

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

4

**การศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมโดย
วิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ**



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **81602**
วัน,เดือน,ปี... **19** ...สิ.ย. **2551**

บ. 119 33719
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characterization of CdS Thin Films Prepared by Microwave-Assisted Chemical Bath Deposition



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor
of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อาจารย์ผู้สอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Academic Year 2007
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาสมบัติของฟิล์มบางCdsที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมี
ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

นักศึกษา นางสาวนันทิศา เหลืองศิริ
นางสาวประภาพิมพ์ เพ็ชรน้อย
นายฉัฐพล แสงส่งไพศาล

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.งามนิตย์ วงษ์เจริญ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.ดร. รุติชัย แก้วแดง	
กรรมการ ผศ.ดร. ชัยสิทธิ์ ภูริรักษ์เกียรติ	
กรรมการ อ. ฉัฐพร พรหมรส	
กรรมการที่ปรึกษา รศ. งามนิตย์ วงษ์เจริญ	

.....
(รองศาสตราจารย์วิชาญ เดชศิตรีระ)
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมโดยวิธีออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ
นักศึกษา	นางสาวนันทิดา เหลืองศิริ นางสาวประภาพิมพ์ เพ็ชรน้อย นายณัฐพล แสงส่งไพศาล
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.งามนิตย์ วงษ์เจริญ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอมของ Bi โดยวิธีออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง CdS : Bi และผิวหน้าของฟิล์มบาง โดยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง CdS : Bi หาได้จากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง ขนาดของช่องว่างแถบพลังงานและความต้านทานของฟิล์มบาง CdS : Bi จะมีค่าเปลี่ยนตามอุณหภูมิแอนนีล ซึ่งวิธีการเตรียมฟิล์มบาง โดยวิธีออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟนี้จะช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมฟิล์มบางอย่างมาก

Special Project Title Characterization of CdS Thin Films Prepared by Microwave-Assisted Chemical Bath Deposition

Name Nunthida Luangsiri
Prapapim Phetnoi
Nutthapol Sangsongphaisarn

Department Applied Physics, Faculty of Science

Program Applied Physics

Academic Year 2550

Special Project Advisor Assoc.Prof. Ngamnit Wongcharoen

ABSTRACT

In this special project, microwave-assisted chemical bath deposition (MA-CBD) method has been developed for the fabrication of cadmium sulfide (CdS) thin films doped with Bi. The crystal structure of the films was checked by X-ray diffraction method. Surface morphology of the films was obtained by scanning electron microscope (SEM). The energy gap values were evaluated from the optical transmission spectra. The variation of sheet resistance of the CdS:Bi thin films as a function of annealing temperature were observed. The results show that the MA-CBD is a very time saving method to fabricate the CdS:Bi films.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ งามนิตย์ วงษ์เจริญ รองศาสตราจารย์ ดร.จูนิตินัย แก้วแดง รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยสิงห์ ภูริรักษ์เกียรติ และ อาจารย์ณัฐพร พรหมรส ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง ตลอดจนอุปการะทุนสนับสนุนและการให้คำปรึกษาทางวิชาการที่ดีตลอดมา รวมถึงการปลูกฝัง สิ่งที่ดีงามให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบคุณ รศ.ดร.วิสุทธิ จูติรุ่งเรือง หัวหน้าศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ คุณเจริญชัย เหลืองอ่อน ผู้ช่วยวิจัยสังกัดศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำ ปลอดภัยมาใช้ในการทดลองของโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์และการแนะนำในการใช้เครื่อง ยูวี-วิสทิเบิล แบบ ดับเบิลบีม สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น He λ ions α ที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงโดยการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางในช่วงความยาวคลื่น อัลตราไวโอเล็ตไปจนถึงย่านอินฟราเรด (ความยาวคลื่น 190 – 1100 nm) และเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance ซึ่งรังสีเอ็กซ์มีความยาวคลื่นในย่าน Cu κ_1 1.5406 Å ในการศึกษาลักษณะ โครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM - 6400 ในการศึกษา โครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ อนุพงศ์ สรงประภา ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้ เครื่องยูวี-วิสทิเบิลแบบดับเบิลบีม ยี่ห้อ จัสโก้ 7600 สเปกโตรมิเตอร์ ที่มีค่าความยาวคลื่นย่าน อัลตราไวโอเล็ตและย่านตา-มองเห็นในการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดสรร งบประมาณของภาควิชาเพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณจุฑามาศ วัฒนานุรักษ์ คุณประธาน ประจวบโชค และคุณณัฐวัฒน์ ทুমเมฆ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษ แนะนำการใช้อุปกรณ์ต่างๆ

ตลอดจนให้คำแนะนำในการใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่เมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับถึงปัจจุบัน ตลอดจนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความอุปการะทุนในการศึกษาเล่าเรียน และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

นางสาวนันทิศา เหลืองศิริ
นางสาวประภาพิมพ์ เพ็ชรน้อย
นายณัฐพล แสงส่งไพศาล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	๗
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 โครงสร้างของผลึก	5
2.1.1 ชนิดการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายใน โครงผลึกแบบ 3 มิติ	5
2.1.1.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์	5
2.1.1.2 โครงสร้างผลึกแบบเวอร์ทไซต์	6
2.1.2 หลักเกณฑ์ในการระบุลักษณะพื้นฐานของผลึก	7
2.1.3 ความไม่สมบูรณ์ของผลึก	8
2.1.3.1 ข้อบกพร่องผลึกแบบจุด	9
2.1.3.2 ข้อบกพร่องผลึกเชิงเส้น	10
2.1.3.3 ข้อบกพร่องผลึกแบบแนวระนาบ	11
2.1.4 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	11
2.1.5 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.1.5.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์	12
2.1.5.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์	13
2.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ	13
2.2.1 ทฤษฎีโครงสร้างแถบพลังงาน	13
2.2.1.1 โลหะสารกึ่งตัวนำและฉนวน	14
2.2.1.2 ลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ	14
2.2.2 โครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์	16
2.3 การส่งผ่านแสง	17
2.3.1 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง	19
2.4 สมบัติทางไฟฟ้า	20
2.4.1 สภาพนำไฟฟ้า	20
2.4.2 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า	22
2.4.2.1 การวัดความต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น	22
2.5 การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง CdS ด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมี	24
2.5.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยา	25
2.5.2 การเกิดฟิล์มบาง CdS บนแผ่นรองรับ	27
2.6 ทฤษฎีของคลื่นไมโครเวฟ	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	29
3.1 วิธีการทดลองและเครื่องมือการวิจัย	29
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฐานรองที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์	29
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS : Bi โดยวิธีการอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ	29
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบางที่เตรียมได้	30
3.1.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการส่งผ่านทางแสงโดยใช้ เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	31
3.1.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานแผ่น	31
3.1.4 วิธีการทดลอง	32
3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง CdS : Bi ภายใต้อุณหภูมิไม่โครเวฟ	32
3.2.1 การเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์	32
3.2.2 การเตรียมฟิล์มบาง CdS : Bi โดยวิธีการอบสารละลายเคมี ภายใต้อุณหภูมิไม่โครเวฟ	33
3.2.3 วิธีการแอนนีก	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	37
4.1 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS: Bi ที่เตรียมได้โดยวิธีการอบสารละลายเคมี ภายใต้อุณหภูมิไม่โครเวฟ	37
4.1.1 ฟิล์มบาง CdS:Bi ที่เตรียมด้วยวิธีการอบ สารละลายเคมี ภายใต้อุณหภูมิไม่โครเวฟ	38
4.1.2 ฟิล์มบาง CdS:Bi เมื่อแอนนีกที่อุณหภูมิต่างๆ	39
4.2 การศึกษาสมบัติการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	40
4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง	45
4.4 ผลการศึกษาค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง	54
4.5 ผลการศึกษาลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบางและขนาดของเกรนด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	58
4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับอุณหภูมิเพื่อหาค่า พลังงานกระตุ้น	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	70
ประวัติผู้เขียน	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการจัดเรียงตัวของอะตอมของ Cds	6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ของ Cds	6
รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์กับแบบซิงค์เบลนด์	7
รูปที่ 2.4 การบอกระนาบต่าง ๆ ของผลึก	8
รูปที่ 2.5 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบจุด	9
รูปที่ 2.6 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบขอบ	10
รูปที่ 2.7 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบสกรู	10
รูปที่ 2.8 แสดงเกรนและขอบเขตของเกรน	11
รูปที่ 2.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของแบรียกก์	12
รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างแถบพลังงาน	14
ก. โลหะ	
ข. สารกึ่งตัวนำ	
ค. ฉนวน	
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงาน และการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์	15
ก. โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง	
ข. โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง	
รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน โฟตอนกับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์	16
ก. โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง	
ข. โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีกระบวนการสร้างโฟนอน	
รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ Cds ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์โดยไม่คิดการคัปปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิต	16
รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ Cds ที่มีโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์โดยไม่คิดการคัปปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิต	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.15 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง	17
รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่น โดยเส้นทึบจะแสดงขอบการดูดกลืนพื้นฐาน	19
รูปที่ 2.17 แสดงการให้แรงดันกับสารตัวอย่าง	21
รูปที่ 2.18 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น	22
รูปที่ 2.19 แสดงการวัดความต้านทานแผ่น โดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น	24
ก. การวัดแบบสองขั้ว โดยมีการเลื่อนระยะที่ขั้วหนึ่ง	
ข. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับระยะทางที่ได้จากการวัดชนิดเลื่อนขั้วไฟฟ้า	
รูปที่ 2.20 แผนภาพแสดงกลไกในการเกิดผลึกเป็นฟิล์มบางที่เตรียมโดยใช้เทคนิคการอบสารละลายเคมี	25
ก. กระบวนการเซทเทอโรจีเนียส	
ข. กระบวนการโฮโมจีเนียส	
ค. กระบวนการผสมระหว่างเซทเทอโรจีเนียสและโฮโมจีเนียส	
รูปที่ 2.21 แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับโดยกระบวนการโฮโมจีเนียส	26
รูปที่ 2.22 แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับโดยกระบวนการเซทเทอโรจีเนียส	27
รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกโตมิเตอร์: D8 Advance	30
รูปที่ 3.2 แสดงภาพถ่ายเครื่อง UV-VIS ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น He λ ions α	31
รูปที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ไทรมิเตอร์ยี่ห้อ Keithley รุ่น 610 CR	31
รูปที่ 3.4 แสดงภาพถ่ายการเคลือบด้วยเตาไมโครเวฟ	34
รูปที่ 3.5 แสดงระบบเตาแอนนูลที่ทนอุณหภูมิได้ถึง 600 °C	36
รูปที่ 4.1 แสดงฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมจากสารตั้งต้นเป็นผลึกผงที่มีความบริสุทธิ์สูง (99.999%) โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนูล	37
รูปที่ 4.2 แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของBi ค่าต่างๆ ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนูล	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.3 แสดงฟังก์ชันของ CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆ ที่เตรียมได้จากวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ	38
รูปที่ 4.4 แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	39
รูปที่ 4.5 แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	39
รูปที่ 4.6 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของBi ค่าต่างๆ ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล	40
รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS : Bi (x=0.00) เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	41
รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS : Bi (x=0.07) เมื่อไม่มีการแอนนีกัลและมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	42
รูปที่ 4.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟังก์ชันของ CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมได้จากวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ	43
รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS: Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกัล	45
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Eg) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของBi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน(Eg) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีสล	47
รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	48
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.0) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	49
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน(Eg) ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเวลา 20 นาที	50
รูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	51
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	52

