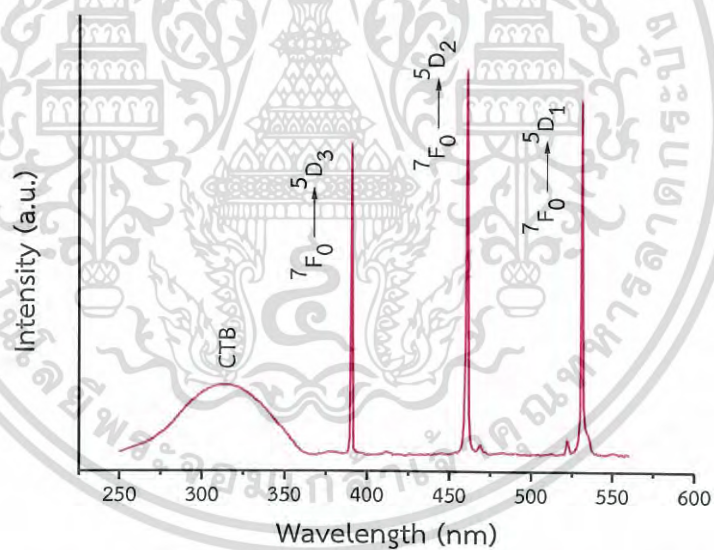


รูปที่ 4.38 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

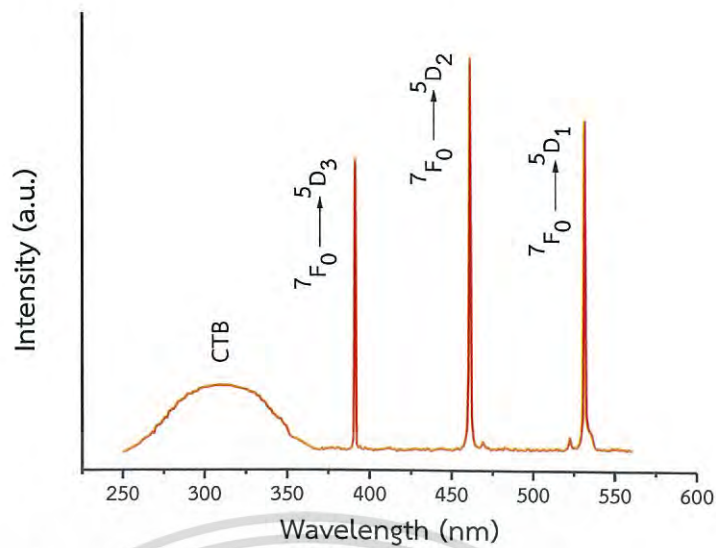


รูปที่ 4.39 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{Naln}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.06$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

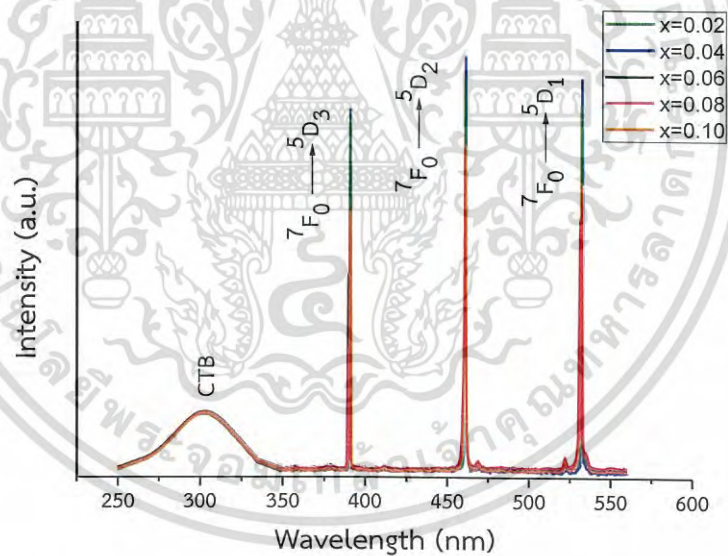


รูปที่ 4.40 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{Naln}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.08$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

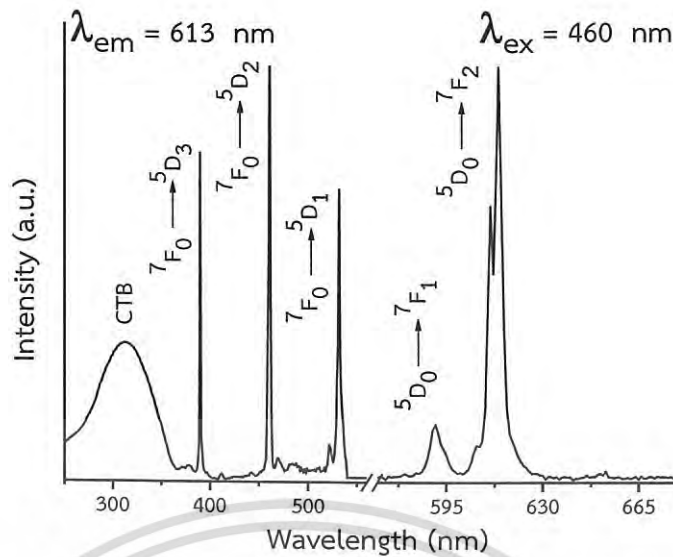


รูปที่ 4.41 แสดงพิคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง



รูปที่ 4.42 แสดงพิคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



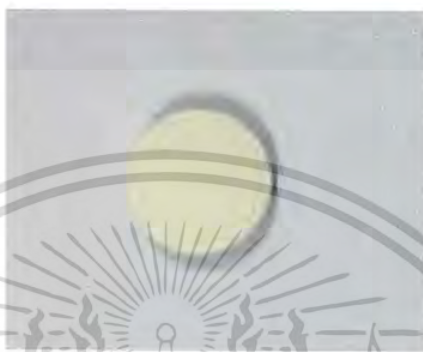
รูปที่ 4.43 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร และพีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

ผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จะเรืองแสง สีเขียว เมื่อกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ส่วนผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จะเรืองแสงสีแดงเมื่อกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร แสดงว่าถ้าเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) เมื่อกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตไอออนของธาตุ Tb^{3+} จะถ่ายโอนพลังงาน (energy transfer) ไปยังไอออนของธาตุ Eu^{3+} ส่งผลให้การเปล่งแสงจะให้ทั้งสีเขียว และ สีแดง ออกมาพร้อมๆกัน ส่วนสีใดจะเข้มกว่ากันขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายโอนพลังงานดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 ลักษณะของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้นั้นเป็นเม็ดสีขาว ดังแสดงในรูปที่ 4.44



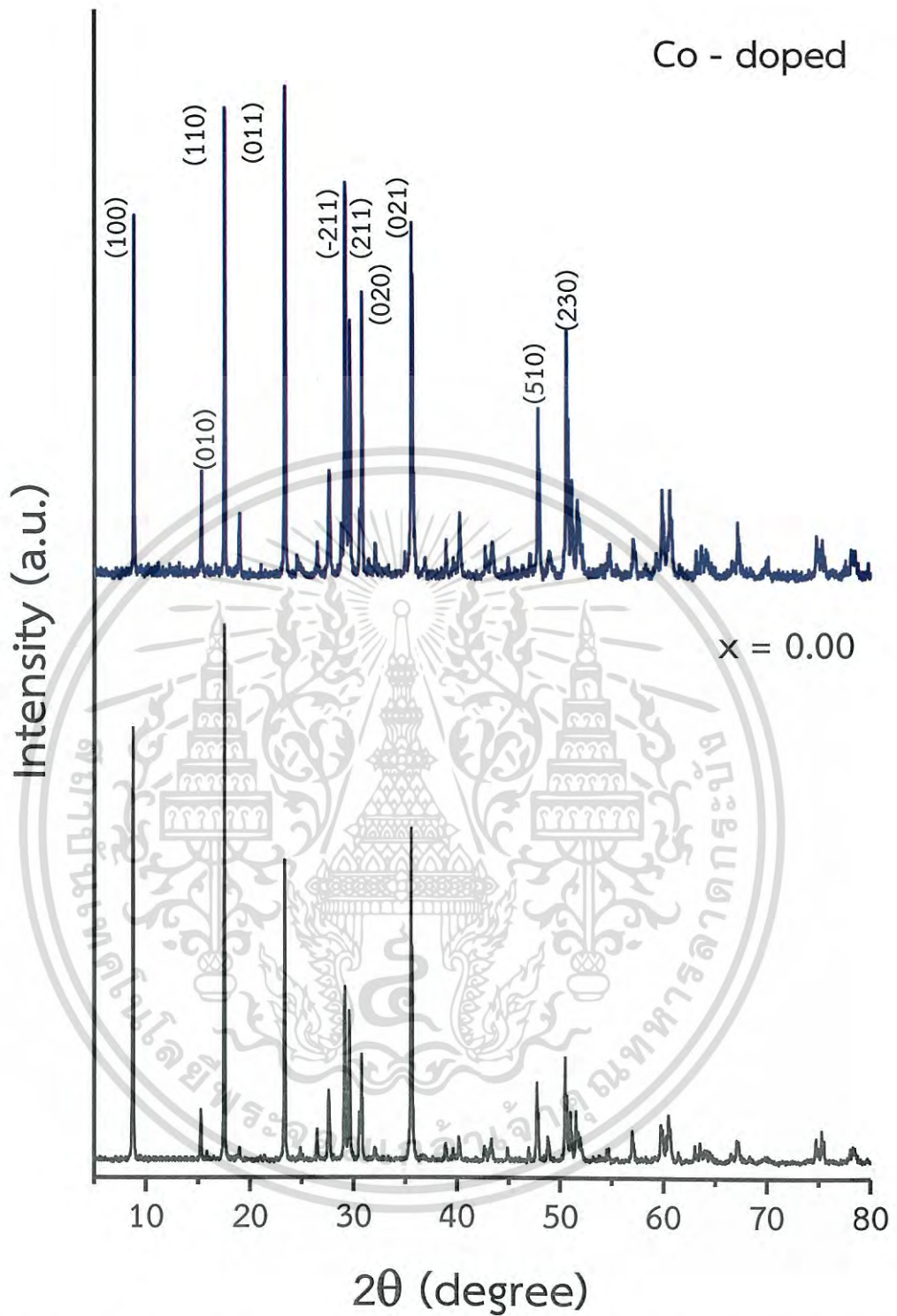
รูปที่ 4.44 แสดงภาพถ่ายของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

4.11 ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิบัติการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

4.11.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะใช้ในการทดสอบโครงสร้างผลึกของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยนำเอาสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นได้นำเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ มาทำการบดให้ละเอียด จากการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ดังรูปที่ 4.45 พบว่าพีคที่มีความเข้มสูงสุดเกิดจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยระนาบ (011) ของโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกที่มุม 2θ เท่ากับ 23.345 องศา นอกจากนี้ยังพบพีคของระนาบโครงสร้างผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ได้แก่ระนาบ (100), (010), (110), (011), (-211), (211), (021), (510) และ (230) ที่มุม 2θ จะมีค่าเท่ากับ 8.765, 15.275, 17.556, 23.345, 29.150, 29.575, 35.555, 47.725 และ 50.500 องศา ตามลำดับ จากรูปที่ 4.45 พีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะปรากฏเฟสแฝงของสารประกอบ Eu_2O_3 และ Tb_2O_3 ร่วมกับเฟสหลักของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 แสดงพีคความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

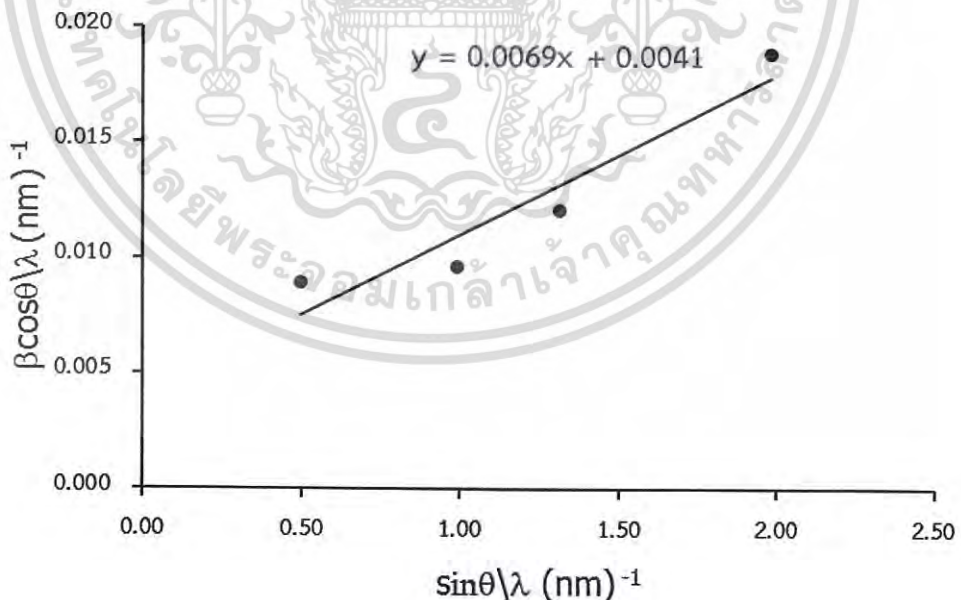
4.11.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก

ค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ดังตารางที่ 4.7 โดยมีรัศมีของไอออนของธาตุ Eu^{3+} (0.98 อังสตรอม) รัศมีไอออนของธาตุ Tb^{3+} (0.93 อังสตรอม) และ รัศมีของไอออนของธาตุ In^{3+} (0.81 อังสตรอม)

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

Lattice Constant				Volume (\AA^3)
a (\AA)	b (\AA)	c (\AA)	β (\AA)	
10.078	5.807	5.055	91.117	295.85

4.11.3 การหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง



รูปที่ 4.46 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของ วิลเลียมสัน – ฮอลล์ (Williamson-Hall) สามารถที่จะหาค่าขนาดของเกรนของผลึกได้จากสูตร

$$\frac{\beta \cos \theta}{\lambda} = \frac{k}{D} + \frac{4\varepsilon \sin \theta}{\lambda}$$

เมื่อ D คือขนาดของเกรน (มีหน่วยเป็นนาโนเมตร), β คือ ความกว้างของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูง (มีหน่วยเป็นเรเดียน), ε คือความเครียดของเกรน, λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลอง (ซึ่งในที่นี้คือ 0.15406 นาโนเมตร) และ k คือค่าคงที่ (=0.94) ดังนั้นขนาดของเกรนสามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 คำนวณขนาดของเกรนจากสมการ $D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$ และ วิธีที่ 2 คำนวณขนาดของเกรนจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\beta \cos \theta}{\lambda}$ กับ $\frac{\sin \theta}{\lambda}$ (ดังแสดงในรูปที่ 4.46) ของ วิลเลียมสัน – ฮอลล์ (Williamson – Holl) ซึ่งจุดตัดแกน y ของกราฟ คือ ค่า $\frac{k}{D}$ เมื่อ k เท่ากับ 0.94 แล้วเมื่อนำค่าจุดตัดแกน y มาเท่ากับค่า $\frac{k}{D}$ จะได้ขนาดของเกรน คือ จุดตัดแกน y/k ซึ่งได้ขนาดของเกรนเท่ากับ 104, 98, 78 และ 49 นาโนเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และจากความสัมพันธ์ของวิลเลียมสัน – ฮอลล์ (Williamson – Holl) สามารถหาค่าความเครียดของเกรนได้จาก $4\varepsilon = \text{slope}$ ซึ่งจากการทดลองได้ค่าความเครียดของเกรนเท่ากับ 1.73×10^{-3} ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก FWHM ของผงเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{Na}_{1(0.92)}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

ระนาบ (hkl)	มุม 2θ	FWHM (radian)	Grain Size from FWHM (nm)
(100)	8.765	0.0014	104
(110)	17.556	0.0015	98
(011)	23.345	0.0019	78
(021)	35.555	0.0031	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก Williamson – Hall ของผงเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

Grain Size from Williamson – Hall (nm)	Dislocation (line/m ²)	Strain
229	1.91×10^{13}	1.73×10^{-3}

4.12 การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

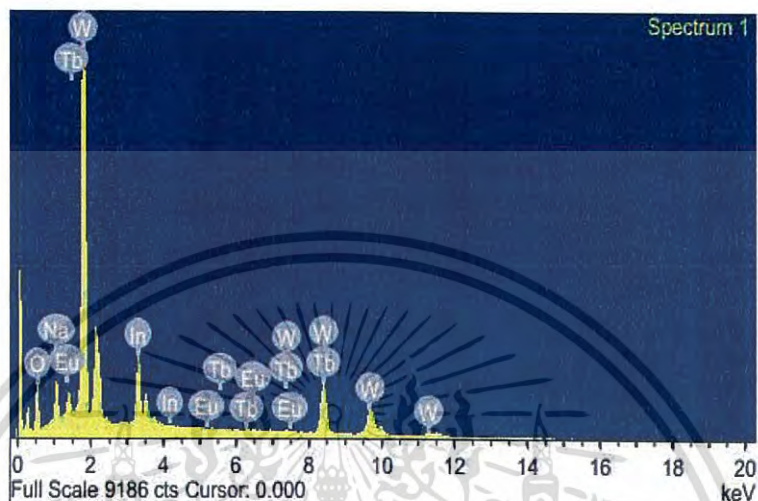
ทำการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ซึ่งเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกที่ผ่านการอัดเม็ดและเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากภาพถ่ายผิวหน้าพบว่าเกรนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ มีขนาดใหญ่ รูปทรงเรขาคณิต สังกะสีได้จากผนังของเกรนมีการรวมตัวจนเป็นเนื้อเดียวกันทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 4.47 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราดบริเวณผิวหน้าของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13 ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง



รูปที่ 4.48 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

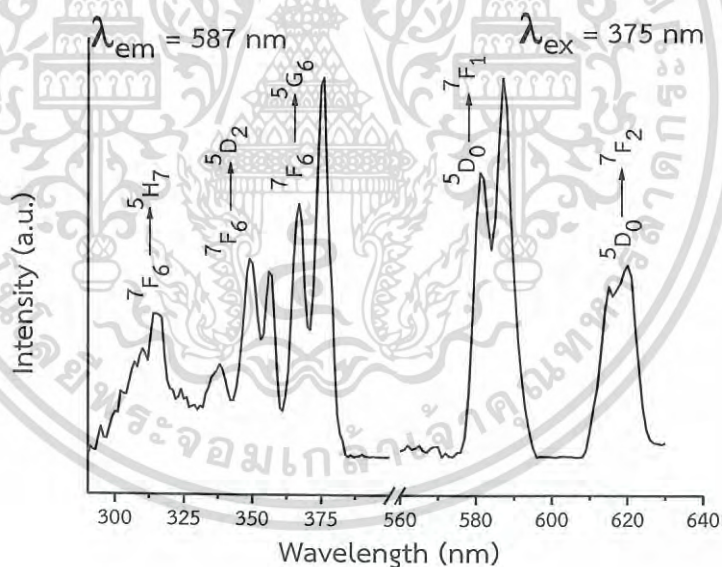
ตารางที่ 4.10 แสดงองค์ประกอบของธาตุที่หาได้จากการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

EDS analysis											
Weight%						Atomic%					
Na	In	W	O	Tb	Eu	Na	In	W	O	Tb	Eu
3.26	17.40	63.40	15.55	0.41	-	8.78	9.40	21.39	60.27	0.16	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

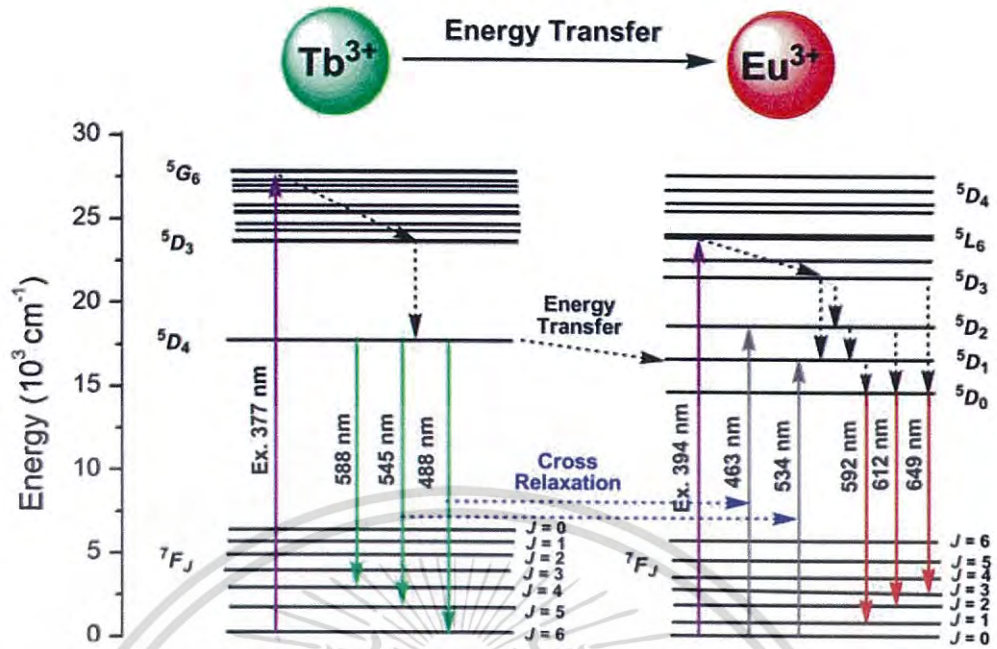
4.14 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

ได้ทำการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ความกว้างของช่องเปิดแสงกระตุ้น (excitation slit) กว้างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และช่องเปิดการเรืองแสง (emission slit) กว้างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ทำการบันทึกแถบเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ โดยกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ปรากฏว่าได้พีคการเรืองแสง 2 พีค ที่ความยาวคลื่น 587 และ 617 นาโนเมตร และทำการบันทึกแถบพลังงานกระตุ้นของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ โดยพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร พบว่าเกิดพีคของพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้น จำนวน 4 พีค ที่ความยาวคลื่น 383, 387, 408 และ 484 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.49 แต่มีข้อสังเกตคือแถบกระตุ้นจะมีความเข้มสูงสุด เมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร และ พีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(0.92)}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.50 แสดงแผนภาพการถ่ายโอนพลังงานจากไอออนของธาตุ Tb^{3+} ไปยังไอออนของธาตุ Eu^{3+}

4.15 ลักษณะของผงผลึกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) และ $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ ผงผลึกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้นั้นเป็นผงสีขาว ขณะที่ผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) ก็มีสีขาวเช่นกัน ดังรูปที่ 4.51



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.51 แสดงภาพถ่ายของผงผลึกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) และ $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ โดยที่

ก. ผงผลึกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$)

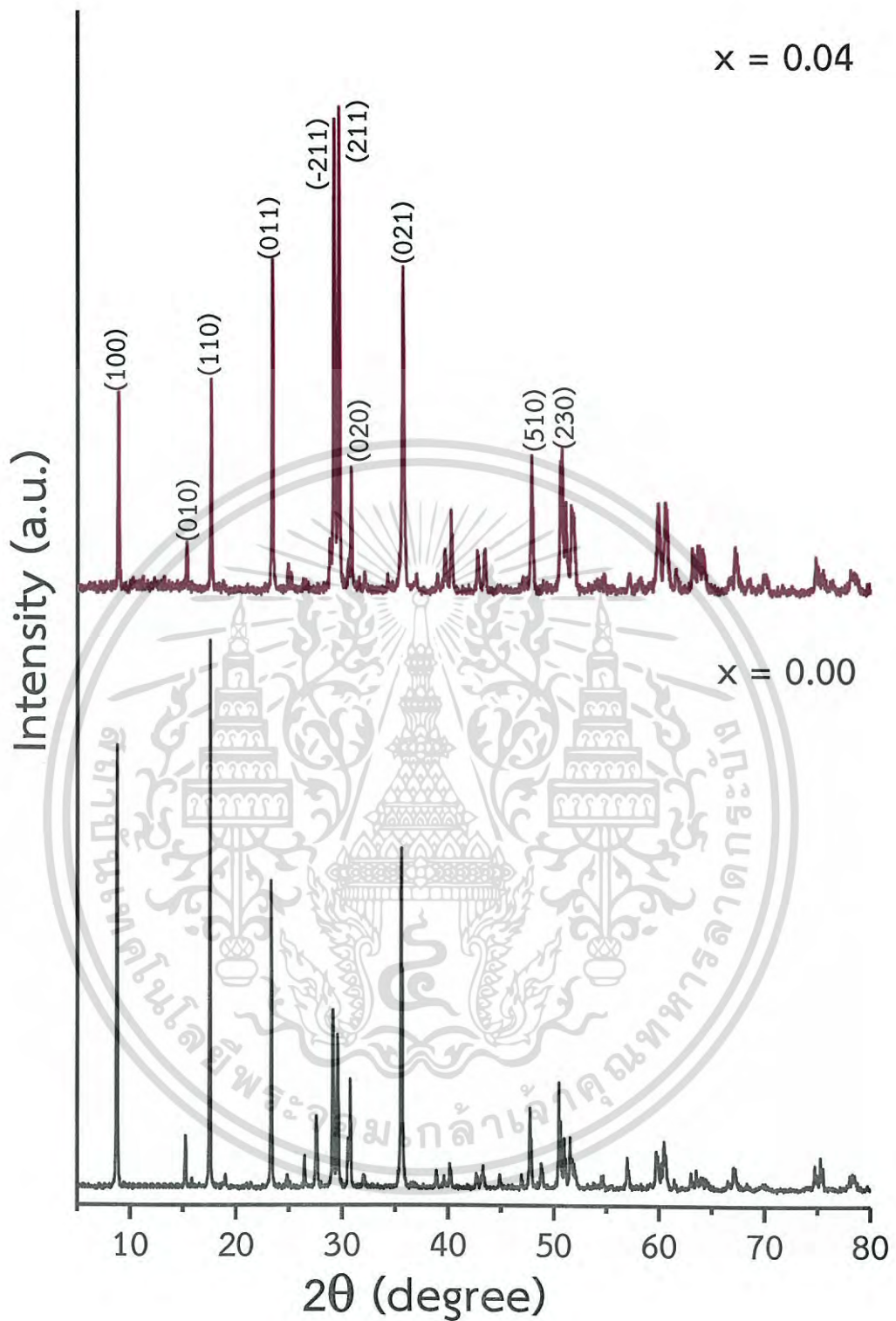
ข. ผงผลึกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.16 ผลการศึกษาทางฟิสิกส์พื้นฐานของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