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Eg) ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมี ภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัลและเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที เพื่อหาช่องว่างของแถบพลังงาน	53
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่น(R_p)กับสัดส่วนผสมทางเคมีของสารเจือ (x) ในฟิล์มบาง CdS:Bi ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล	55
รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนัลของฟิล์มบาง CdS:Bi(x=0.00) เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัลและเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	56
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนัลของฟิล์มบาง CdS:Bi(x=0.00) เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัลและเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	57
รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมได้โดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	58
รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมได้โดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	59
รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ $\ln(R_p/R)$ กับ $1000/T$ (K) ของฟิล์มบาง CdS: Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัล	61

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ $\ln (R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K) ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนیلและเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	63
รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ $\ln (R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K) ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนิลและเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	65

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆ ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผงCdS ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีสล	41
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	42
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผง CdS เมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	43
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผงCdS ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีสล	44
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Eg) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ โดยวิธีการอบสารละลายเคมี ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีสล	47
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Eg) ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสลและมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	50
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Eg) ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีส	54
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีส และเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	56
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีส และมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	57
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีส	60
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อทำการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 -500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	62
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อทำการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 -500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ทันทีที่แสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ทันทีและไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (renewable energy) เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าสะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆขณะใช้งาน ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมเพียงแค่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแสงแดดก็สามารถใช้งานได้ทันที เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้โดยไม่ต้องสร้างเสียบรรยากาศหรือการเคลื่อนไหวทั้งยังเป็นการประหยัดน้ำมันและสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างไม่มีที่สิ้นสุด มีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 20 ปี (คูสิต, 2542)

ฟิล์มบาง CdS เป็นสารประกอบโลหะกึ่งตัวนำหมู่ II-VI (II-VI compound) และเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) ที่มีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง (direct bandgap) ผลึกแคดเมียมซัลไฟด์จะมีโครงสร้างได้ 2 แบบ คือ ซิงค์เบลนด์ (zincblende) ซึ่งจัดอยู่ในระบบคิวบิก (cubic) หรือเวิร์ตไซต์ (wurtzite) ซึ่งอยู่ในระบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) และมีช่องว่างแถบพลังงาน (energy gap) กว้างโดยมีค่าประมาณ 2.42 อิเล็กตรอนโวลต์ ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้ฟิล์มบาง CdS น่าสนใจที่จะนำมาทำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือเป็นชั้นหน้าต่างของเซลล์แสงอาทิตย์ (Chavez; et. al. 1997)

การเตรียมฟิล์มบาง CdS สามารถเตรียมได้จากวิธีการระเหยในระบบสุญญากาศ (evaporation) วิธีการสปัตเตอร์ริง (sputtering) วิธีการละลายเคมี (chemical bath deposition) ซึ่งวิธีการละลายเคมีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเตรียมฟิล์ม CdS เพราะเป็นวิธีที่สะดวก ง่าย ต้นทุนต่ำเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม ฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมวิธีนี้จะได้ฟิล์มที่มีคุณภาพดีและสามารถเคลือบบนแผ่นรองรับขนาดใหญ่ได้ แต่สภาพต้านทานไฟฟ้าจะมากเกินไป $10^8 \Omega\text{-cm}$ ซึ่งมากกว่าที่ใช้ในชั้นหน้าต่างของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำการแก้ไขปัญหานี้โดยใช้การแอนนัล (Melo; et. al. 1994)

การให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่รวดเร็ว ง่าย และมีประสิทธิภาพในการเตรียมวัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ กลไกของคลื่นไมโครเวฟที่มีผลต่อสารตั้งต้นที่ใช้ฟิล์มบางใน

สารละลายยังไม่ทราบแน่ชัด อย่างไรก็ตามพลังงานของคลื่นไมโครเวฟที่ส่งผ่านไปยังสารละลายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเกี่ยวข้องกับกำทอน (resonance) และการผ่อนคลาย (relaxation) (Zhai; et. al. 2005) กล่าวคือ การกำทอนจะเกี่ยวข้องกับความถี่ธรรมชาติของโมเลกุลของสารละลายที่สอดคล้องกับความถี่ของ ไมโครเวฟ ส่งผลให้โมเลกุลเกิดการสั่นอย่างรุนแรงจนกระทั่งโมเลกุลของสารตั้งต้นแตกออก แล้วอาจเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลของสารประกอบใหม่ที่ต้องการ ส่วนการผ่อนคลายจะเกี่ยวข้องกับการที่โมเลกุลของสารละลายดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟบางส่วนไว้ แล้วทำการเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนซึ่งจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วได้โมเลกุลของสารประกอบชนิดใหม่ โมเลกุลในสารละลายมักเป็นโมเลกุลมีขั้วซึ่งสามารถตอบสนองต่อคลื่นไมโครเวฟได้ดี ในลักษณะที่โมเลกุลมีขั้วเหล่านี้จะจัดเรียงตัวใหม่ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลเกิดขึ้น รวมทั้งอาจมีการชนกันด้วย ความร้อนจึงเกิดขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดได้ ดังนั้น โมเลกุลของสารประกอบใหม่จึงเกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาเคมีด้วยความร้อน โดยทั่วไปแล้วพบว่าปฏิกิริยาเคมีโดยใช้คลื่นไมโครเวฟจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าและใช้เวลาสั้นกว่า (Rao; et. al. 1999)

ในโครงการพิเศษนี้ ได้สนใจที่จะเตรียมฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือและเจือด้วย Bi ด้วยสัดส่วนผสมทางเคมีโดยน้ำหนัก 3, 5, 7, 10 และ 20 wt% ตามลำดับโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเพื่อที่จะนำไปประยุกต์เป็นชั้นหน้าต่างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CdS/CdTe ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือและเจือด้วย Bi ด้วยสัดส่วนผสมทางเคมีโดยน้ำหนัก 3, 5, 7, 10 และ 20 wt% ตามลำดับโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C
- 1.2.2 ทำการแอนนัลฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้ภายใต้บรรยากาศของแก๊สในโตรเจนที่อุณหภูมิ 100-500 °C เป็นเวลา 20 นาที
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและมหภาคของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้
- 1.2.4 เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงโดยวัดการส่งผ่านแสง เพื่อนำมาคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน
- 1.2.5 เพื่อศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 การเตรียมฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือและเจือด้วย Bi ด้วยสัดส่วนผสมทางเคมีโดยน้ำหนัก 3, 5, 7, 10 และ 20 wt% ตามลำดับโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C
- 1.3.2 นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปแอนนیلในบรรยากาศของแก๊สในโตรเจนบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 100-500 °C เป็นเวลา 20 นาที
- 1.3.3 นำฟิล์มบางไปทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์
- 1.3.4 นำฟิล์มบางไปทำการถ่ายภาพพื้นผิวของโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- 1.3.5 ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ ได้แก่ การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานโดยการวัดส่งผ่านแสง
- 1.3.6 ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าโดยการวัดความต้านทานแผ่น และการวัดความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิเพื่อหาค่าระดับพลังงานการกระตุ้นที่ปรากฏในช่องว่างแถบพลังงาน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและรวบรวมข้อมูลจากผลงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์
- 1.4.2 ศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือและเจือด้วย Bi ด้วยสัดส่วนผสมทางเคมีโดยน้ำหนัก 3, 5, 7, 10 และ 20 wt% โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C
- 1.4.3 ศึกษาการแอนนیلฟิล์มบาง CdS ในบรรยากาศของแก๊สในโตรเจนบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ 100-500 °C เป็นเวลา 20 นาที
- 1.4.4 ศึกษาสมบัติโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและมหภาคของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตรมิเตอร์: D8 Advance ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 1830 รังสีเอ็กซ์ย่าน Cu_K มีความยาวคลื่น 1.5418 อังสตรอม
- 1.4.5 นำฟิล์มบางไปทำการถ่ายภาพพื้นผิวของโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning Electron Microscope : SEM) ของ JOEL รุ่น JSM-6400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.6 ศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้โดยการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo electron corporation ($He\ \lambda\ ions\ \alpha$) ช่วง 190-1100 นาโนเมตร
- 1.4.7 ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้โดยการวัดความต้านทานแผ่นและการวัดความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิเพื่อหาค่าระดับพลังงานการกระตุ้นที่ปรากฏในช่องว่างแถบพลังงาน
- 1.4.8 วิเคราะห์และสรุปผล
- 1.4.9 เขียนรูปเล่มโครงการพิเศษ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทำให้ทราบถึงวิธีการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นชั้นหน้าต่างในเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.5.2 ทำให้ทราบถึงวิธีการตรวจสอบโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์และการตรวจสอบโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- 1.5.3 ทำให้ทราบถึงวิธีการศึกษาสมบัติทางทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้ เช่น สมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งจะได้อธิบายทฤษฎีและหลักการในส่วนที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 โครงสร้างของผลึก (งามนิตย์, 2543; จูตินัย, 2546)

สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายใน โครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันนี้ทำให้สารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น คุณสมบัติการนำไฟฟ้า คุณสมบัติการดูดกลืนแสง ฯลฯ

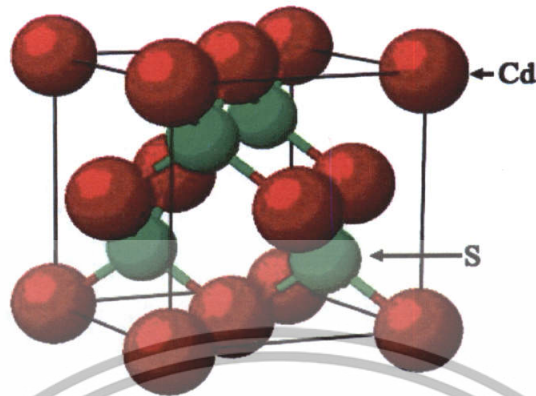
2.1.1 ชนิดการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายในโครงสร้างผลึกแบบ 3 มิติ

โครงสร้างผลึก คือ ตำแหน่งที่เป็นที่อยู่ของเบสิส (basis) ในระบบ 3 มิติ ส่วนเบสิส คืออะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่อยู่ภายใน โครงสร้างผลึกซึ่งจากการศึกษาพบว่าโครงสร้างผลึกของแกลดเมียมซัลไฟด์จะมีลักษณะ โครงสร้างอยู่ 2 แบบ คือ แบบซิงค์เบลนด์ (zincblende) และแบบเวิร์ทไซท์ (wurtzite)

2.1.1.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ (zincblende structure)

โครงสร้างผลึกแบบนี้มักพบในสารกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุสองชนิดหรือเรียกว่าเป็นสารประกอบกึ่งตัวนำเชิงคู่ (binary compound semiconductor) ได้แก่ สารประกอบสารกึ่งตัวนำในกลุ่ม III-V เช่น GaAs และ InSb และสารประกอบกึ่งตัวนำในกลุ่ม II-VI เช่น ZnSe, ZnS เป็นต้น โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะคล้ายโครงสร้างผลึกแบบเพชร คือ อาจพิจารณาว่าเป็นโครงสร้างผลึกแบบเฟซเซนเตอร์คิวบิกสองโครงซ้อนกันอยู่แต่โครงหนึ่งเป็นธาตุหมู่ II (หรือ III) ส่วนอีกโครงสร้างเป็นธาตุหมู่ VI (หรือ V) สำหรับสารกึ่งตัวนำเชิงคู่ II-VI (หรือ III-V) ในหนึ่งหน่วยเซลล์ประกอบด้วยอะตอมสองชนิดแต่ละชนิดมีสี่อะตอม เช่นใน CdS อะตอมของ Cd จะอยู่ที่ตำแหน่ง (000), $(0 \frac{1}{2} \frac{1}{2})$, $(\frac{1}{2} 0 \frac{1}{2})$ และ $(\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0)$ ส่วนตำแหน่งของอะตอม S จะอยู่ที่ $(\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4})$, $(\frac{1}{4} \frac{3}{4} \frac{3}{4})$, $(\frac{3}{4} \frac{1}{4} \frac{3}{4})$ และ $(\frac{3}{4} \frac{3}{4} \frac{1}{4})$ สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ ได้แก่ ZnS, CuCl, AgI, CuF, SiC และ CdS เป็นต้น ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีความสำคัญสำหรับนำมาประยุกต์เพื่อประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง

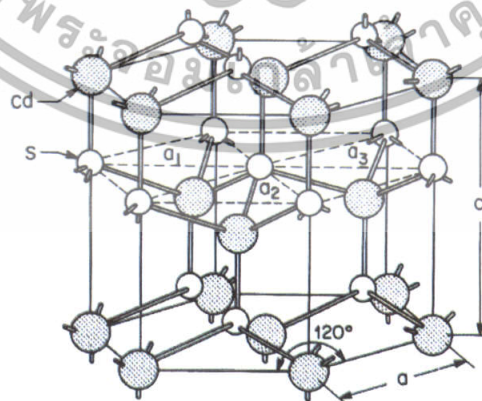
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงการจัดเรียงตัวของอะตอมของ CdS

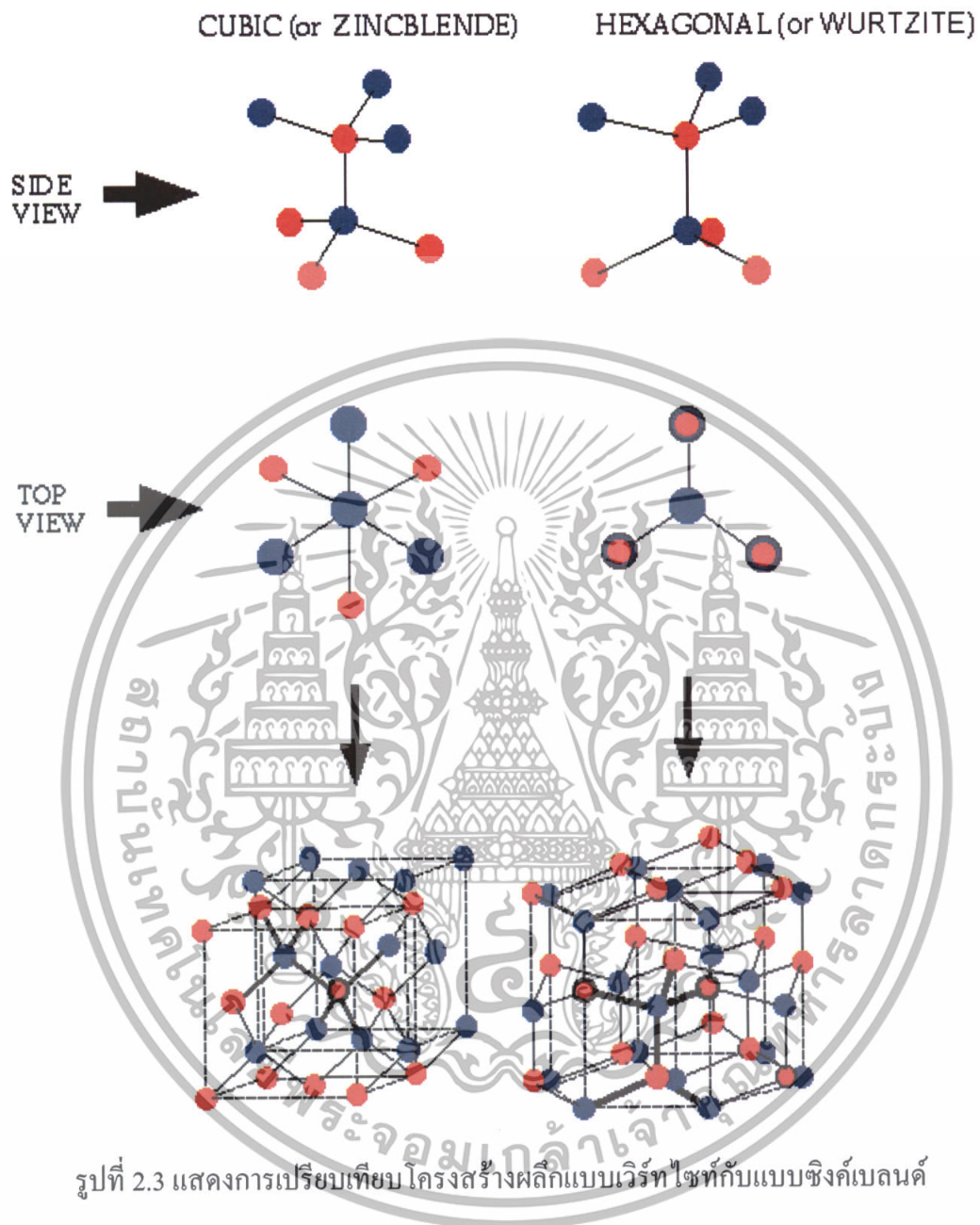
2.1.1.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์ (wurtzite structure)

โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์จัดอยู่ในระบบโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลเกิดจากการนำโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลที่มีอะตอมของธาตุต่างๆอยู่สองชนิดวางซ้อนกันเป็นระยะ $5/8$ ตามแนวแกน c (c -axis) หนึ่งหน่วยเซลล์จะมี 8 อะตอม มีอะตอมเพื่อนบ้านอยู่ 4 อะตอม มีพันธะเคมีของโมเลกุลเป็นแบบพันธะเตตระฮีดรอน และมีพันธะเคมีระหว่างอะตอมเป็นแบบโคเวเลนต์ ดังนั้นจึงมีการจัดเรียงระนาบของอะตอมคล้ายกับ โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์แต่จะมีความแตกต่างกัน คือ ในโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์จะมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอน เป็นแบบ ABAB... หรือ 0101... ส่วนในโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์จะมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอนแบบ ABCABC... หรือ 012012... สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ ได้แก่ CdS, ZnS เป็นต้น



รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์ของ CdS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.1.2 หลักเกณฑ์ในการระบุลักษณะพื้นฐานของผลึกมีดังนี้

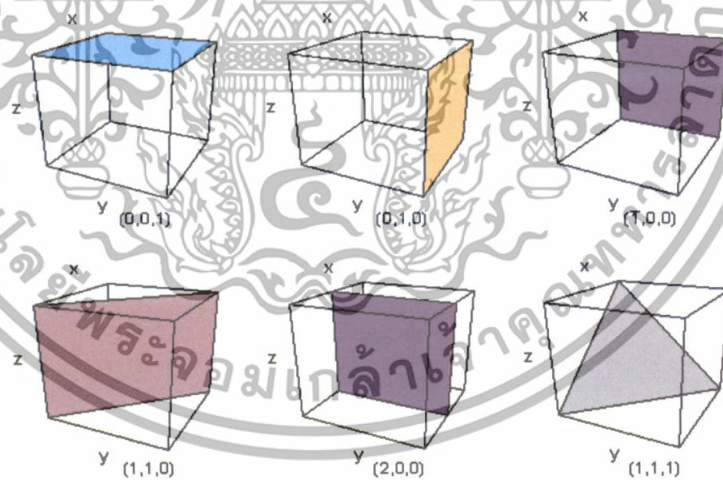
- การระบุตำแหน่งในกรณีทั่วไปจะเขียนเป็น x,y,z (สังเกตเครื่องหมาย ”,” ซึ่งคั่นแต่ละค่า)
- การระบุทิศทางในกรณีทั่วไปจะเขียนเป็น $[u \ v \ w]$ (สังเกตวงเล็บก้ามปูและไม่มีเครื่องหมาย”,” คั่นระหว่างค่าแต่ละค่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การระบุทิศทางที่ศึกษาจะใช้แนวที่ผ่านจุดเริ่มต้นของแกนผลึก คือ ที่จุด $0,0,0$ ซึ่งสามารถใช้ค่าเดียวกันนี้ระบุทุกๆ แนวทิศทางที่ขนานกันและจะใช้จุดที่เป็นค่าจำนวนเต็มทีน้อยที่สุดที่แนวนั้นตัดผ่านเป็นตัวระบุ เช่น ทิศทาง $[111]$ มีจุดจำนวนนับไม่ถ้วนที่ทิศทางนี้ตัดผ่าน เช่น จุด $0,0,0$ จุด $1,1,1$ นอกจากนี้ยังผ่านจุด $2,2,2$ และ $1/2, 1/2, 1/2$ และจุดอื่นๆ อีกนับไม่ถ้วนถ้าเป็นทิศทางที่เป็นลบก็จะใส่เครื่องหมาย “-” หรือ บาร์ (bar) ไว้บนตัวเลขนั้นๆ เช่น ทิศทาง $[1\bar{2}\bar{1}]$ แสดงว่าในแนวแกน z มีค่าเป็นลบ

- การระบุระนาบจะใช้อักษร (hkl) (สังเกตรูปเงา และไม่มีเครื่องหมาย “-” คั่น)

ค่า hkl เรียกว่า ดัชนีมิลเลอร์ (Miller indices) ระนาบของผลึกเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกประการหนึ่งในการศึกษาผลึกเพราะในแต่ละระนาบจะประกอบไปด้วยอะตอมไอออนหรือโมเลกุลเรียงตัวกันอยู่บนระนาบนั้น อาจกล่าวได้ว่าระนาบแต่ละระนาบจะมีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับทิศทางจุดที่ระนาบหนึ่งๆ ตัดแกนผลึกจะ ได้มาจากค่าส่วนกลับของดัชนีมิลเลอร์ เช่น ระนาบ (010) จะตัดแกน x, y, z ที่จุด $1/0, 1/1, 1/0$ หรือ จุด $\infty, 1, \infty$ นั้นเอง (ระยะอนันต์หมายถึงไม่ตัดกับแกนนั้น) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 ซึ่งสรุปความสัมพันธ์ระหว่างระนาบต่างๆ กับระยะตัดแกนอ้างอิง



รูปที่ 2.4 การบอกระนาบต่าง ๆ ของผลึก

2.1.3 ความไม่สมบูรณ์ของผลึก

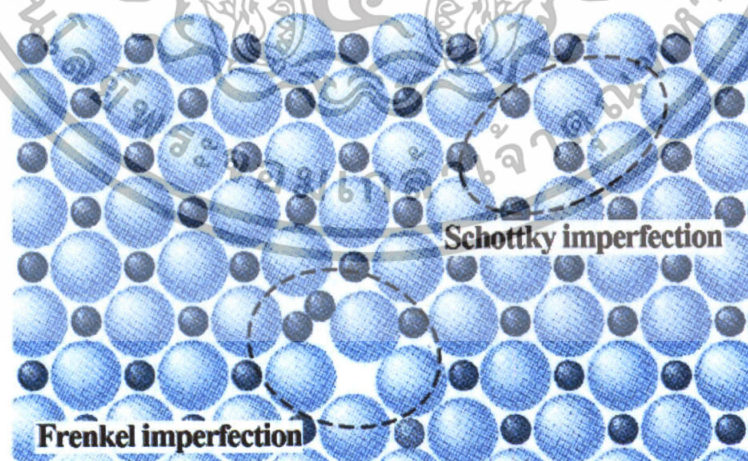
ที่ผ่านมาเราพิจารณาโครงสร้างผลึกในอุดมคติมาโดยตลอด แต่ในความเป็นจริงแล้ว โครงสร้างผลึกจะมีลักษณะไม่สมบูรณ์แบบ โครงสร้างผลึกในอุดมคติทั้งหมด ความไม่สมบูรณ์ของผลึกนั้นมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารและในบางกรณีตัวแปรทางไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะขึ้นอยู่กับความไม่สมบูรณ์ของผลึกด้วยซึ่งความไม่สมบูรณ์หรือข้อบกพร่องของโครงผลึกมีหลายชนิดด้วยกัน

2.1.3.1 ข้อบกพร่องผลึกแบบจุด (point defect)