4.16.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยนำสารตั้งต้นมาตั้งบนเครื่องฮีตเตอร์ให้สารตั้งต้นนั้นละลายโดยอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส และนำเข้าเผาในเตาไมโครเวฟเพื่อให้เกิดการหลอมใหม่เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำผงผลึกมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) มาทำการบดให้ละเอียด จากการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 4.50 พบว่าพีกที่มีความเข้มสูงสุด เกิดจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยระนาบ (100) ของโครงผลึกแบบโมโนคลินิกที่มุม 2θ เท่ากับ 17.548 องศา นอกจากนี้ยังพบพีกของระนาบโครงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ได้แก่ ระนาบ (100), (010), (110), (011), (-211), (211), (021), (510) และ (230) ที่มุม 2θ มีค่าเท่ากับ 8.776, 15.275, 17.582, 23.366, 29.175, 29.625, 35.577, 47.750 และ 50.500 องศา ตามลำดับ จากรูปที่ 4.52 พิกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ปรากฏเฟสแฝงของสารประกอบ $\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ร่วมกับเฟสหลักของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ เสมอ



รูปที่ 4.52 แสดงพีคความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

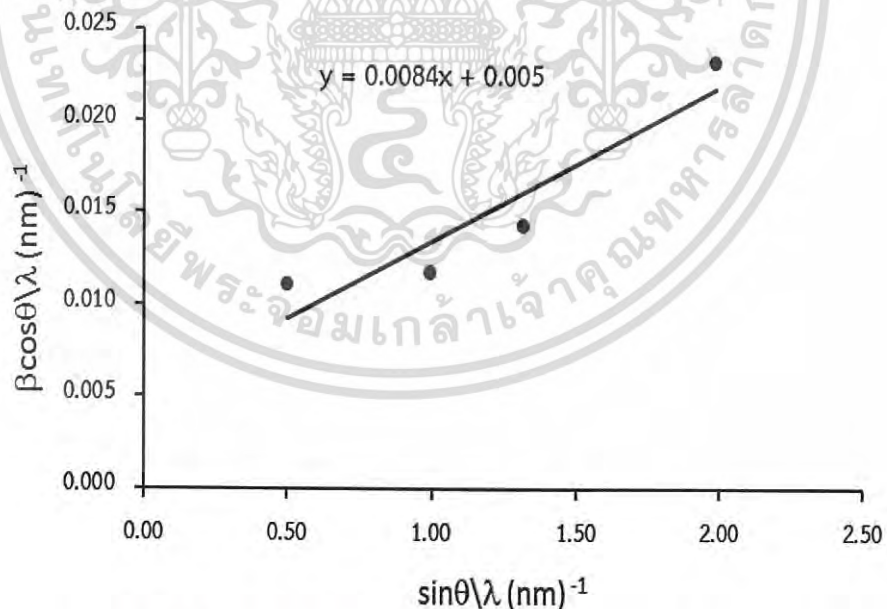
4.16.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิก

ค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ดังตารางที่ 4.11 โดยมีรัศมีไอออนของธาตุ Tb^{3+} (0.93 อังสตรอม) และรัศมีไอออนของธาตุ Ln^{3+} (0.81 อังสตรอม)

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Composition of x	Lattice Constant				Volume (\AA^3)
	a (\AA)	b (\AA)	c (\AA)	β ($^\circ$)	
x = 0.04	10.059	5.791	5.043	91.180	293.77

4.16.3 ผลการหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$)



รูปที่ 4.53 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของ วิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson-Hall) สามารถที่จะหาค่าขนาดของเกรนของผลึกได้จากสูตร

$$\frac{\beta \cos \theta}{\lambda} = \frac{k}{D} + \frac{4\varepsilon \sin \theta}{\lambda}$$

เมื่อ D คือขนาดของเกรน (มีหน่วยเป็นนาโนเมตร), β คือ ความกว้างของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูง (มีหน่วยเป็นเรเดียน), ε คือความเครียดของเกรน, λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลอง (ซึ่งในที่นี้คือ 0.15406 นาโนเมตร) และ k คือค่าคงที่ (=0.94) ดังนั้นขนาดของเกรนสามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 คำนวณขนาดของเกรนจากสมการ $D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$ และ วิธีที่ 2 คำนวณขนาดของเกรนจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ $\frac{\beta \cos \theta}{\lambda}$ กับ $\frac{\sin \theta}{\lambda}$ (ดังแสดงในรูปที่ 4.53) ของ วิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson - Hall) ซึ่งจุดตัดแกน y ของกราฟ คือ ค่า $\frac{k}{D}$ เมื่อ k เท่ากับ 0.94 แล้วเมื่อนำค่าจุดตัดแกน y มาเท่ากับค่า $\frac{k}{D}$ จะได้ขนาดของเกรน คือ จุดตัดแกน y/k ซึ่งได้ขนาดของเกรนเท่ากับ 85, 80, 66 และ 41 นาโนเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และจากความสัมพันธ์ของวิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson - Hall) สามารถหาค่าความเครียดของเกรนได้จาก $4\varepsilon = \text{slope}$ ซึ่งจากการทดลองได้ค่าความเครียดของเกรนเท่ากับ 2.10×10^{-3} ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก FWHM ของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Composition of x	ระนาบ (hkl)	มุม 2θ	FWHM (radian)	Grain Size from FWHM (nm)
X = 0.04	(100)	8.802	0.00171	85
	(110)	17.602	0.00183	80
	(011)	23.402	0.00225	66
	(021)	35.677	0.00375	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

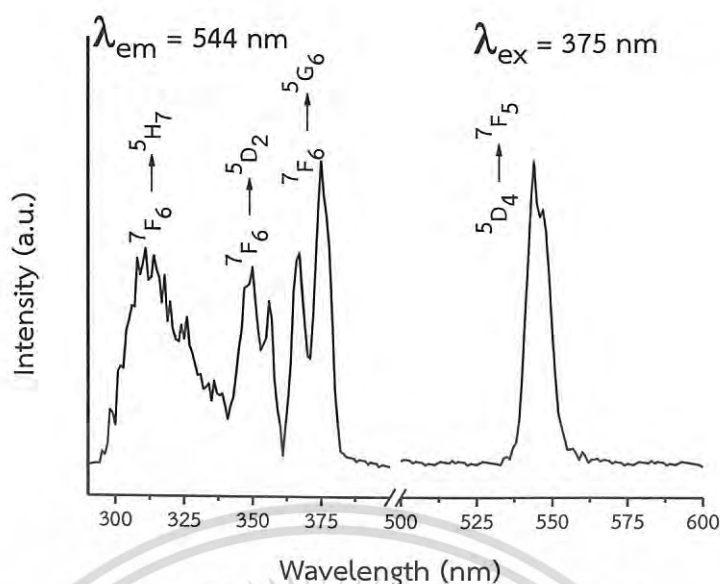
ตารางที่ 4.13 แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก Williamson – Hall ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้โดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Composition of x	Grain Size from Williamson – Hall (nm)	Dislocation (line/m ²)	Strain
X = 0.04	188	2.83×10^{-5}	2.10×10^{-3}

4.17 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

ได้ทำการศึกษาสมบัติการเรืองแสงผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ความกว้างของช่องเปิดแสงกระตุ้น เท่ากับ 3 มิลลิเมตร ทำการบันทึกแถบเรืองแสงของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) โดยกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ปรากฏว่าได้พีคการเรืองแสง 1 พีค ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ดังแสดงใน รูปที่ 4.54 ซึ่งระบุได้ว่าเป็นการทรานซิชันของอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Tb^{3+} จากระดับพลังงานสูงลงสู่ระดับพลังงานต่ำ โดยปล่อยโฟตอนออกมาเป็นแสงสีเขียว ซึ่งการทรานซิชันดังกล่าวคือ $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ และ ทำการบันทึกแถบกระตุ้นของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) โดยพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร พบว่าเกิดพีคของพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้น จำนวน 4 พีค ที่ความยาวคลื่น 348, 356, 366 และ 375 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.54 ซึ่งระบุได้ว่าเป็นการทรานซิชันของอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Tb^{3+} จากระดับพลังงานต่ำไประดับพลังงานสูงโดยการดูดกลืนโฟตอนที่สอดคล้องกับพีคของแถบกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 348, 356, 366 และ 375 นาโนเมตร ซึ่งการทรานซิชันดังกล่าวคือ $^7\text{F}_6 \rightarrow ^5\text{H}_7$, $^7\text{F}_6 \rightarrow ^5\text{D}_2$ และ $^7\text{F}_6 \rightarrow ^5\text{G}_6$ ความเข้มของแถบกระตุ้นจะมีค่าลดลงตามลำดับ ส่วนตำแหน่งของพีคแถบพลังงานกระตุ้นจะอยู่ที่ความยาวคลื่นแสงเดิม แสดงว่าพลังงานของแถบพลังงานกระตุ้นควรมีค่ามากกว่าพลังงานของแถบเรืองแสงแล้วจะได้ความเข้มของการเรืองแสงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



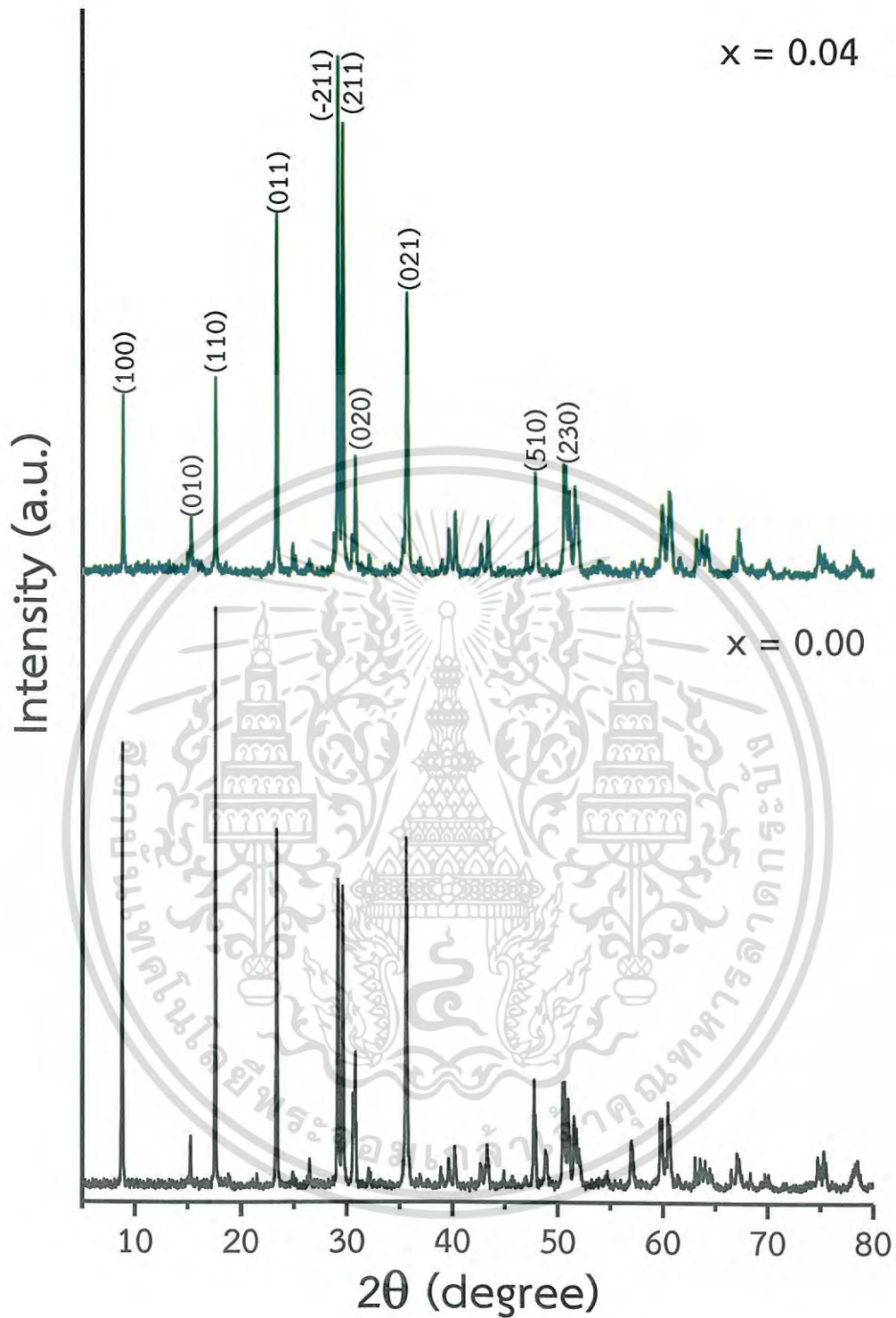
รูปที่ 4.54 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร และ พีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ของผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

4.18 ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

4.18.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยนำสารตั้งต้นมาตั้งบนเครื่องฮีตเตอร์ให้สารตั้งต้นนั้นละลายโดยอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส และนำเข้าเผาในเตาไมโครเวฟเพื่อให้เกิดการลุกไหม้เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำผงผลึกมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) มาทำการบดให้ละเอียดจากการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 4.55 พบว่าพีคที่มีความเข้มสูงสุดเกิดจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยระนาบ (100) ของโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกที่มุม 2θ เท่ากับ 17.548 องศา นอกจากนี้ยังพบพีคของระนาบโครงสร้างผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ได้แก่ ระนาบ (100), (010), (110), (011), (-211), (211), (021), (510) และ (230) ที่มุม 2θ มีค่า 8.77, 15.300, 17.602, 23.376, 29.175, 29.625, 35.678, 47.800 และ 50.650 องศา ตามลำดับ จากรูปที่ 4.55 พีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ปรากฏเฟสแฝงของสารประกอบ $\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ร่วมกับเฟสหลักของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยคณะกรรมการค่านิยามว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.55 แสดงพีคความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

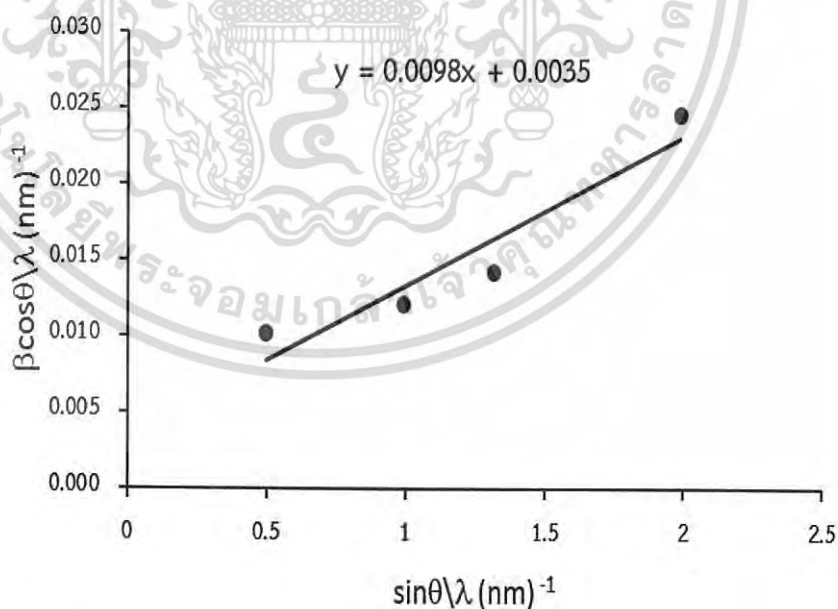
4.18.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิก

ค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ดังตารางที่ 4.14 โดยรัศมีของไอออนของธาตุ Tb^{3+} (0.93 อังสตรอม) รัศมีของไอออนของธาตุ Ln^{3+} (0.81 อังสตรอม)

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าคงที่โครงสร้างผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกของผงผลึกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Composition of x	Lattice Constant				Volume (\AA^3)
	a (\AA)	b (\AA)	c (\AA)	β ($^\circ$)	
x = 0.04	10.06681	5.78947	5.05266	91.18293	294.4137

4.18.3 ผลการหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$)



รูปที่ 4.56 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของผงผลึกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของ วิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson-Hall) สามารถที่จะหาค่าขนาดของเกรนของผลึกได้จากสูตร

$$\frac{\beta \cos \theta}{\lambda} = \frac{k}{D} + \frac{4\varepsilon \sin \theta}{\lambda}$$

เมื่อ D คือขนาดของเกรน (มีหน่วยเป็นนาโนเมตร), β คือ ความกว้างของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูง (มีหน่วยเป็นเรเดียน), ε คือความเครียดของเกรน, λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลอง (ซึ่งในที่นี้คือ 0.15406 นาโนเมตร) และ k คือค่าคงที่ (=0.94) ดังนั้นขนาดของเกรนสามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 คำนวณขนาดของเกรนจากสมการ $D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$ และ วิธีที่ 2 คำนวณขนาดของเกรนจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ $\frac{\beta \cos \theta}{\lambda}$ กับ $\frac{\sin \theta}{\lambda}$ (ดังแสดงในรูปที่ 4.56) ของ วิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson - Hall) ซึ่งจุดตัดแกน y ของกราฟ คือ ค่า $\frac{k}{D}$ เมื่อ k เท่ากับ 0.94 แล้วเมื่อนำค่าจุดตัดแกน y มาเท่ากับค่า $\frac{k}{D}$ จะได้ขนาดของเกรน คือ จุดตัดแกน y/k ซึ่งได้ขนาดของเกรนเท่ากับ 93, 78, 66 และ 38 นาโนเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และจากความสัมพันธ์ของวิลเลียมสัน - ฮอลล์ (Williamson - Hall) สามารถหาค่าความเครียดของเกรนได้จาก $4\varepsilon = \text{slope}$ ซึ่งจากการทดลองได้ค่าความเครียดของเกรนเท่ากับ 2.45×10^{-3} ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.15 แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก FWHM ของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.4}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Composition of x	ระนาบ (hkl)	มุม 2θ	FWHM (radian)	Grain Size from FWHM (nm)
X = 0.04	(100)	8.777	0.00157	93
	(110)	17.602	0.00188	78
	(011)	23.376	0.00223	66
	(021)	35.678	0.00398	38

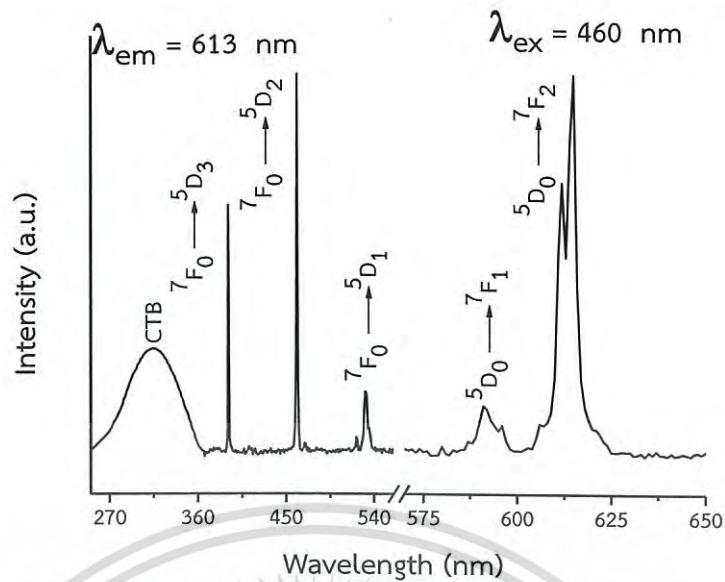
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก Williamson – Hall ของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Composition of x	Grain Size from Williamson – Hall (nm)	Dislocation (line/m ²)	Strain
X = 0.04	269	1.38×10^{13}	2.45×10^{-3}

4.19 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

ได้ทำการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ความกว้างของช่องเปิดแสงกระตุ้น (excitation slit) กว้างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และช่องเปิดการเรืองแสง (emission slit) กว้างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ทำการบันทึกแถบเรืองแสงของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ โดยกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 390, 469 และ 522 นาโนเมตร ปรากฏว่าได้พีคการเรืองแสง 2 พีค ที่ความยาวคลื่น 590 และ 613 นาโนเมตร และทำการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ความกว้างของช่องเปิดแสงกระตุ้น (excitation slit) กว้างเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร และช่องเปิดการเรืองแสง (emission slit) กว้างเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร ทำการบันทึกแถบเรืองแสงของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ โดยกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ปรากฏว่าได้พีคการเรืองแสง 2 พีค ที่ความยาวคลื่น 590 และ 613 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.57 ซึ่งระบุได้ว่าเป็นการทรานซิชันของอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Eu^{3+} จากระดับพลังงานสูงลงสู่ระดับพลังงานต่ำ โดยปล่อยโฟตอนออกมาเป็นแสงสีแดง ซึ่งการทรานซิชันดังกล่าวคือ ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_{1,2}$ โดยความเข้มในแต่ละพีคจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นของแสง ดังแสดงในรูปที่ 4.57



รูปที่ 4.57 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร และ พีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ของผลึกเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{0.96}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

4.20 ลักษณะผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

ผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมได้นั้นเป็นผงสีขาว ดังแสดงในรูปที่ 4.58



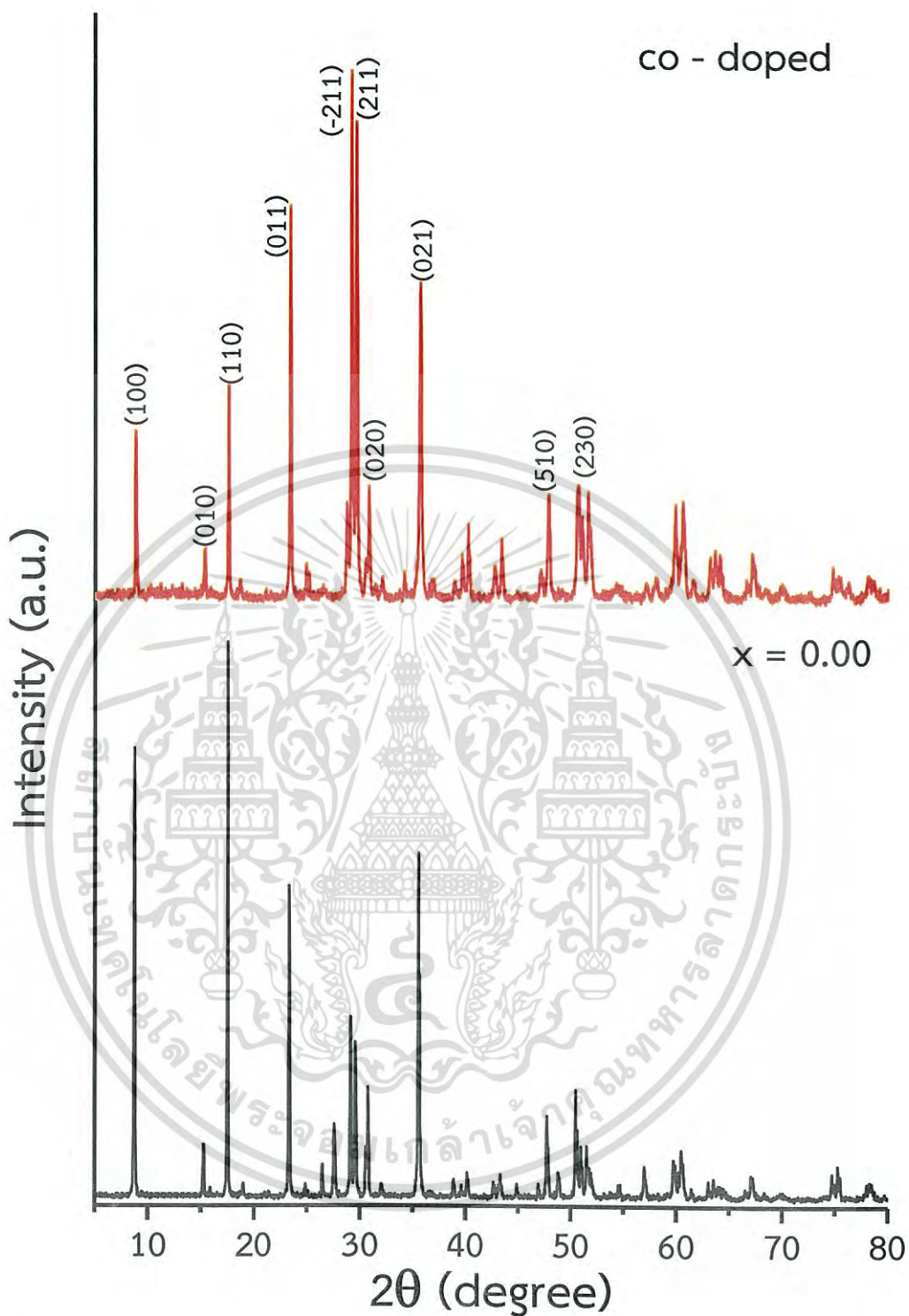
รูปที่ 4.58 แสดงภาพถ่ายของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.21 ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}\text{W}_2\text{O}_8$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