ข้อบกพร่องของผลึกแบบจุดดังแสดงในรูปที่ 2.5 นี้จะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาอะตอมที่ผิดเพี้ยนไปจากตำแหน่งเดิมในโครงสร้างผลึก

- ก) ข้อบกพร่องผลึกแบบแวนแคนซี (vacancy defect) ซึ่งมีลักษณะที่อะตอมหรือไอออนหลุดหายไป หรืออาจเรียกอีกอย่างว่าข้อบกพร่องผลึกแบบชอตทกี (schottky defect)
- ข) ข้อบกพร่องผลึกแบบอินเทอร์สติเชียล (interstitial) ซึ่งเป็นลักษณะที่อะตอมบางอะตอมหรือไอออนที่ไม่อยู่ที่ตำแหน่งของโครงผลึก แต่จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างตำแหน่งที่เป็นที่ว่างของโครงผลึก โดยทั่วไปแล้วรัศมีอะตอมที่เข้าไปแทรกอยู่จะมีค่าอยู่ระหว่างหรือน้อยกว่ารัศมีของอะตอมหลัก
- ค) การผิดรูปของโครงผลึกแบบเฟรเนล (frenkel disorder) คือ จะเกิดลักษณะ (ก) และ (ข) ร่วมกันโดยมีจำนวนเท่าๆกัน
- ง) การผิดรูปของโครงผลึกแบบแอนติสตรัคเจอร์ (antistructure disorder) เป็นลักษณะของอะตอมตั้งแต่สองอะตอมขึ้นไปเข้าไปอยู่ในตำแหน่งของโครงผลึกทำให้ลักษณะของโครงผลึกไม่เป็นระเบียบ

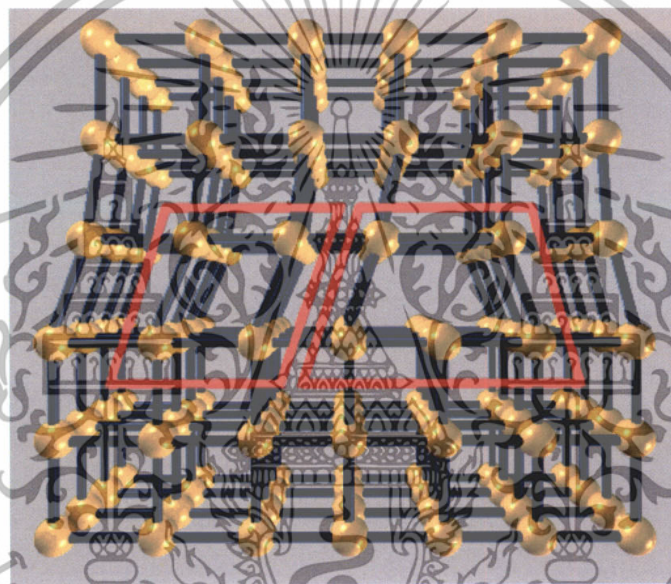


รูปที่ 2.5 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบจุด

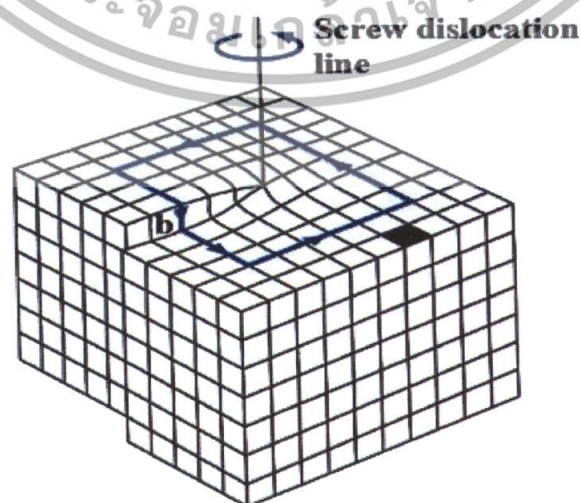
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.2 ข้อบกพร่องผลึกเชิงเส้น (line defect)

ข้อบกพร่องผลึกเชิงเส้นอาจจะเรียกได้อีกอย่างว่าดิสโลเคชัน (dislocations) เกิดจากความผิดปกติของจุดของโครงผลึกตั้งแต่สองจุดขึ้นไป ขาดหายหรือเพิ่มขึ้นมาซึ่งมีผลทำให้เกิดการผิดปกติของโครงผลึกแบบเชิงเส้น การเกิดดิสโลเคชันอาจจะแบ่งออกได้ตามลักษณะรูปร่างที่สังเกตเห็น คือ ดิสโลเคชันแบบขอบ (edge dislocations) ดังรูปที่ 2.6 และดิสโลเคชันแบบสกรู (screw dislocations) ดังรูป 2.7



รูปที่ 2.6 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบขอบ

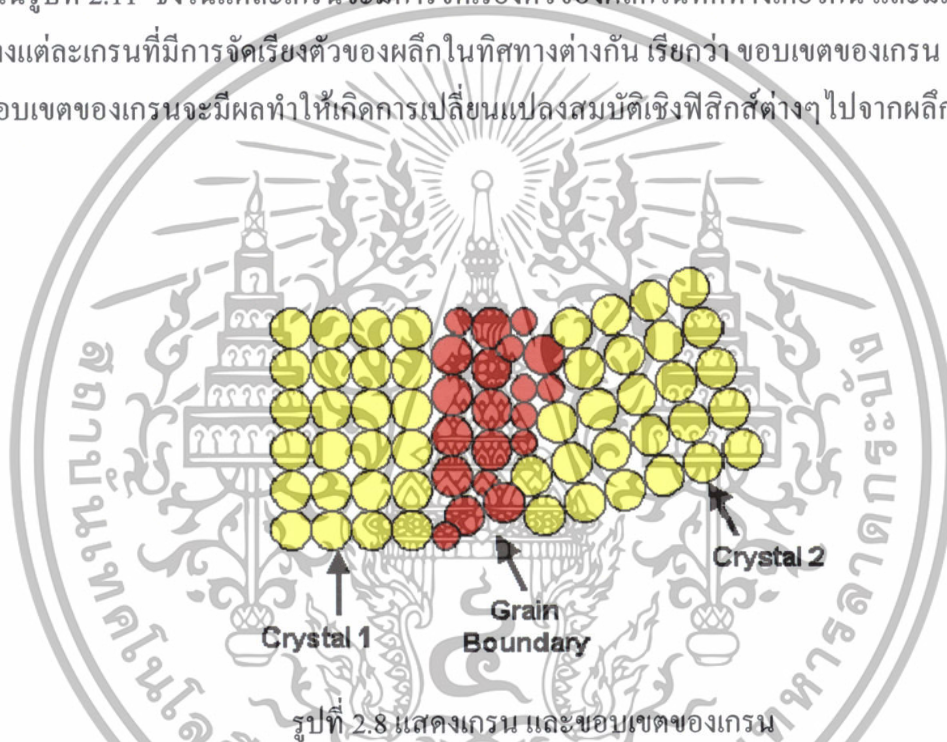


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 2.7 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบสกรู ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.3 ข้อบกพร่องผลึกแบบแนวระนาบ (planar defect)

เป็นลักษณะของความผิดปกติของผลึกแบบระนาบแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มใหญ่ๆ คือการเรียงระนาบผิดลำดับ (stacking faults), ระนาบทวิน (twin planes), เกรนและขอบของเกรน (grain and grain boundaries)

ข้อบกพร่องผลึกชนิดนี้มักจะเกิดขึ้นในผลึกพหุพันธ์ (polycrystallines) ที่มีหลายเกรน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งในแต่ละเกรนจะมีการจัดเรียงตัวของผลึกในทิศทางเดียวกัน และมีแนวแบ่งระหว่างแต่ละเกรนที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกในทิศทางต่างกัน เรียกว่า ขอบเขตของเกรน ซึ่งเกรนและขอบเขตของเกรนจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงฟิสิกส์ต่างๆ ไปจากผลึกในอุดมคติ



รูปที่ 2.8 แสดงเกรน และขอบเขตของเกรน

2.1.4 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

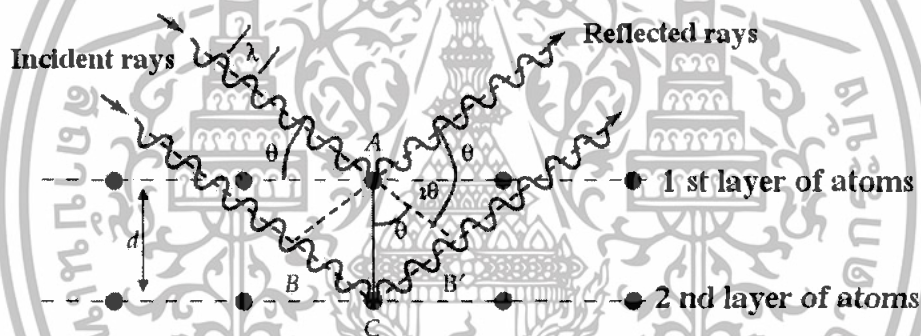
การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยวิธี θ - 2θ ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์ โดยใช้รังสีเอ็กซ์ความยาวคลื่นเดี่ยวตกกระทบตัวอย่างซึ่งอาจเป็นผลึกเดี่ยวหรือผลึกพหุพันธ์ก็ได้ ตัวอย่างจะหมุนไปเป็นมุม θ ในขณะที่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณรังสีเอ็กซ์จะเคลื่อนที่ไปเป็นมุม 2θ เพื่อให้การเลี้ยวเบนสอดคล้องกับกฎของแบร์รอก์

ในปี ค.ศ. 1912 W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดที่เราสามารถมองได้ว่าผลึกจัดเรียงตัวเป็นชั้น (layer) หรือ ระนาบ (plane) ของอะตอมซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบโดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนทั้งนี้ค่าคลื่นที่สะท้อนออกไปจากระนาบต่างๆดังกล่าวจะมีความเข้มสูงและแทรกสอดแบบเสริม ถ้าหากความแตกต่างระหว่างทางเดินของคลื่นที่สะท้อนจากระนาบที่อยู่ข้างเคียงจะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นที่ ตกกระทบดังสมการ ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

- เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์
 d_{hkl} คือ ระยะระหว่างระนาบที่ขนานกัน
 θ คือ มุมที่สะท้อนจากระนาบซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ
 n คือ อันดับการเลี้ยวเบน มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3,...

ระนาบต่างๆของผลึกไม่ได้ก่อให้เกิดการสะท้อนเสมอไประนาบใดที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบแล้วกระเจิงออกมาอย่างสอดคล้องกับกฎของเบร็กก์ เรียกว่าระนาบเบร็กก์ (Bragg plane) และมุมที่รังสีสะท้อนทำกับแนวที่ขนานกับรังสีตกกระทบเรียกว่ามุมเลี้ยวเบน (diffraction angle) ซึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของมุมสะท้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของเบร็กก์

2.1.5 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

ข้อมูลที่ได้จากรีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ใน โครงสร้างผลึกสามารถนำไปคำนวณค่าคงที่โครงสร้างได้ โดยพิจารณาได้ในแต่ละ โครงผลึกดังนี้

2.1.5.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์

โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ จัดอยู่ในรูปผลึกแบบคิวบิก (cubic) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่โครงสร้าง ค่าดัชนีมิลเลอร์ และระยะระหว่างระนาบที่ขนานกันดังสมการ

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์

โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์หาได้จากสมการ

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \left[\frac{h^2 + hk + l^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.3)$$

เมื่อ a, c คือ ค่าคงที่ของโครงผลึก

h, k, l คือ ดัชนีมิลเลอร์ที่ใช้บอกชื่อของระนาบ

2.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ (งามนิตย์, 2543; ฐิตินัย, 2546)

การศึกษาสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน และขนาดช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำโดยจะกล่าวถึงลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำและกระบวนการดูดกลืนแสงของอิเล็กตรอน, ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของแควมียมัมซิลไฟด์, สเปกตรัมการส่งผ่านแสงและการคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน

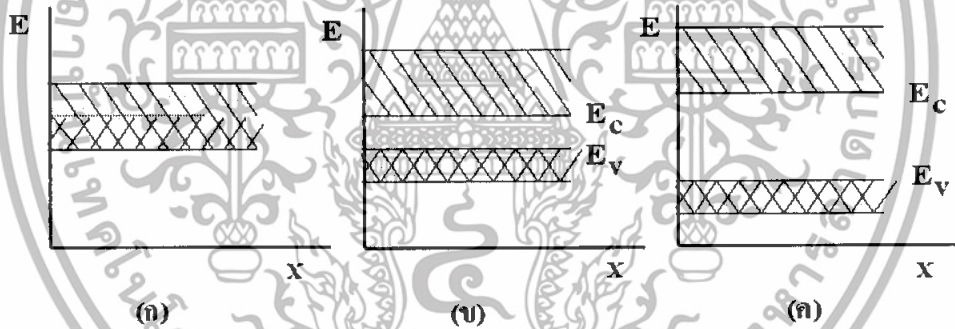
2.2.1 ทฤษฎีโครงสร้างแถบพลังงาน

ในโลหะอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอกสุด เรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอนและถือว่าเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ไม่ถูกยึดอยู่ที่อะตอมหนึ่งอะตอมใดโดยเฉพาะซึ่งไม่เหมือนกับอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำหรือฉนวนที่ไม่เป็นอิสระอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดกระแสอาจถูก เรียกว่า ตัวนำอิเล็กตรอน (conduction electron) และในผลึกของแข็งอาจพิจารณาได้ว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ในผลึกซึ่งมีศักย์แบบเป็นคาบ (periodic potential) อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากระยะห่างของไอออนคอร์ (ion core) มีระยะเท่ากันตลอดซึ่งเท่ากับค่าคงที่ของโครงผลึก (lattice constant) ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานของอิเล็กตรอนซึ่งจะมีได้นั้นจะมีได้ในแถบหนึ่งแถบใดเท่านั้นคือ แถบยินยอม (allowed band) และแถบพลังงานที่จะมีได้นี้จะถูกแบ่งกันไว้ด้วยแถบพลังงานต้องห้ามซึ่งหมายถึงพลังงานในย่านนี้ อิเล็กตรอนไม่สามารถที่จะมีได้ แถบดังกล่าวถูกเรียกว่า “แถบต้องห้ามหรือช่องว่างแถบพลังงาน” (forbidden band or energy gap) ภายในแถบยินยอมหนึ่งๆ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนี้จะแสดงตัวเหมือนกับอิเล็กตรอนอิสระทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 โลหะ สารกึ่งตัวนำและฉนวน

ลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงานของของแข็งสามารถบ่งบอกคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุของแข็งนั้นๆ ได้เป็นอย่างดี สภาพความนำไฟฟ้าของสารใดๆ จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับจำนวนหรือปริมาณของความหนาแน่นของประจุพาหะที่มีอยู่กรณีที่จะมีการนำไฟฟ้าได้แล้ว จำเป็นที่จะต้องมีส่วนที่ว่างอยู่ในแถบพลังงานและเมื่อมีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนที่ระดับต่างๆ ซึ่งอยู่ใต้ระดับพลังงานที่ว่างอยู่ก็จะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นและเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในสถานะที่ว่างอยู่นั้นจากนั้นอิเล็กตรอนตัวอื่นๆ ก็จะเคลื่อนที่ตามกันไปอย่างนี้จะทำให้เกิดการไหลของกระแส อิเล็กตรอนขึ้น ตัวนำที่ดีจะต้องมีพาหะซึ่งอยู่ในระดับต่างๆ ภายในแถบพลังงานซึ่งประกอบด้วยแถบพลังงานสองแถบ คือ แถบนำและแถบวาเลนซ์ซ้อนเหลื่อมกันซึ่งคือ โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะนั่นเอง ดังรูปที่ 2.10 (ก)



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างแถบพลังงาน

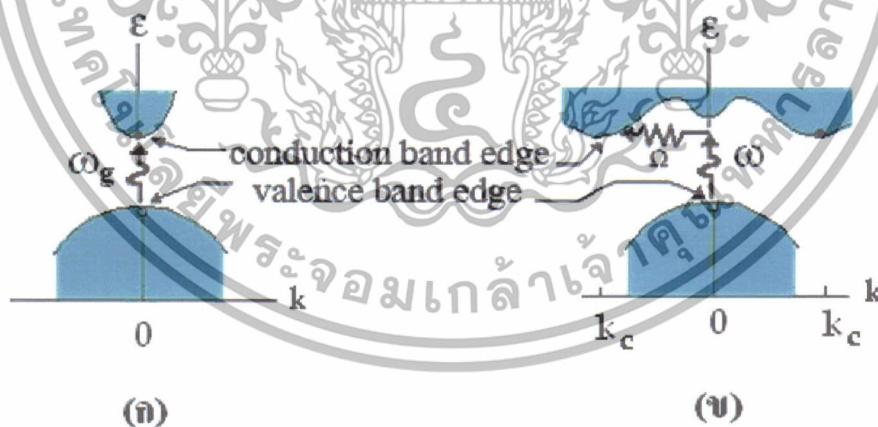
- ก. โลหะ
- ข. สารกึ่งตัวนำ
- ค. ฉนวน

2.2.1.2 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

โดยทั่วไปลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำมีสองแบบคือ แบบตรง (direct bandgap) และแบบอ้อม (indirect bandgap) ดังแสดงในรูปที่ 2.11(ก) และ (ข) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง คือ โครงสร้างแถบพลังงานที่มีจุดต่ำสุดของแถบนำกับจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ อยู่ที่ตำแหน่งเวกเตอร์คลื่น (wave vector ; k) ค่าเดียวกันหรืออยู่ที่ตำแหน่งที่มีโมเมนตัมคลื่นเท่ากันถ้าอิเล็กตรอนได้รับพลังงาน โฟตอนที่มีค่าเท่ากับขนาดของช่องว่าง

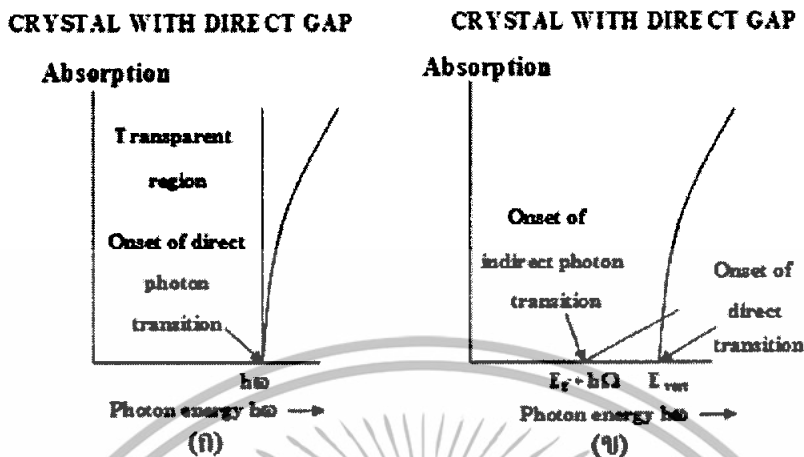
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นว่าประโยชน์ของการนำเอกสารนี้ไปใช้มากกว่าการมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบพลังงาน ($h\nu = E_g$) อิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานโฟตอนนั้นและอยู่ในสถานะถูกกระตุ้นซึ่งย้ายสถานะพลังงาน (transition) จากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำกลายเป็นอิเล็กตรอนและโฮลอิสระโดยไม่มีการสูญเสียพลังงานให้แก่โครงสร้างผลึกคือ ไม่มีการสร้างหรือทำลายล้างโฟนอน (phonon creation or phonon annihilation) เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอน (absorption coefficient) กับพลังงานโฟตอนจะได้กราฟดังรูปที่ 2.12 (ก) ส่วนลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง คือ โครงสร้างแถบพลังงานที่มีจุดต่ำสุดของแถบนำกับจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ ไม่อยู่ที่ตำแหน่งเวกเตอร์คลื่นเดียวกันหรืออยู่ที่ตำแหน่งที่มีโมเมนตัมคลื่นเท่ากัน ดังนั้นอิเล็กตรอนต้องได้รับพลังงานโฟตอนที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงานแล้วจะทำให้เกิดกระบวนการสร้างหรือทำลายโฟนอนเกิดขึ้น $\hbar\omega = E_g \pm \hbar\Omega$ เมื่อ Ω คือ ค่าความถี่เชิงมุมของพลังงานโฟนอนนั้นคือ เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้น ทำให้เกิดการย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังต่ำสุดของแถบนำ จะมีการปล่อยโฟนอน (emitted phonon) ที่มีความถี่เชิงมุมมีเวกเตอร์คลื่น $k \cong k_c$ ออกมา จึงเกิดการสร้างโฟนอนและสร้างอิเล็กตรอนและโฮลอิสระแสดงดังรูปที่ 2.11 (ข) และเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนจะได้กราฟดังรูป 2.12 (ข)



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน และการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์
 ก. โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง
 ข. โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง

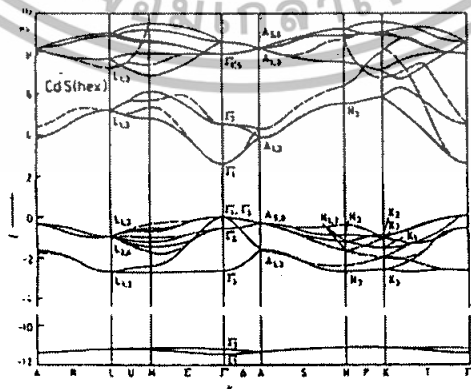
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์
 ก. โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง
 ข. โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีกระบวนการสร้างโฟนอน

2.2.2 โครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์

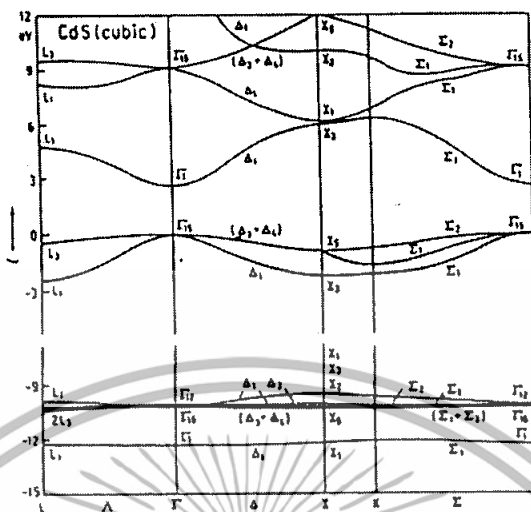
แคดเมียมซัลไฟด์ มีลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงคือ มีการย้ายสถานะพลังงาน ของอิเล็กตรอนจากตำแหน่งสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปจุดต่ำสุดของแถบนำซึ่งอยู่ที่เวกเตอร์คลื่นค่าเดียวกันหรือ ที่ตำแหน่ง Γ ของบริลลันโซนของโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์และเวิร์ทไซท์ ดังรูปที่ 2.13 และ 2.14 โดยที่โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์และโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์มีค่าช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 2.5 และ 2.51 eV ตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ โดยไม่คิดการคัปปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