4.21.1 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะใช้ในการทดสอบโครงสร้างผลึกของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(0.92)}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยนำสารตั้งต้นมาตั้งบนเครื่องฮีตเตอร์ให้สารตั้งต้นนั้นละลายโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส และนำเข้าเผาในเตาไมโครเวฟเพื่อให้เกิดการลุกไหม้เวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำผงผลึกมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ เผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นได้นำผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(0.92)}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) มาทำการบดให้ละเอียด จากการศึกษาสเปกตรัมการเป็น เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ดังรูปที่ 4.57 พบว่าพีคที่มีความเข้มสูงสุดเกิดจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยระนาบ (011) ของโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกที่มุม 2θ เท่ากับ 23.345 องศา นอกจากนี้ยังพบพีคของระนาบโครงสร้างผลึกของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(0.92)}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ได้แก่ ระนาบ (100), (010), (110), (011), (-211), (211), (021), (510) และ (230) ที่มุม 2θ จะมีค่าเท่ากับ 8.751, 15.250, 17.575, 23.376, 29.175, 29.625, 35.675, 47.800 และ 50.575 องศา ตามลำดับ จากรูปที่ 4.59 พีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะปรากฏเฟสแฝงของสารประกอบ EuO_3 และ Tb_7O_4 ร่วมกับเฟสหลักของสารประกอบ $\text{NaIn}(\text{WO}_4)_2$ เสมอ



รูปที่ 4.59 แสดงพีคความเข้มของสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ที่เตาไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

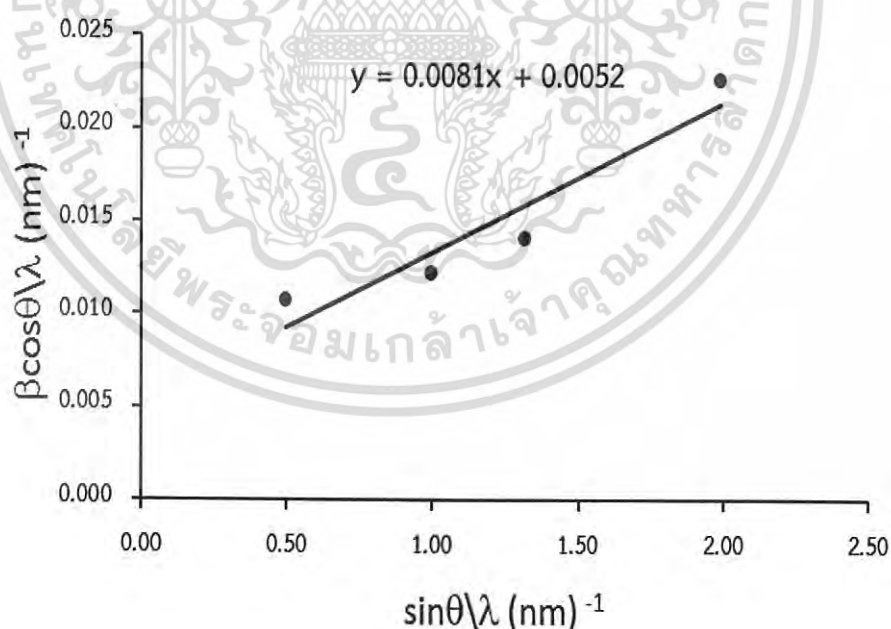
4.21.2 ผลการศึกษาค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก

ค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ดังตารางที่ 4.17 โดยรัศมีไอออนของธาตุ Tb^{3+} (0.93 อังสตรอม) รัศมีไอออนของธาตุ Eu^{3+} (0.98 อังสตรอม) และ รัศมีไอออนของธาตุ Ln^{3+} (0.81 อังสตรอม)

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าคงที่โครงผลึก a, b, c และ β ของหนึ่งหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกของเม็ดเซรามิก $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Composition of x	Lattice Constant				Volume (\AA^3)
	a (\AA)	b (\AA)	c (\AA)	β (\AA)	
x = 0.04	10.066	5.798	5.043	91.181	294.36

4.21.3 การหาขนาดของเกรนโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเม็ดเซรามิก $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ



รูปที่ 4.60 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณหาขนาดเกรนของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของ วิลเลียมสัน – ฮอลล์ (Williamson-Hall) สามารถที่จะหาค่าขนาดของเกรนของผลึกได้จากสูตร

$$\frac{\beta \cos \theta}{\lambda} = \frac{k}{D} + \frac{4\epsilon \sin \theta}{\lambda}$$

เมื่อ D คือขนาดของเกรน (มีหน่วยเป็นนาโนเมตร), β คือ ความกว้างของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูง (มีหน่วยเป็นเรเดียน), ϵ คือความเครียดของเกรน, λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลอง (ซึ่งในที่นี้คือ 0.15406 นาโนเมตร) และ k คือค่าคงที่ (=0.94) ดังนั้นขนาดของเกรนสามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 คำนวณขนาดของเกรนจากสมการ $D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$ และ วิธีที่ 2 คำนวณขนาดของเกรนจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ $\frac{\beta \cos \theta}{\lambda}$ กับ $\frac{\sin \theta}{\lambda}$ (ดังแสดงในรูปที่ 4.60) ของ วิลเลียมสัน – ฮอลล์ (Williamson – Hall) ซึ่งจุดตัดแกน y ของกราฟ คือ ค่า $\frac{k}{D}$ เมื่อ k เท่ากับ 0.94 แล้วเมื่อนำค่าจุดตัดแกน y มาเท่ากับค่า $\frac{k}{D}$ จะได้ขนาดของเกรน คือ จุดตัดแกน y/k ซึ่งได้ขนาดของเกรนเท่ากับ 87, 77, 67 และ 41 นาโนเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และจากความสัมพันธ์ของวิลเลียมสัน – ฮอลล์ (Williamson – Hall) สามารถหาค่าความเครียดของเกรนได้จาก $4\epsilon = \text{slope}$ ซึ่งจากการทดลองได้ค่าความเครียดของเกรนเท่ากับ 2.03×10^{-3} ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก FWHM ของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

ระนาบ (hkl)	มุม 2θ	FWHM (radian)	Grain Size from FWHM (nm)
(100)	8.751	0.00166	87
(110)	17.575	0.00190	77
(011)	23.376	0.00222	67
(021)	35.675	0.00367	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

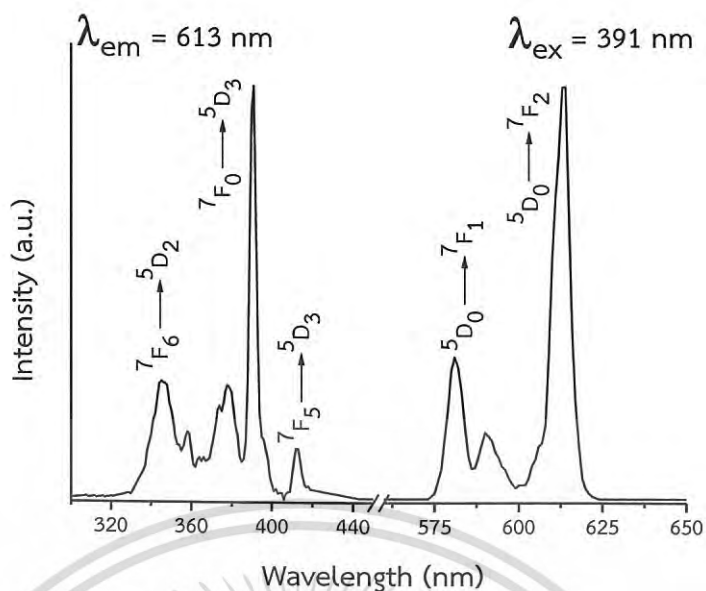
ตารางที่ 4.19 แสดงขนาดของเกรนที่หาจาก Williamson – Hall ของเม็ดเซรามิก $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

Grain Size from Williamson – Hall (nm)	Dislocation (line/m ²)	Strain
181	3.05×10^{-5}	2.03×10^{-3}

4.22 ผลการศึกษาการเรืองแสงของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

ได้ทำการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}\text{W}_2\text{O}_8$ ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ความกว้างของช่องเปิดแสงกระตุ้น (excitation slit) กว้างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และช่องเปิดการเรืองแสง (emission slit) กว้างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ทำการบันทึกแถบเรืองแสงของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) โดยกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 391 นาโนเมตร ปรากฏว่าได้เกิดการเรืองแสง 2 พีก ที่ความยาวคลื่น 587 และ 617 นาโนเมตร และทำการบันทึกแถบกระตุ้นของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(0.92)}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}\text{W}_2\text{O}_8$ โดยพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร พบว่าเกิดพีกของพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้น จำนวน 4 พีก ที่ความยาวคลื่น 383, 387, 408 และ 484 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.61 แต่มีข้อสังเกตคือแถบกระตุ้นจะมีความเข้มสูงสุด เมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 587 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.61 แสดงพีคความเข้มของแถบกระตุ้นเมื่อพิจารณาการเรืองแสงที่มีความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร และ พีคความเข้มของแถบเรืองแสงเมื่อกระตุ้นที่มีความยาวคลื่น 391 นาโนเมตร ของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ที่เตรียมโดยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในโครงการพิเศษนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรกจะทำการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็งเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนที่สองจะเป็นการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) ส่วนที่สามจะทำการเตรียมเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบ NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , NH_2CONH_2 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไหม้โครเวฟ เมื่อให้กำลังไฟฟ้า (power) 100 เปรอร์เซ็นต์ กับเตาไมโครเวฟจนวนุรักษ์กลายเป็นของแข็ง และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนที่สี่จะเป็นการศึกษาสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้เป็นหัวข้อหลักๆ ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและเชิงมหภาคของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ เผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคโดยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) พบว่าโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมนอคลินิกพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของระนาบ (110) มีความเข้มสูงสุด เมื่อเศษส่วนโดยมวลอะตอม (x) มีค่าตั้งแต่ 0.04 ขึ้นไปจะปรากฏเฟสแฝงของสารประกอบ $\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ เกิดร่วมด้วยเสมอ แต่สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของระนาบ (110) มีความเข้มสูงสุดเมื่อเศษส่วนโดยมวลอะตอม (x) มีค่าตั้งแต่ 0.04 ขึ้นไป จะปรากฏเฟสแฝงของสารประกอบ $\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ เกิดร่วมด้วยเสมอ ส่วนเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของระนาบ (011) มีความเข้มสูงสุด

5.2 สรุปผลการศึกษาศสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ

$\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็ง เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ เผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.10$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาการเกิดเป็นสารละลายของแข็งเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ 48 ชั่วโมง จะเรืองแสงสีเขียวเมื่อกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต แถบเรืองแสงจะประกอบด้วยพีค จำนวน 1 พีค ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Tb^{3+} จากระดับพลังงาน $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ ส่วนแถบกระตุ้นจะประกอบด้วยพีค จำนวน 4 พีค ที่ความยาวคลื่น 348, 355, 366 และ 375 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Tb^{3+} จากระดับพลังงาน $^7\text{F}_6 \rightarrow ^5\text{H}_7$, $^7\text{F}_6 \rightarrow ^5\text{D}_2$ และ $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_1$ ตามลำดับ

ผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จะเรืองแสงสีแดง เมื่อกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต แถบเรืองแสงจะประกอบด้วยพีคจำนวน 2 พีค ที่ความยาวคลื่น 591 และ 613 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Eu^{3+} จากระดับพลังงาน $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$ และ $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ ตามลำดับ ส่วนแถบกระตุ้นจะประกอบด้วยพีค จำนวน 3 พีค ที่ความยาวคลื่น 391, 460 และ 532 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Eu^{3+} จากระดับพลังงาน $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_3$, $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_2$ และ $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_1$ ตามลำดับ

ผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ จะเรืองแสงสีเหลือง เมื่อกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตในย่านแสงสีเขียว แถบเรืองแสงจะประกอบด้วยพีคจำนวน 2 พีค ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่น 587 และ 617 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นพลังงานของไอออนของธาตุ Tb^{3+} แล้วเกิดการถ่ายโอนพลังงานมายังไอออนของธาตุ Eu^{3+} ทำให้ผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) จะเรืองแสงสีเหลือง ส่วนแถบกระตุ้นจะประกอบด้วยพีคจำนวน 4 พีค ที่ความยาวคลื่น 383, 387, 408 และ 484 นาโนเมตร

ตารางที่ 5.1 แสดงความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับพีคของแถบกระตุ้นและแถบเรืองแสงของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln(WO_4)_2$ ที่เจือด้วย ไอออนของธาตุ Tb^{3+} และ Eu^{3+}

PL Center	Excitation Band		Emission Band	
	Peak Position (nm)	Transition Level	Peak Position (nm)	Transition Level
Tb^{3+}	320	${}^7F_6 \rightarrow {}^5H_7$	544	${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_5$
	348, 355	${}^7F_6 \rightarrow {}^5D_2$		
	366, 375	${}^7F_6 \rightarrow {}^5G_6$		
Eu^{3+}	391	${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_3$	590	${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_1$
	460	${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_2$	613	${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$
	532	${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_1$		
Tb^{3+}/Eu^{3+}	320	${}^7F_6 \rightarrow {}^5H_7$	588	${}^5D_4 \rightarrow {}^7F_4$
	338, 348, 355	${}^7F_6 \rightarrow {}^5D_2$	617	${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$
	366, 375	${}^7F_6 \rightarrow {}^5G_6$		

5.3 สรุปผลการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและเชิงมหภาคของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$), $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) และ $Naln_{0.92}Tb_{0.04}Eu_{0.04}(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $NaCO_3 \cdot H_2O$, In_2O_3 , WO_3 , $Tb(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ และ $Eu(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ ด้วยวิธีเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ เผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคโดยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Tb_x(WO_4)_2$ ($x = 0.04$) พบว่าโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิกพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของระนาบ (211) มีความเข้มสูงสุด จะปรากฏเฟสแฝงของสารประกอบ

$Tb_x(WO_4)_2$ เกิดร่วมด้วยเสมอ แต่สำหรับเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $Naln_{(1-x)}Eu_x(WO_4)_2$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($x = 0.04$) มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกที่ทำการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของระนาบ (211) มีความเข้มสูงสุดจะปรากฏเฟสแฝงของสารประกอบ $\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ เกิดร่วมด้วยเสมอ ส่วนเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ที่ทำการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของระนาบ (211) มีความเข้มสูงสุด

5.4 สรุปผลการศึกษาศสมบัติการเรืองแสงของผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ

$\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$), $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) และ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ NaNO_3 , $\text{In}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$, H_2WO_4 , NH_2CONH_2 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และ เผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ผงผลึกของเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Tb}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ $\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, In_2O_3 , WO_3 , $\text{Tb}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยวิธีการเผาไหม้ในเตาไมโครเวฟ และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ 48 ชั่วโมง จะเรืองแสงสีเขียวเมื่อกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต แถบเรืองแสงจะประกอบด้วยพีค จำนวน 1 พีค ที่ความยาวคลื่น 544 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Tb^{3+} จากระดับพลังงาน $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ ส่วนแถบกระตุ้นจะประกอบด้วยพีค จำนวน 4 พีค ที่ความยาวคลื่น 348, 355, 366 และ 375 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Tb^{3+} จากระดับพลังงาน $^7\text{F}_6 \rightarrow ^5\text{H}_7$, $^7\text{F}_6 \rightarrow ^5\text{D}_2$ และ $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_1$ ตามลำดับ

ผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{(1-x)}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จะเรืองแสงสีแดงเมื่อกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต แถบเรืองแสงจะประกอบด้วยพีคจำนวน 2 พีค ที่ความยาวคลื่น 591 และ 613 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Eu^{3+} จากระดับพลังงาน $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$ และ $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ ตามลำดับ ส่วนแถบกระตุ้นจะประกอบด้วยพีคจำนวน 3 พีค ที่ความยาวคลื่น 391, 460 และ 532 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนภายในไอออนของธาตุ Eu^{3+} จากระดับพลังงาน $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_3$, $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_2$ และ $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_1$ ตามลำดับ

ผงผลึกเม็ดเซรามิกของสารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จะเรืองแสงสีเหลือง เมื่อกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตในย่านแสงสีเขียว แถบเรืองแสงจะประกอบด้วยพีคจำนวน 2 พีค ที่ความยาวคลื่น 587 และ 617 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นพลังงานของไอออนของธาตุ Tb^{3+} แล้วเกิดการถ่ายโอนพลังงานมายังไอออนของธาตุ Eu^{3+} ทำให้ผงผลึกเม็ดเซรามิกของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบ $\text{NaIn}_{0.92}\text{Tb}_{0.04}\text{Eu}_{0.04}(\text{WO}_4)_2$ ($x = 0.04$) จะเรืองแสงสีเหลือง ส่วนแถบกระตุ้นจะประกอบด้วยพีคจำนวน 4 พีค ที่ความยาวคลื่น 383, 387, 408 และ 484 นาโนเมตร

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมสารในแต่ละขั้นตอนต้องมีความสะอาดในการทำเพราะอาจเกิดสารเจือปนอย่างอื่นเข้าไปในตัวอย่างของงานที่เราทำได้
2. การใช้เครื่องมือให้การวัดผลต้องมีการตรวจสอบสภาพการทำงานก่อนเพราะอาจเกิดค่าที่เราวัดผิดพลาดได้
3. การคำนวณสารต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องก่อนปฏิบัติงานจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- งามนิตย์ วงษ์เจริญ. 2530. "การศึกษารอยต่อแบบโลหะ-ฉนวน-สารกึ่งตัวนำ ของคอปเปอร์-อินเดียม ซีลีไนด์." วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ฐิตินัย แก้วแดง และทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2556. "ความไม่เป็นเชิงเส้นทางไฟฟ้าของเซรามิกของสารกึ่งตัวนำ In_xWO_3 ($0.00 \leq x \leq 0.05$) และการประยุกต์." รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- งามนิตย์ วงษ์เจริญ. 2531. การศึกษารอยต่อแบบโลหะ-ฉนวน-สารกึ่งตัวนำ ของคอปเปอร์อินเดียมโด ซีลีไนด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- งามนิตย์ วงษ์เจริญ และฐิตินัย แก้วแดง. 2553. การประดิษฐ์ฟิล์มบาง CdO ที่เจือด้วย Al สำหรับขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงของเซลล์แสงอาทิตย์. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ฐิตินัย แก้วแดง และทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2556. ความไม่เป็นเชิงเส้นทางไฟฟ้าของเซรามิกของสารกึ่งตัวนำ In_xWO_3 ($0 \leq x \leq 0.05$) และการประยุกต์ รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ฐิตินัย แก้วแดง และทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2551. การเตรียมฟิล์มบาง CdTe โดยวิธีระเหิดในระยะประชิดเพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- งามนิตย์ วงษ์เจริญ ฐิตินัย แก้วแดง และ ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2558. การเตรียมฟิล์มบาง CuO โดยวิธีปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยความร้อนของฟิล์มโลหะ Cu ที่ได้จากการสเปตเตอริงเพื่อประยุกต์ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ฐิตินัย แก้วแดง, ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ และชัยสิงห์ ภูริรักษ์เกียรติ. 2543. การเตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ฐิตินัย แก้วแดง, ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ และชัยสิงห์ ภูริรักษ์เกียรติ. 2545. การเตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชโนดม จันทรสม และส่งศักดิ์ แสงโฮง. 2556. "การเตรียมฟิล์มบาง SnS โดยวิธีซัลโฟโรเซชัน."
 โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
 เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ฐิตินัย แก้วแดง. 2530. "การเตรียมและศึกษาสมบัติของสารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์."
 วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ และทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2549. "การประดิษฐ์ฟิล์มบางดีบุก
 ออกไซด์ที่เจือด้วยอะตอมฟลูออรีนสำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงของเซลล์แสงอาทิตย์."
 รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง.
- ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ และทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2550. "การประดิษฐ์ฟิล์มหนา
 $CuAlO_2$ เพื่อเป็นชั้นดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์." รายงานวิจัยเสนอต่อคณะ
 วิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ และ ณัฐพร พรหมรส. 2551. "การเตรียมฟิล์มบาง CdTe โดย
 ระเหิดในระยะประชิดเพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์." รายงานวิจัยเสนอต่อคณะ
 วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ และณัฐพร พรหมรส. 2553. "การประดิษฐ์ฟิล์มบาง CdO ที่
 เจือด้วยอะตอม Al สำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงของเซลล์แสงอาทิตย์." รายงานวิจัยเสนอ
 ต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ และทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2554. "การประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าด้านหลัง
 ชนิดใหม่ที่เหมาะสมกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CdS/CdTe." รายงานวิจัยเสนอต่อ
 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ และทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2556. "การประดิษฐ์และการศึกษา
 สมบัติเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางรอยต่ออวิวิธพันธุ์ CdS/CuO." รายงานวิจัยเสนอต่อ
 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ฐิตินัย แก้วแดง. 2530. การเตรียมและศึกษาสมบัติของสารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์.
 วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฐิตินัย แก้วแดง. 2545. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟิสิกส์ของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ. ภาควิชา
 ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฐิตินัย แก้วแดง และงามนิตย์ วงษ์เจริญ. 2544. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟิสิกส์และเทคโนโลยี
 ของเซลล์แสงอาทิตย์. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
 คุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ และทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2549. การประดิษฐ์ฟิล์มบางดีบุก ออกไซด์ที่เจือด้วยอะตอมฟลูออรีนสำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงของเซลล์แสงอาทิตย์. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฐิตินัย แก้วแดง และงามนิตย์ วงษ์เจริญ. 2551. การเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีออบสารละลายเคมี ภายใต้คลื่นไมโครเวฟเพื่อประดิษฐ์เป็นหน้าต่างรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฐิตินัย แก้วแดง งามนิตย์ วงษ์เจริญ และ ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2552. การพัฒนาขั้วไฟฟ้าด้านหลังของ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CdS/CdTe. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ และทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2554. การประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าด้านหลัง ชนิดใหม่ที่เหมาะสมกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CdS/CdTe. รายงานวิจัยเสนอต่อ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฐิตินัย แก้วแดง งามนิตย์ วงษ์เจริญ และ ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ. 2557. การประดิษฐ์และการศึกษา สมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางรอยต่ออวิวิพพันธุ์ CdS/CuO. รายงานวิจัยเสนอต่อ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ และ ชัยสิงห์ ภูริรักษ์เกียรติ. 2558. การ เตรียมฟิล์มบาง CuO โดยวิธีอีทีพีดีซีสปัตเตอร์เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด รอยต่ออวิวิพพันธุ์ CdS/CuO. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ และ ชัยสิงห์ ภูริรักษ์เกียรติ. 2545. การ เตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มี Zn เพื่อประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ และ ชัยสิงห์ ภูริรักษ์เกียรติ. 2546. การ ประดิษฐ์ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มี Zn ในปริมาณสูงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์. รายงานวิจัย เสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ดุสิต เครื่องาม. 2535. โพลีเมทฟอสเฟต. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ดุสิต เครื่องาม. 2542. สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟอสเฟตเทคโนโลยี และการใช้งานเล่มที่

1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นวรรตน์ โพธิ์กล้า และอมรัตน์ เกิดประดิษฐ์. 2554. "การศึกษาคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