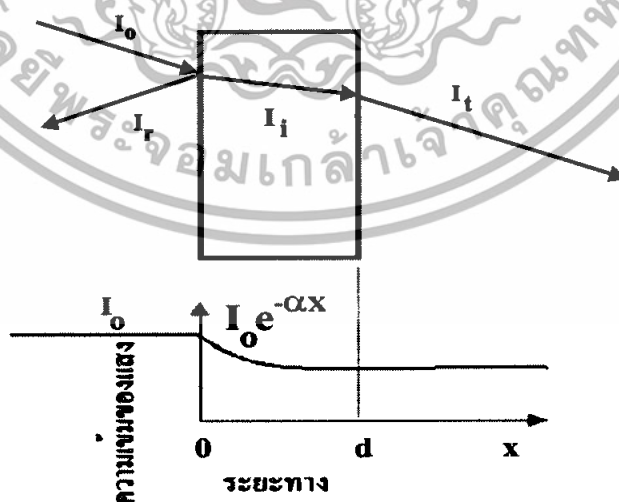
สำนักหอสมุดกลาง ประจวบเกล้าฯ



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์โดยไม่เกิดการคัปปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิต

2.3 การส่งผ่านแสง (งามนิตย์, 2543; จูตินัย, 2546)

การศึกษาวិธีวัดสเปกตรัมการสะท้อนและการส่งผ่านแสงนี้จะกล่าวถึงสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงและองค์ประกอบของการวัดสเปกตรัมการส่งผ่านแสง เมื่อแสงเดินทางไปกระทบฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของฟิล์มบาง บางส่วนของแสงจะเดินทางเข้าไปในแผ่นฟิล์มบางและถูกดูดกลืนดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง

เมื่อ	I_0	คือ ความเข้มแสงตกกระทบแผ่นฟิล์มบาง
	I_R	คือ ความเข้มแสงสะท้อนจากฟิล์มบาง
	I_T	คือ ความเข้มแสงส่งผ่านออกมาจากฟิล์มบาง
	I_i	คือ ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบาง
	R	คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (reflectivity)
	T	คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (transmittance)
	α	คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (absorption coefficient)
	d	คือ ระยะทางที่แสงเดินทางในแผ่นฟิล์มบาง

สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงมีค่าเท่ากับ

$$R = \frac{I_r}{I_0} \quad (2.4)$$

หรือ

$$I_r = RI_0 \quad (2.5)$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางมีค่า

$$I_i = I_0 - I_r = I_0 - RI_0 = (1 - R)I_0 \quad (2.6)$$

เมื่อแสงนี้เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางจะถูกดูดกลืนทำให้ความเข้มแสงภายในแผ่นฟิล์มบางลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลตามระยะทาง ดังนั้นความเข้มแสงที่ส่งผ่านฟิล์มบางมีค่าดังสมการ

$$I_t = I_i e^{-\alpha d} = (1 - R)I_0 e^{-\alpha d} \quad (2.7)$$

ถ้าไม่มีการสะท้อนแสงที่ผิวด้านหลังสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสงจะมีค่าเท่ากับ

$$T = \frac{I_t}{I_0} = (1 - R) e^{-\alpha d} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง

การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำเกิดจากการที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากแสงที่มีพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าแถบช่องว่างพลังงาน แล้วย้ายสถานะพลังงานจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบนำ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงบริเวณที่พลังงานโฟตอนมีค่าน้อยจะมีลักษณะเป็นขอบ แสดงถึงการลดลงของการดูดกลืนแสงอย่างกะทันหัน ขอบลักษณะนี้เรียกว่าขอบการดูดกลืนแสงหรือขอบการดูดกลืนพื้นฐาน (absorption edge or fundamental edge) แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 พลังงานโฟตอนที่ขอบการดูดกลืนแสงมีค่าเท่ากับผลต่างของค่าพลังงานที่วัดจากจุดต่ำสุดของแถบความนำและจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์จุดที่เส้นตรงตัดกับแกนในแนวอนจะให้ค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) วิธีการนี้เป็นการกำหนดค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่นิยมมากที่สุด



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่น โดยเส้นที่บจะแสดงขอบการดูดกลืนพื้นฐาน

การหาค่าของช่องว่างแถบพลังงานสามารถพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (α) ของสารกึ่งตัวนำจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (T) จากรูปที่ 2.15 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบจากด้านซ้ายของฟิล์มบาง (I_0) ความเข้มแสงภายในฟิล์มบางจะลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงโดยทั่วไป (R) มีค่าน้อยมากจะได้

$$T = e^{-\alpha d} \quad (2.9)$$

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln T \quad (2.10)$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กล่าวมา เป็นการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง โดยไม่คิดถึงการสะท้อนของแสงสำหรับกรณีการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง เนื่องจากการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับค่าช่องว่างแถบพลังงาน ซึ่งมีลักษณะเป็นพาราโบลาช่องว่างแถบพลังงานของแผ่นฟิล์มบางประมาณได้ โดยการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ซึ่งจะถูกลดลงเมื่อแสงที่ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบางมีค่าพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าของแถบพลังงานต้องห้ามที่ขอบของการดูดกลืนค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะมีค่าเป็น

$$(\alpha hv)^2 = A(hv - E_g) \quad (2.11)$$

เมื่อ A คือ ค่าคงที่ และสมการที่ (2.11) ใช้กับสารที่มีสถานะพลังงานแบบตรง

$$(\alpha hv)^{1/2} = B(hv - E_g) \quad (2.12)$$

เมื่อ B คือ ค่าคงที่ และสมการที่ (2.15) ใช้กับสารที่มีสถานะพลังงานแบบเฉียง

2.4 สมบัติทางไฟฟ้า (งามนิตย์, 2543; จูติน้อย, 2546)

จากทฤษฎีแถบพลังงานนั้นสารกึ่งตัวนำที่มีขนาดช่องว่างแถบพลังงานใหญ่เกินกว่า 2 อิเล็กตรอน โวลต์ พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิห้องไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดพาหะอิสระได้ ดังนั้นพาหะอิสระของสารกึ่งตัวนำประเภทนี้จึงน้อยส่วนใหญ่มาจากระดับพลังงานที่ปรากฏในช่องว่างแถบพลังงาน ซึ่งจะเป็นทั้งระดับพลังงานผู้ให้และระดับพลังงานผู้รับหรือศูนย์กลางการรวมตัว (recombination center) ดังนั้นสภาพนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิใดๆของสารกึ่งตัวนำจึงขึ้นกับความหนาแน่นของพาหะอิสระเหล่านี้

2.4.1 สภาพนำไฟฟ้า

เมื่อใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปในสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนำจะตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนกลายเป็นกระแสไฟฟ้าจากกฎของโอห์ม (Ohm's law) สภาพนำไฟฟ้า (electrical conductivity: σ) คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (current density : J) ต่อสนามไฟฟ้า (electric field) ที่ใส่เข้าไปดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J = \sigma E = e(\mu_n n + \mu_p p)E \tag{2.13}$$

เมื่อ μ_n, μ_p คือ สภาพคล่องของอิเล็กตรอนและโฮล ตามลำดับ
 n คือ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน
 p คือ ความหนาแน่นของโฮล

ส่วนกลับของสภาพนำไฟฟ้า เรียกว่า สภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity: ρ) ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{e(\mu_n n + \mu_p p)} \tag{2.14}$$



รูปที่ 2.17 แสดงการให้แรงดันกับสารตัวอย่าง

ถ้ามีแท่งสารกึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งให้แรงดันและเกิดกระแส I แล้วจะได้ว่า

$$J = \frac{I}{A} \tag{2.15}$$

และ

$$E = \frac{V}{L} \tag{2.16}$$

สามารถเขียนสมการที่(2.16) ใหม่ได้เป็น

$$\frac{I}{A} = \sigma \left(\frac{V}{L} \right) \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$V = \left(\frac{L}{\sigma A} \right) I = \left(\frac{\rho L}{A} \right) I = IR \quad (2.18)$$

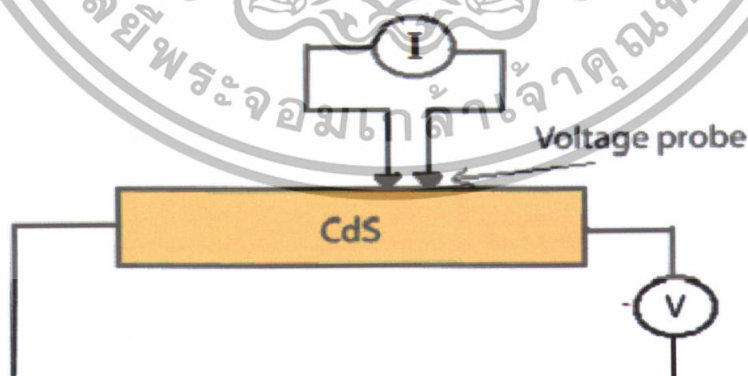
สมการที่ (2.18) คือ กฎของโอห์มสำหรับสารกึ่งตัวนำ ความต้านทานเป็นฟังก์ชันกับสภาพความต้านทาน หรือสภาพนำไฟฟ้าพอๆกับมิติรูปทรงทางเรขาคณิตของสารกึ่งตัวนำ

2.4.2 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า

วิธีการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำสามารถทำได้หลายวิธีทั้งวิธีที่ใช้ส่วนของอุปกรณ์ต่อเข้าสัมผัสกับชิ้นสารตัวอย่างและวิธีที่ไม่ต้องสัมผัสโดยตรงสำหรับวิธีที่จะกล่าวถึงในที่นี่เป็นวิธีที่ใช้การสัมผัสกับชิ้นสารตัวอย่าง ซึ่งทำโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในชิ้นสารตัวอย่างแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดบนชิ้นสารนั้น

2.4.2.1 การวัดความต้านทานจำเพาะโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น

การวัดด้วยวิธีนี้มีลักษณะการวัดคล้ายคลึงกับการวัดโดยตรงข้อแตกต่างตรงที่ลักษณะของขั้วไฟฟ้าของการวัดศักย์ไฟฟ้าจะวัดบนสารตัวอย่าง ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.19 วิธีการวัดชนิดนี้เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นจากแบบแรก เพื่อที่จะกำจัดศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อหัวท้ายของผิวสัมผัสให้น้อยลง และสามารถตรวจสอบความสกปรกบนพื้นผิวของชิ้นสารตัวอย่างได้ด้วย



รูปที่ 2.18 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น

ข้อจำกัดของการวัดด้วยวิธีนี้ คือ จะต้องวัดบนสารตัวอย่างที่มีความหนาสม่ำเสมอและมีรูปทรงเรขาคณิตแน่นอน โดยพยายามปล่อยให้กระแสผ่านเข้าไปในสารตัวอย่างให้น้อยที่สุดเพื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนภายในสารเพราะค่าความต่างศักย์ที่วัดได้อาจจะไม่ถูกต้องอีกทั้งในการวัดทุกครั้งจะต้องใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงและจุดที่ต้องการวัดศักย์ไฟฟ้าควรจะอยู่ห่างจากจุดที่ปล่อยกระแสเข้าและออกพอสมควรเพื่อป้องกันสารเจือเข้าไปทำการรวมตัวระหว่างจุดที่กำลังจะวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า หากมีสารเจือเข้ามารวมตัวที่บริเวณที่วัดนี้จะมีผลทำให้เกิดการรวมตัวกับพาหะข้างน้อย (minority carriers) บริเวณนั้น ทำให้การวัดค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้สูงเกินความเป็นจริง นอกจากนี้ควรคำนึงถึงความสม่ำเสมอของเส้นสมศักย์ (equi-potential lines) โดยการวัดที่บริเวณตรงจุดที่คิดว่าเป็นเส้นสมศักย์นั้นสม่ำเสมอ (ตรงกลางของสารตัวอย่าง) สัดส่วนระหว่างระยะขั้วที่วัดศักย์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ตรงจุดที่ปล่อยกระแสเข้า-ออกจะต้องมีค่ามากกว่าสามเท่า $L/A > 3$ เมื่อ L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วที่วัดศักย์ไฟฟ้า และ A คือ พื้นที่บริเวณให้กระแสข้อที่ควรคำนึงถึงอีกประการก็คือ โครงสร้างทางผลึกความีโครงสร้างชนิดใดเป็นรูปลูกบาศก์หรือไม่ ถ้าไม่ใช่จะต้องทราบทิศทางของการวัดว่ากำลังวัดอยู่ในทิศทางหรือระนาบใดของผลึก