$CuAl_{1-x}V_xO_2$." วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปทุมทิพย์ บุญเสริม และปานจรี แจงบำรุง. 2554. "สมบัติทางไฟฟ้าของสารประกอบอินเดียม ทั้งสแตน." โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือ วิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปณยานันท์ โยธะชัย, พัทธรียา แววงค์ และมณฑิรา คงเอียง. 2555. "ความไม่เป็นเชิงเส้นทางไฟฟ้า ของเซรามิก WO_3 ที่เจือด้วย Cd." โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรรณนิศา สุขกรี, วลัยพัชร ใจเรื่อน และศวิตา ทศนิยม. 2556. "การศึกษาสมบัติของฟิล์มบางคอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยความร้อนของฟิล์มโลหะ Cu." โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วีรชัย ลิภา. 2547. "การศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง CdS-ZnS ซึ่งเตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมี." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วุฒิไกร คำอ่อน, ศตพล ศิวยไพราหมณ์ และศุภฤกษ์ จันทะโบราณ. 2556. "สมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ $Cu_{1-x}Cd_xO$." โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุกฤษฎี เกิดแสง. 2557. "การเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ CdTe." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สมเกียรติ ศุภเดช. 2542. **เคมีคอนดักเตอร์ฟิสิกส์**. กรุงเทพมหานคร : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อุปถัมภ์ นาครักษ์. 2548. "การศึกษาสมบัติของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนและพลวง ซึ่งเตรียมด้วยวิธีแผ่นอบสารเคมี." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Bouchard, R.J. and Gillson, J.L. 1968. "Hexagonal Indium Tungsten Bronze." *Inorganic Chemistry*. 7(5) : 969-972.
- Cullity, B.D. 1956. **Element of X-Ray Diffraction**. Addison-Wesley Publishing Company.
- Diot, N. Larcher, O. Marchand, R. Kempf, J.Y. and Macaudiere, P. 2001. "Rare Earth and Tungsten Oxynitrides with a Defect Fluorite-Type Structure as New Pigments." *J. Alloys Comp.* 323-324 : 45-48
- Ghaffarzadeh, K. Nathan, A. and Robertson, J. 2010. "Persistent Photoconductivity in Hf-In-Zn-O Thin Film Transistors." *Appl. Phys. Lett.* 97 : 143510-1 - 143510-3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ghosh, R. and Basak, D. 2007. "Electrical and Ultraviolet Photoresponse Properties of Quasialigned ZnO Nanowires/p-Si Heterojunction." *App. Phys. Lett.* 90 : 243106-1 - 243106-3.
- Gu, G. Kane, M.G. Doty, J.E. and Firester, A.H. 2005. "Electron Traps and Hysteresis in Pentacene-Based Organic Thin Film Transistors." *App. Phys. Lett.* 87 : 243512-1 - 243512-3.
- Gao, L. Wang, X. Feng, L. Zheng, X. and Chen, G. 2013. "Temperature Sensitive Photoconductivity Observed in InN Layers." *App. Phys. Lett.* 102 : 072103-1 - 072103-3
- Huang, B.C. and Lin, Y.L. 2010. "Effect of the Induced Electron Traps by Oxygen Plasma Treatment on Transfer Characteristics of Organic Thin Film Transistors." *App. Phys. Lett.* 99 : 113301-1 - 113301-3.
- Jiang, F. Shen, H. Liu, B. Lin, L. and Shen, Z. 2011. "Preparation and Properties of SnS Films Grown by Two-Stage Process." *Appl. Surf Sci.* 257 : 4901-4905
- Johnson, C. Lin, J.Y. and Jiang, H.X. 1996. "Metastability and Persistent Photoconductivity in Mg-Doped p-Type GaN." *App. Phys. Lett.* 68(13) : 1808-1810.
- Kittel, C. 1971. **Introduction to Solid State Physics.** 2nd ed. New York : John Wiley & Sons.
- Lin, J.H. Zeng, J.J. Su, Y.C. and Lin, Y.J. 2012. "Current Transport Mechanism of Heterojunc Diodes Based on the Reduced Graphene Oxide-Based Polymer Composite and n-Type Si." *App. Phys. Lett.* 100 : 153509-1 - 153509-4.
- Lin, Y.J. Luo, J. and Hung, H.C. 2013. "Electronic Transport and Schottky Barrier Heights of p-CuAlO₂ Schottky Diodes." *App. Phys. Lett.* 102 : 193511-1 - 193511-3.
- Luo, J. Adler, A.U. Mason, T.O. and Buchholz, D. 2013. "Transient Photorespon in Amorphous In-Ga-Zn-O Thin Films Under Stretched Exponential Analysis." *J. Appl. Phys.* 113 : 153709-1 - 153709-8.
- Ren, S.T. Zhao, F. and Chen Q. 2012. "Slow-Rise and Fast Drop Current Feature of Ultraviolet Response Spectra for ZnO-Nanowire Film Modulated by Water Molecules." *Chin. Phys. B.* 21(3) : 038104-1 - 038140-7.