ข้อดีของการวัดแบบสองขั้วในหลายๆตำแหน่งนี้จะสามารถแยกสภาพต้านทานไฟฟ้าที่สภาพผิวระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำและความต้านทานจำเพาะภายในของสารกึ่งตัวนำได้

สรุปข้อแนะนำในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะแบบสองขั้วเชิงเส้น

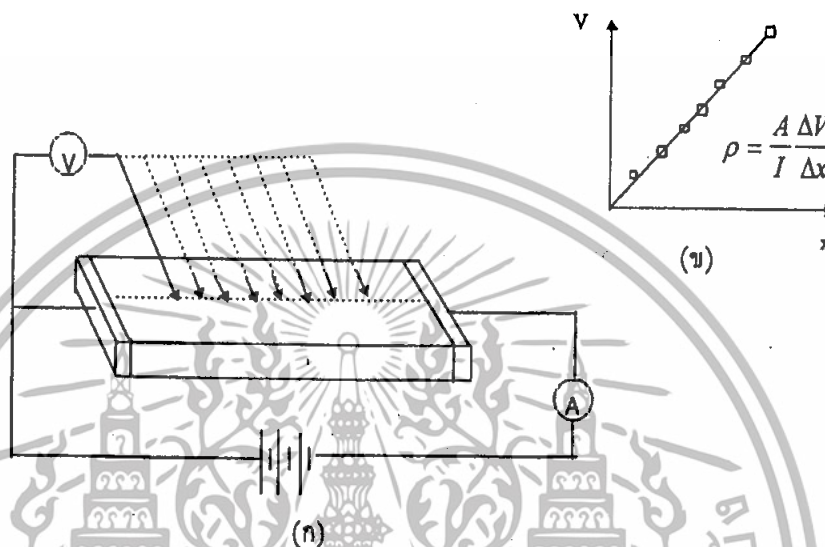
- วัดศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณกึ่งกลางของสารตัวอย่างและห่างจากบริเวณกระแสเข้า-ออกพอสมควร
- โลหะที่นำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าที่ใช้วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าบนสารตัวอย่างนั้น จะต้องเป็นโลหะแข็งและนำไฟฟ้าได้ดี เช่น ทังสเตน เงิน พลาตินัม เป็นต้น
- ขณะที่ทำการวัดสารตัวอย่าง จะต้องทราบระนาบหรือทิศทางของผลึกสารตัวอย่าง ว่ากำลังวัดอยู่ในระนาบหรือทิศทางใดของสารตัวอย่าง
- ผลึกที่ทำการวัดจะต้องมีความสมบูรณ์ไม่เกิดขอบเขตของเกรน (grain boundaries) ที่ผิวและมีความเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งก้อนผลึก

ข้อแก้ไข

- ควรทำการวัดหลายๆจุดและต้องใช้เวลาละมุดระวังเพราะอาจทำให้สารตัวอย่างเกิดความเสียหายได้ซึ่งจะส่งผลไปถึงปรากฏการณ์ภายในสารตัวอย่าง
- ระยะระหว่างขั้วไฟฟ้าควรจะให้สั้นๆเพื่อจะได้วัดตรงจุดที่มีเส้นสมศักย์
- วัดบนสารตัวอย่างที่ใหญ่และมีรูปร่างทรงเรขาคณิตที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาจจะไปด้วยวิธีตรงที่ขั้วหนึ่งและอีกขั้วหนึ่งเลื่อนตำแหน่งออกไปเป็นระยะๆ โดยมีมาตราส่วนบอกระยะแล้วนำมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.20 (ก) และ (ข) ความชันที่ได้จะเป็นค่าความต้านทานจำเพาะทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.19 แสดงการวัดความต้านทานแผ่น โดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น

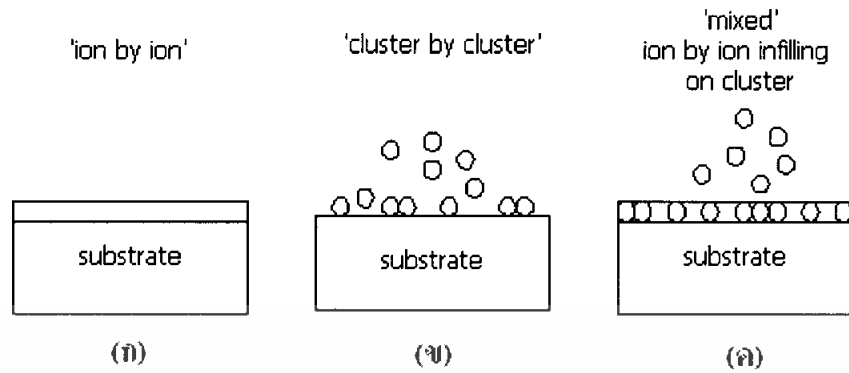
ก. การวัดแบบสองขั้ว โดยมีการเลื่อนระยะที่ขั้วหนึ่ง

ข. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับระยะทางที่ได้จากการวัดชนิดเลื่อนขั้วไฟฟ้า

2.5 การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง CdS ด้วยวิธีการอบสารละลายเคมี (Lee; et.al.2003; Lee, 2004)

ฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีสารตั้งต้นประกอบด้วยแคดเมียมซัลเฟต (CdSO_4) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของแคดเมียมไอออน (Cd^{2+}) ไทโอยูเรีย ($\text{SC}(\text{NH}_2)_2$) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของซัลเฟอร์ไอออน (S^{2-}) และแอมโมเนีย (NH_3) โดยเลือกใช้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นให้เหมาะสม ได้ค่า pH ประมาณ 10-11 และอุณหภูมิประมาณ $80-90^\circ\text{C}$ โดยในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง CdS คาดว่าจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แผนภาพแสดงกลไกในการเกิดผลึกเป็นฟิล์มบางที่เตรียมโดยใช้เทคนิคการอบสารละลายทางเคมี
 ก. กระบวนการเซทเทอโรจีเนียส
 ข. กระบวนการโฮโมจีเนียส
 ค. กระบวนการผสมระหว่างเซทเทอโรจีเนียสและโฮโมจีเนียส

2.5.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยา

ฟิล์มบาง CdS เกิดจากเกลือแคดเมียมในสารละลาย NH₃ โดยเกิดปฏิกิริยาดังนี้



จาก (2.19) เกลือ CdSO₄ แยกตัวให้ Cd²⁺ จะรวมตัวกับแอมโมเนีย NH₃ กลายเป็นไอออนเชิงซ้อนที่เรียกว่าแคดเมียมเตตระแอมมีน (cadmium tetraammine complex ion; Cd(NH₃)₄²⁺) จากนั้นแยกตัวให้ Cd²⁺ แล้วรวมตัวกับ S²⁻ เกินกว่าค่าผลของความสามารถในการละลาย (solubility product; K_{sp}) ของ CdS ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.1x10⁻²⁸ ก็ปรากฏคอลลอยด์ของแคดเมียมซัลไฟด์ขึ้นในสารละลาย

โดยปกติ NH₃ จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความเข้มข้นของ Cd²⁺ ดังนั้นจึงนิยมใช้ NH₃ ที่มีความเข้มข้นมากเพื่อไม่ให้ความเข้มข้นของ Cd²⁺ และ S²⁻ มีค่าเกินกว่าค่าผลของความสามารถของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การละลายของ $\text{Cd}(\text{OH})_2$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.2×10^{-14} เพราะจะทำให้เกิดเป็นคอลลอยด์ของ $\text{Cd}(\text{OH})_2$ แทนที่จะเป็น CdS ดังสมการ (2.22)



การเกิดฟิล์มบาง CdS ประกอบด้วยสามกลไกด้วยกัน คือ

1. การจับ $\text{Cd}(\text{OH})_2$ ที่ผิวแผ่นรองรับ



ซึ่งปฏิกิริยาสามารถผันกลับได้ความเข้มข้นของ NH_3 ประมาณ 0.8 – 2.5 โมลาร์

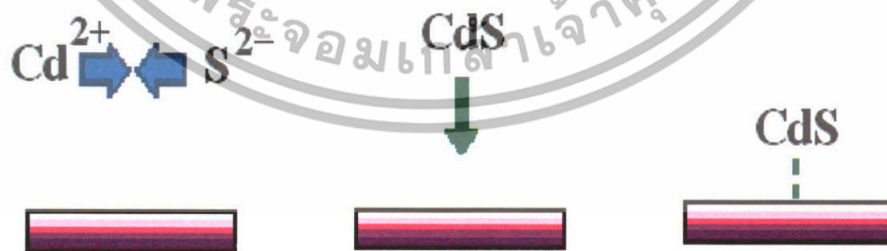
2. การจับไทโอยูเรียเอาไว้โดยทำให้เกิดองค์ประกอบเชิงซ้อนที่ไม่เสถียร



3. การเกิด CdS และการเกิดที่อยู่นิวใหม่โดยการแตกตัวขององค์ประกอบเชิงซ้อน

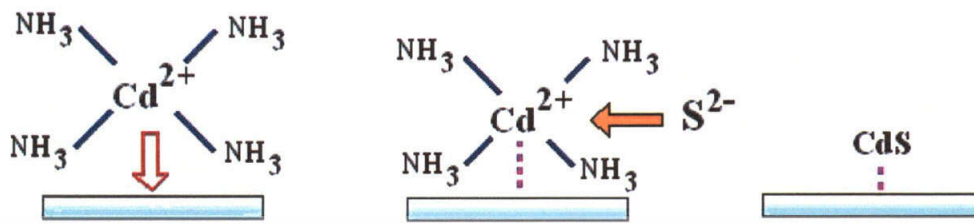


การเกิดฟิล์มบางในสมการ (2.19) ถึง (2.21) เรียกว่า การตกผลึกแบบโฮโมจีเนียส (homogenous precipitation) หรือ การตกผลึกแบบกลุ่มก้อนต่อกัน (cluster by cluster) ดังแสดงตามรูปที่ 2.24 ส่วนสมการ (2.22) ถึง (2.24) เรียกว่าแบบเฮเทอโรจีเนียส (heterogenous precipitation) หรือการตกผลึกแบบไอออนต่อไอออน (ion by ion) ดังแสดงตามรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.21 แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับ โดยกระบวนการโฮโมจีเนียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับโดยกระบวนการเฮทเทอโรจีเนียส

2.5.2 การเกิดฟิล์มบาง CdS บนแผ่นรองรับ

เนื่องจากความสามารถในการละลายของ CdS มีค่าต่ำ ดังนั้นการควบคุมการตกผลึกสามารถทำได้โดยการควบคุม Cd^{2+} ต้องเลือกตัวแทนเชิงซ้อน (complex agent) ซึ่งในที่นี้จะใช้ NH_3 เพื่อควบคุมความเข้มข้นของ Cd^{2+} โดยให้ NH_3 รวมตัวกับ Cd^{2+} กลายเป็นไอออนเชิงซ้อนคังสมการ (2.19) ถึง (2.26) ซึ่งไอออนเชิงซ้อนจะแตกตัวให้ไอออนอิสระคังสมการ



เมื่อพิจารณาค่าของ K_{sp} และค่าคังที่สมดุล K_c จะเห็นว่า CdS สามารถตกผลึกได้ง่ายโดยทั่วไปการเกิดฟิล์มบาง CdS มักเกิดผลึก แบบ โฮโมจีเนียสและ แบบเฮทเทอโรจีเนียส ซึ่งการเกิดแบบ โฮโมจีเนียส มักจะพบมากในช่วงท้ายของการเกิดฟิล์มบางมีผลทำให้ฟิล์มบางมีคุณภาพลดลงกล่าวคือ โปร่งแสงน้อยลง และมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ผิวด้านนอกหตุคร่อนได้ง่าย