- Richard, A.P. and Edwards, D.D. 2004. "Sub solidus Phase Relation and Crystal Structures of the Mixed-Phases in the $\text{In}_2\text{O}_3\text{-WO}_3$ System." *J. Solid State Chem.* 177 : 2740-2748.
- Runyan, W.R. 1975. **Semiconductor Measurement and Instrument.** 3rd ed. New York : Mc.Graw-Hill.
- van de Pauw, L.J. 1958. "A method of measuring specific resistivity and hall effect of arbitrary shape." *Philips Res. Reports.* 13 : 1-9.
- Studenikin, S.A. Geleco, N. and Cocivera, M. 1998. "Optical and Electrical Properties of Undoped ZnO Films Grown by Spray Pyrolysis of Zinc Nitrate Solution." *J. Appl. Phys.* 83(4) : 2104-2111.
- Sze, S.M. 1981. **Physics of Semiconductor Devices.** 2nd ed. New York : John Wiley & Sons.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Pattern : 74-2073		Radiation = 1.540600		Quality : Calculated																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Na In (WO ₄) ₂																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Sodium Indium Tungsten Oxide																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Lattice : Monoclinic S.G. : P2/c (13) a = 10.07700 b = 5.80800 c = 5.02700 a/b = 1.73502 c/b = 0.86553		Mol. weight = 633.51 Volume [CD] = 294.16 Dx = 7.152 Dm = 7.000 I/Cor = 5.21 Beta = 91.16 Z = 2		<table border="1"> <thead> <tr> <th>2th</th> <th>l</th> <th>h</th> <th>k</th> <th>l</th> <th>2th</th> <th>l</th> <th>h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>8.770</td><td>82</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>68.310</td><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>15.243</td><td>12</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>68.445</td><td>3</td><td>-6</td></tr> <tr><td>17.592</td><td>54</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>*68.445</td><td>3</td><td>-4</td></tr> <tr><td>*17.592</td><td>54</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>69.414</td><td>1</td><td>-7</td></tr> <tr><td>23.357</td><td>84</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>69.583</td><td>1</td><td>-5</td></tr> <tr><td>*23.357</td><td>84</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>69.801</td><td>4</td><td>-2</td></tr> <tr><td>24.893</td><td>8</td><td>-1</td><td>1</td><td>1</td><td>*69.801</td><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>25.150</td><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>70.033</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>26.520</td><td>2</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>70.225</td><td>2</td><td>7</td></tr> <tr><td>29.194</td><td>100</td><td>-2</td><td>1</td><td>1</td><td>71.579</td><td>2</td><td>-4</td></tr> <tr><td>29.637</td><td>99</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>72.494</td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>30.784</td><td>17</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>73.276</td><td><1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>*30.784</td><td>17</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>73.516</td><td><1</td><td>3</td></tr> <tr><td>32.050</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>74.782</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>35.367</td><td>5</td><td>-3</td><td>1</td><td>1</td><td>*74.782</td><td>6</td><td>-6</td></tr> <tr><td>35.700</td><td>69</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>74.883</td><td>4</td><td>-4</td></tr> <tr><td>*35.700</td><td>69</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>*74.883</td><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>35.926</td><td>9</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>75.419</td><td>4</td><td>8</td></tr> <tr><td>36.651</td><td>1</td><td>-1</td><td>0</td><td>2</td><td>*75.419</td><td>4</td><td>-1</td></tr> <tr><td>36.721</td><td>2</td><td>-1</td><td>2</td><td>1</td><td>75.622</td><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>36.802</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>*75.622</td><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>37.014</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>76.231</td><td>3</td><td>6</td></tr> <tr><td>38.944</td><td>2</td><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>*76.231</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>39.022</td><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>76.943</td><td><1</td><td>7</td></tr> <tr><td>39.676</td><td>6</td><td>-2</td><td>2</td><td>1</td><td>77.220</td><td><1</td><td>-6</td></tr> <tr><td>40.214</td><td>13</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>*77.220</td><td><1</td><td>3</td></tr> <tr><td>*40.214</td><td>13</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>77.449</td><td><1</td><td>8</td></tr> <tr><td>41.057</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td><td>77.693</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>42.783</td><td>8</td><td>-4</td><td>1</td><td>1</td><td>*77.693</td><td>1</td><td>-5</td></tr> <tr><td>*42.783</td><td>8</td><td>-2</td><td>1</td><td>2</td><td>78.061</td><td>5</td><td>-4</td></tr> <tr><td>43.420</td><td>10</td><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>*78.061</td><td>5</td><td>-2</td></tr> <tr><td>*43.420</td><td>10</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>78.505</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>44.557</td><td><1</td><td>3</td><td>0</td><td>2</td><td>*78.505</td><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>44.771</td><td>1</td><td>-3</td><td>2</td><td>1</td><td>79.004</td><td>1</td><td>7</td></tr> <tr><td>44.951</td><td>1</td><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>79.794</td><td>1</td><td>-8</td></tr> <tr><td>45.233</td><td><1</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>79.981</td><td>1</td><td>-2</td></tr> <tr><td>45.479</td><td><1</td><td>3</td><td>0</td><td>2</td><td>80.677</td><td>1</td><td>8</td></tr> <tr><td>46.892</td><td>3</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>80.894</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>47.782</td><td>15</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>*80.894</td><td>2</td><td>-5</td></tr> <tr><td>*47.782</td><td>15</td><td>4</td><td>2</td><td>1</td><td>81.113</td><td><1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>47.828</td><td>16</td><td>4</td><td>2</td><td>0</td><td>81.392</td><td><1</td><td>3</td></tr> <tr><td>47.828</td><td>17</td><td>1</td><td>3</td><td>0</td><td>81.558</td><td><1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>47.828</td><td>17</td><td>0</td><td>2</td><td>2</td><td>82.057</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>48.242</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>*82.057</td><td>3</td><td>-8</td></tr> <tr><td>48.581</td><td>1</td><td>-1</td><td>2</td><td>2</td><td>82.533</td><td><1</td><td>5</td></tr> <tr><td>48.870</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>83.079</td><td><1</td><td>0</td></tr> <tr><td>50.450</td><td>22</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>*83.079</td><td><1</td><td>-3</td></tr> <tr><td>*50.450</td><td>22</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>83.625</td><td>2</td><td>8</td></tr> <tr><td>50.757</td><td>16</td><td>-4</td><td>0</td><td>2</td><td>*83.625</td><td>2</td><td>7</td></tr> <tr><td>50.928</td><td>10</td><td>-5</td><td>1</td><td>1</td><td>83.823</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>51.021</td><td>17</td><td>-4</td><td>2</td><td>1</td><td>84.028</td><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>51.024</td><td>17</td><td>-2</td><td>2</td><td>2</td><td>84.278</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>51.679</td><td>21</td><td>4</td><td>2</td><td>2</td><td>*84.278</td><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>*51.679</td><td>21</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>84.657</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>51.871</td><td>12</td><td>4</td><td>0</td><td>2</td><td>85.059</td><td>4</td><td>-6</td></tr> <tr><td>53.314</td><td>1</td><td>-4</td><td>1</td><td>2</td><td>*85.059</td><td>4</td><td>-4</td></tr> <tr><td>53.734</td><td>1</td><td>-2</td><td>3</td><td>1</td><td>85.468</td><td>2</td><td>-8</td></tr> <tr><td>54.003</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>85.616</td><td>3</td><td>-4</td></tr> <tr><td>54.391</td><td>1</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>85.771</td><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>54.679</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>0</td><td>*85.771</td><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>55.122</td><td>1</td><td>-3</td><td>2</td><td>2</td><td>85.892</td><td>4</td><td>-8</td></tr> <tr><td>55.459</td><td>2</td><td>5</td><td>2</td><td>2</td><td>86.076</td><td>3</td><td>-4</td></tr> <tr><td>56.913</td><td><1</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td><td>*86.076</td><td>3</td><td>-2</td></tr> <tr><td>57.049</td><td>3</td><td>6</td><td>1</td><td>0</td><td>86.377</td><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>57.180</td><td>4</td><td>0</td><td>3</td><td>3</td><td>*86.377</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>57.781</td><td>1</td><td>-1</td><td>3</td><td>1</td><td>86.763</td><td>2</td><td>7</td></tr> <tr><td>*57.781</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>*86.763</td><td>2</td><td>8</td></tr> <tr><td>58.043</td><td>1</td><td>5</td><td>0</td><td>2</td><td>86.962</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>*58.043</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td><td>*86.962</td><td>1</td><td>9</td></tr> <tr><td>58.166</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>87.211</td><td>3</td><td>8</td></tr> <tr><td>58.348</td><td>1</td><td>-5</td><td>2</td><td>1</td><td>87.359</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>58.984</td><td>1</td><td>5</td><td>2</td><td>1</td><td>*87.359</td><td>3</td><td>-8</td></tr> <tr><td>59.316</td><td>2</td><td>5</td><td>0</td><td>2</td><td>87.488</td><td>2</td><td>-4</td></tr> <tr><td>59.825</td><td>12</td><td>-6</td><td>1</td><td>1</td><td>87.635</td><td>1</td><td>-6</td></tr> <tr><td>59.938</td><td>16</td><td>-2</td><td>1</td><td>3</td><td>88.129</td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>60.243</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>0</td><td>88.358</td><td>2</td><td>-2</td></tr> <tr><td>*60.243</td><td>5</td><td>0</td><td>3</td><td>2</td><td>88.576</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>60.577</td><td>14</td><td>-4</td><td>2</td><td>2</td><td>89.181</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>*60.577</td><td>14</td><td>5</td><td>1</td><td>1</td><td>*89.181</td><td>3</td><td>8</td></tr> <tr><td>60.689</td><td>14</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>89.688</td><td><1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>61.530</td><td>5</td><td>4</td><td>2</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>63.096</td><td>9</td><td>-4</td><td>3</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>*63.096</td><td>9</td><td>-2</td><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>63.583</td><td>11</td><td>-3</td><td>1</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>*63.583</td><td>11</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>64.122</td><td>10</td><td>0</td><td>4</td><td>0</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>*64.122</td><td>10</td><td>0</td><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>64.644</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>*64.644</td><td>1</td><td>-1</td><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>64.822</td><td>1</td><td>1</td><td>4</td><td>0</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>65.044</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>66.261</td><td>1</td><td>-6</td><td>0</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>66.603</td><td>3</td><td>-6</td><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>66.710</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>*66.710</td><td>3</td><td>-2</td><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>67.037</td><td>9</td><td>2</td><td>4</td><td>0</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>*67.037</td><td>9</td><td>0</td><td>4</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>67.418</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>*67.418</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>67.679</td><td>3</td><td>6</td><td>0</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>*67.679</td><td>3</td><td>-1</td><td>4</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>67.821</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		2th	l	h	k	l	2th	l	h	8.770	82	1	0	0	68.310	1	5	15.243	12	0	1	0	68.445	3	-6	17.592	54	2	0	0	*68.445	3	-4	*17.592	54	1	1	0	69.414	1	-7	23.357	84	2	1	0	69.583	1	-5	*23.357	84	0	1	1	69.801	4	-2	24.893	8	-1	1	1	*69.801	4	6	25.150	6	1	1	1	70.033	3	2	26.520	2	3	0	0	70.225	2	7	29.194	100	-2	1	1	71.579	2	-4	29.637	99	2	1	1	72.494	2	4	30.784	17	3	1	0	73.276	<1	-3	*30.784	17	0	2	0	73.516	<1	3	32.050	4	1	2	0	74.782	6	6	35.367	5	-3	1	1	*74.782	6	-6	35.700	69	0	2	1	74.883	4	-4	*35.700	69	0	0	2	*74.883	4	0	35.926	9	3	1	1	75.419	4	8	36.651	1	-1	0	2	*75.419	4	-1	36.721	2	-1	2	1	75.622	4	0	36.802	2	1	2	1	*75.622	4	0	37.014	3	1	0	2	76.231	3	6	38.944	2	4	1	0	*76.231	3	4	39.022	2	0	1	2	76.943	<1	7	39.676	6	-2	2	1	77.220	<1	-6	40.214	13	2	2	1	*77.220	<1	3	*40.214	13	1	1	2	77.449	<1	8	41.057	1	3	2	0	77.693	1	0	42.783	8	-4	1	1	*77.693	1	-5	*42.783	8	-2	1	2	78.061	5	-4	43.420	10	4	1	1	*78.061	5	-2	*43.420	10	2	1	2	78.505	4	4	44.557	<1	3	0	2	*78.505	4	2	44.771	1	-3	2	1	79.004	1	7	44.951	1	5	0	0	79.794	1	-8	45.233	<1	3	2	1	79.981	1	-2	45.479	<1	3	0	2	80.677	1	8	46.892	3	0	3	0	80.894	2	2	47.782	15	3	1	2	*80.894	2	-5	*47.782	15	4	2	1	81.113	<1	-3	47.828	16	4	2	0	81.392	<1	3	47.828	17	1	3	0	81.558	<1	-3	47.828	17	0	2	2	82.057	3	3	48.242	1	3	1	2	*82.057	3	-8	48.581	1	-1	2	2	82.533	<1	5	48.870	2	1	2	2	83.079	<1	0	50.450	22	3	0	0	*83.079	<1	-3	*50.450	22	0	3	1	83.625	2	8	50.757	16	-4	0	2	*83.625	2	7	50.928	10	-5	1	1	83.823	3	0	51.021	17	-4	2	1	84.028	4	6	51.024	17	-2	2	2	84.278	2	1	51.679	21	4	2	2	*84.278	1	5	*51.679	21	2	1	2	84.657	1	1	51.871	12	4	0	2	85.059	4	-6	53.314	1	-4	1	2	*85.059	4	-4	53.734	1	-2	3	1	85.468	2	-8	54.003	1	2	3	1	85.616	3	-4	54.391	1	4	1	2	85.771	4	2	54.679	2	3	3	0	*85.771	4	0	55.122	1	-3	2	2	85.892	4	-8	55.459	2	5	2	2	86.076	3	-4	56.913	<1	3	2	2	*86.076	3	-2	57.049	3	6	1	0	86.377	4	6	57.180	4	0	3	3	*86.377	4	4	57.781	1	-1	3	1	86.763	2	7	*57.781	1	1	3	1	*86.763	2	8	58.043	1	5	0	2	86.962	1	2	*58.043	1	3	3	1	*86.962	1	9	58.166	1	1	1	3	87.211	3	8	58.348	1	-5	2	1	87.359	3	4	58.984	1	5	2	1	*87.359	3	-8	59.316	2	5	0	2	87.488	2	-4	59.825	12	-6	1	1	87.635	1	-6	59.938	16	-2	1	3	88.129	1	4	60.243	5	4	3	0	88.358	2	-2	*60.243	5	0	3	2	88.576	1	2	60.577	14	-4	2	2	89.181	3	0	*60.577	14	5	1	1	*89.181	3	8	60.689	14	2	1	3	89.688	<1	-1	61.530	5	4	2	2				63.096	9	-4	3	1				*63.096	9	-2	3	2				63.583	11	-3	1	3				*63.583	11	2	3	2				64.122	10	0	4	0				*64.122	10	0	2	3				64.644	1	3	1	3				*64.644	1	-1	2	3				64.822	1	1	4	0				65.044	1	1	2	3				66.261	1	-6	0	2				66.603	3	-6	2	1				66.710	3	3	3	2				*66.710	3	-2	2	3				67.037	9	2	4	0				*67.037	9	0	4	1				67.418	3	3	3	2				*67.418	3	2	2	3				67.679	3	6	0	2				*67.679	3	-1	4	1				67.821	2	1	4	1			
2th	l	h	k	l	2th	l	h																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
8.770	82	1	0	0	68.310	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
15.243	12	0	1	0	68.445	3	-6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
17.592	54	2	0	0	*68.445	3	-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*17.592	54	1	1	0	69.414	1	-7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
23.357	84	2	1	0	69.583	1	-5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*23.357	84	0	1	1	69.801	4	-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
24.893	8	-1	1	1	*69.801	4	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
25.150	6	1	1	1	70.033	3	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
26.520	2	3	0	0	70.225	2	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
29.194	100	-2	1	1	71.579	2	-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
29.637	99	2	1	1	72.494	2	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
30.784	17	3	1	0	73.276	<1	-3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*30.784	17	0	2	0	73.516	<1	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
32.050	4	1	2	0	74.782	6	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
35.367	5	-3	1	1	*74.782	6	-6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
35.700	69	0	2	1	74.883	4	-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*35.700	69	0	0	2	*74.883	4	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
35.926	9	3	1	1	75.419	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
36.651	1	-1	0	2	*75.419	4	-1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
36.721	2	-1	2	1	75.622	4	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
36.802	2	1	2	1	*75.622	4	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
37.014	3	1	0	2	76.231	3	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
38.944	2	4	1	0	*76.231	3	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
39.022	2	0	1	2	76.943	<1	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
39.676	6	-2	2	1	77.220	<1	-6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
40.214	13	2	2	1	*77.220	<1	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*40.214	13	1	1	2	77.449	<1	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
41.057	1	3	2	0	77.693	1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
42.783	8	-4	1	1	*77.693	1	-5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*42.783	8	-2	1	2	78.061	5	-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
43.420	10	4	1	1	*78.061	5	-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*43.420	10	2	1	2	78.505	4	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
44.557	<1	3	0	2	*78.505	4	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
44.771	1	-3	2	1	79.004	1	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
44.951	1	5	0	0	79.794	1	-8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
45.233	<1	3	2	1	79.981	1	-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
45.479	<1	3	0	2	80.677	1	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
46.892	3	0	3	0	80.894	2	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
47.782	15	3	1	2	*80.894	2	-5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*47.782	15	4	2	1	81.113	<1	-3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
47.828	16	4	2	0	81.392	<1	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
47.828	17	1	3	0	81.558	<1	-3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
47.828	17	0	2	2	82.057	3	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
48.242	1	3	1	2	*82.057	3	-8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
48.581	1	-1	2	2	82.533	<1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
48.870	2	1	2	2	83.079	<1	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
50.450	22	3	0	0	*83.079	<1	-3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*50.450	22	0	3	1	83.625	2	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
50.757	16	-4	0	2	*83.625	2	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
50.928	10	-5	1	1	83.823	3	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
51.021	17	-4	2	1	84.028	4	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
51.024	17	-2	2	2	84.278	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
51.679	21	4	2	2	*84.278	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*51.679	21	2	1	2	84.657	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
51.871	12	4	0	2	85.059	4	-6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
53.314	1	-4	1	2	*85.059	4	-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
53.734	1	-2	3	1	85.468	2	-8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
54.003	1	2	3	1	85.616	3	-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
54.391	1	4	1	2	85.771	4	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
54.679	2	3	3	0	*85.771	4	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
55.122	1	-3	2	2	85.892	4	-8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
55.459	2	5	2	2	86.076	3	-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
56.913	<1	3	2	2	*86.076	3	-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
57.049	3	6	1	0	86.377	4	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
57.180	4	0	3	3	*86.377	4	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
57.781	1	-1	3	1	86.763	2	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*57.781	1	1	3	1	*86.763	2	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
58.043	1	5	0	2	86.962	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*58.043	1	3	3	1	*86.962	1	9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
58.166	1	1	1	3	87.211	3	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
58.348	1	-5	2	1	87.359	3	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
58.984	1	5	2	1	*87.359	3	-8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
59.316	2	5	0	2	87.488	2	-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
59.825	12	-6	1	1	87.635	1	-6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
59.938	16	-2	1	3	88.129	1	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
60.243	5	4	3	0	88.358	2	-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*60.243	5	0	3	2	88.576	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
60.577	14	-4	2	2	89.181	3	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
*60.577	14	5	1	1	*89.181	3	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
60.689	14	2	1	3	89.688	<1	-1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
61.530	5	4	2	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
63.096	9	-4	3	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
*63.096	9	-2	3	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
63.583	11	-3	1	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
*63.583	11	2	3	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
64.122	10	0	4	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
*64.122	10	0	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
64.644	1	3	1	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
*64.644	1	-1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
64.822	1	1	4	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
65.044	1	1	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
66.261	1	-6	0	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
66.603	3	-6	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
66.710	3	3	3	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
*66.710	3	-2	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
67.037	9	2	4	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
*67.037	9	0	4	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
67.418	3	3	3	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
*67.418	3	2	2	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
67.679	3	6	0	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
*67.679	3	-1	4	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
67.821	2	1	4	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Radiation : CuKα1 Lambda : 1.54060		Filter : Not specified d-sp : Calculated spacings																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
ICSD COLLECTION CODE : 028099 TEST FROM ICSD : Calc. density unusual but tolerable. TEST FROM ICSD : At least one TF implausible. TEMPERATURE FACTOR : ITF																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
*Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997) primary reference. *Zh. Strukt. Khim., volume 12, page 1108, (1971) : Kravchenko, V.B.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้