2.6 ทฤษฎีของคลื่นไมโครเวฟ (Krokida and Massulis, 1999)

ไมโครเวฟ (microwave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) ชนิดหนึ่งมีอยู่แล้วในธรรมชาติ คลื่นมีความถี่ 100 MHz – 10 GHz การนำไมโครเวฟมาใช้งานด้านทำให้โมเลกุลเกิดการกลับขั้วไปมาอย่างรวดเร็วทำให้โมเลกุลเสียดสีกันเกิดแรงเสียดทาน เกิดความฝืดและเกิดความร้อนขึ้น กล่าวคือโมเลกุลจะเกิดการกลับตัวในช่วงคลื่นบวกเป็นจำนวนครั้งต่อวินาทีและช่วงลบของคลื่นไมโครเวฟเข้ามาโมเลกุลก็จะเกิดการกลับตัวอีกแล้วโมเลกุลก็เกิดการสลับตัวทำให้เกิดการชนกันและเสียดสีกัน เกิดแรงเสียดทาน เกิดความฝืดและเกิดความร้อน จากโมเลกุลภายในสารแล้วค่อยส่งความร้อนออกมาด้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของไมโครเวฟ 3 ประการ คือ

1. คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถส่งผ่านโลหะได้
2. การทะลุผ่านของคลื่น (penetration) คลื่นสามารถทะลุผ่านวัสดุบางชนิดได้ เช่น แก้ว (ยกเว้นกระจกที่เจียรนัยที่มีส่วนผสมของตะกั่วซึ่งเป็นโลหะ) แก้วทนความร้อน เครื่องกระเบื้องเคลือบเครื่องถ้วยชามเคลือบกระดาษและพลาสติก เป็นต้น
3. คลื่นไมโครเวฟสามารถดูดคลื่นได้ด้วยวัสดุที่มีส่วนประกอบของน้ำอยู่ทำให้กำลังของคลื่นลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์โดยวิธีออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟที่ทำการเจือด้วยบิสมัทบนกระจกสไลด์ที่มีปริมาณสารเจือ $CdCl_2 : Bi$ เท่ากับ 3 wt %, 5 wt %, 7 wt %, 10 wt % และ 20 wt % พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ ได้แก่ ศึกษาโครงสร้างและขนาดของเกรนของฟิล์มด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ศึกษาการส่องผ่านทางแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยวัดความต้านทานแผ่นด้วยวิธีสองขั้วเชิงเส้นและสี่ขั้วเชิงเส้น ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการทดลองและเครื่องมือการวิจัย (งานนิศย์, 2543; จูตินัย, 2546)

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์

- สารตั้งต้นที่ใช้ประกอบไปด้วย

อะซิโตน (CH_3COOH)

เอทานอล (C_2H_5OH)

น้ำปลอดประจุ (DI water)

- แผ่นกระจกสไลด์ 12 x 75 มิลลิเมตร

- ปีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร

- เครื่องอัลตราโซนิก

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง $CdS : Bi$ โดยวิธีการออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

- สารตั้งต้นที่ใช้ประกอบไปด้วย

แคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$)

ไทโอยูเรีย ($SC(NH_2)_2$)

แอมโมเนียม (NH_4OH)

บิสมัท ($Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$)

- น้ำปลอดประจุ (DI water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระดาษลวดใช้เป็นแผ่นฐานรองรับฟิล์มบาง
- บีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร
- เตาให้ความร้อน
- เทอร์โมมิเตอร์
- เครื่องชั่งดิจิตอล (ที่มีตำแหน่งทศนิยมละเอียดถึง 4 ตำแหน่ง)
- แท่นยึด
- เตาไมโครเวฟ

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบางที่เตรียมได้

3.1.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

ในการศึกษาโครงสร้างของผลึกของฟิล์มบาง โดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 1830 รังสีเอ็กซ์ย่าน $\text{Cu}_K\alpha$ มีความยาวคลื่น 1.5418 อังสตรอม ซึ่งใช้กระแส 30 มิลลิแอมป์และความต่างศักย์ 25 กิโลโวลต์

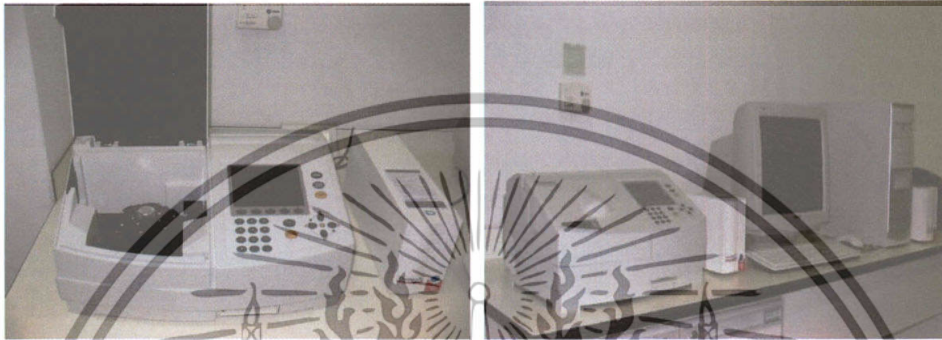


รูปที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์: D8 Advance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการส่งผ่านทางแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ในการศึกษาการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Thermo electron corporation (He λ ions α) ช่วง 190-1100 นาโนเมตร



รูปที่ 3.2 แสดงภาพถ่ายเครื่องUV-VIS ยี่ห้อ Thermo electron corporation (He λ ions α)

3.1.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานแผ่น

- อิเล็กโตรมิเตอร์ยี่ห้อ Keithley รุ่น 610 CR
- กล้องอลูมิเนียม
- สายโคแอกเซียลและคอนเนคเตอร์แบบ BNC
- หลอดฮาโลเจนชนิด ELH (120 โวลต์ , 300 วัตต์)



รูปที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายเครื่องอิเล็กโตรมิเตอร์ยี่ห้อ Keithley รุ่น 610 CR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 วิธีการทดลอง

1. นำฟิล์มบาง CdS:Bi ทั้งที่ไม่มีกรแอนนีสและที่มีกรแอนนีสที่ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที นำมาทำรอยต่อ โดยใช้กาวเงินแฉ้มลงผิวหน้าของฟิล์มบางจำนวน 2 เส้นขนานกัน เพื่อทำเป็นขั้วไฟฟ้า
2. ทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปที่กาวเงินทั้ง 2 เส้นจากนั้นวัดค่ากระแสที่แหล่งจ่ายไฟตรงให้กับวงจร
3. นำแผ่นชิ้นงานใส่กล่องโลหะเพื่อลดสัญญาณรบกวน แล้วบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมขั้วทั้งสองพร้อมทั้งบันทึกค่ากระแสที่ไหลภายในวงจรกระแสที่วัดได้อยู่ในช่วง 10^7-10^8 แอมแปร์
4. เพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับวงจร พร้อมทั้งบันทึกค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงกับกระแส โดยทำการวัดค่าความต้านทานประมาณ 10 ค่า
5. ฉายแสงด้วยหลอดไฟชนิดฮาโลเจน ELH ขนาด 120 โวลต์ 300 วัตต์ ที่ค่าความเข้มแสงประมาณ 950 ลักซ์ และทำการวัดค่าความต่างศักย์กับกระแส
6. ทำการเขียนกราฟระหว่างกระแสในแนวแกน x และความต่างศักย์ในแนวแกน y
7. จากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์สามารถหาค่าความต้านทานแผ่นได้จากสมการ

$$R_s = \frac{V}{I} \frac{(W)}{(L)}$$

โดยที่ W คือ ความกว้างของฟิล์มบาง

L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสอง

$\frac{V}{I}$ คือ ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน

3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง CdS:Bi ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

3.2.1 การเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ (งามนิตซ์และคณะ , 2543 ; จูตินัยและคณะ, 2546)

การเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CdS:Bi ด้วยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟที่เป็นกระจกสไลด์ที่มีขนาดความกว้าง 12 มิลลิเมตร และความยาว 75 มิลลิเมตร มีขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปทำความสะอาดด้วยไตรคลอโรเอทที่สิ้น
2. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยอะซีโตนในเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที
3. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเอทานอลในเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที
4. แผ่นกระจกสไลด์ไปกัดด้วยกรดกัดแก้วหรือไฮโดรฟลูออริก 10% เป็นเวลา 10 นาที และล้างด้วยน้ำปอดประจุ
5. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ในน้ำปอดประจุด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 10 นาที จำนวน 3 ครั้ง
6. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปอบในเตาที่มีอุณหภูมิประมาณ 90°C เป็นเวลา 30 นาที
7. หลังจากทำการอบแผ่นกระจกสไลด์แล้วจึงนำแผ่นกระจกสไลด์ที่ได้นี้ไปทำการเคลือบฟิล์ม CdS : Bi ด้วยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

3.2.2 การเตรียมฟิล์มบาง CdS:Bi โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

(งานนิพนธ์และคณะ, 2543 ; จูตินัยและคณะ, 2546)

ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS:Bi โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งสารตั้งต้นแคดเมียมคลอไรด์ $[\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}]$ 0.6851 กรัม ไทโอยูเรีย $[\text{SC}(\text{NH}_2)_2]$ 0.6850 กรัม และเตรียมแอมโมเนียมปริมาตร 16.83 มิลลิลิตรและตมน้ำธรรมดาเพื่อนำมาใส่ขามไมโครเวฟให้มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
2. ในกรณีที่เป็น CdS:Bi ที่มีสัดส่วนทางเคมีของ Bi เท่ากับ 3, 5, 7, 10 และ 20 wt% ซึ่งจะสอดคล้องกับ $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 0.0154, 0.0257, 0.0360, 0.0514 และ 0.1028 กรัม ตามลำดับ
3. ละลายแคดเมียมคลอไรด์ลงในน้ำปอดประจุ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง
4. ละลายไทโอยูเรียลงในน้ำปอดประจุ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับแคดเมียมคลอไรด์
5. นำกระจกสไลด์ที่ยึดด้วยแท่งเทฟลอนใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำปอดประจุอยู่ประมาณ 150 มิลลิลิตร
6. เทสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ 10 มิลลิลิตร ตามด้วยแอมโมเนีย และไทโอยูเรียที่เตรียมไว้ลงบีกเกอร์ตามลำดับอย่างรวดเร็ว
7. วัดค่า pH ของสารละลายซึ่งจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 11.4 – 11.6 จากนั้นนำเข้าเตา

ไมโครเวฟทันที ใช้กำลังเท่ากับ 100วัตต์ เป็นเวลา 10 นาทีเป็นจำนวน 6 รอบแล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้นคว้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตการเปลี่ยนแปลงเมื่อครบ 10 นาที เมื่อเคลือบครบจำนวนรอบแล้วให้นำฟิล์มที่เคลือบ ได้ออกจากบีกเกอร์จะพบว่าฟิล์มบางเคลือบติดอยู่บนแผ่นกระจกสไลด์นอกจากนี้ยังมีตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์เกาะอยู่ที่ผิวหน้าของฟิล์มบางและตกตะกอนอยู่ที่ก้นของบีกเกอร์ซึ่งนำมาเทใส่ขวดไว้

8. นำแผ่นกระจกที่เคลือบฟิล์มบางใส่ลงในน้ำปอลดประจุ แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิคนาน 30 นาที จากนั้นเปลี่ยนน้ำปอลดประจุแล้วทำการเขย่าอีก 2 ครั้ง เป็นเวลา 30 นาทีเช่นเดียวกับครั้งแรกเพื่อขจัดตะกอนที่อยู่ผิวหน้าของฟิล์มบางออกให้หมด
9. นำน้ำที่ได้จากการเขย่าด้วยอัลตราโซนิคมากรองตะกอนออก
10. นำฟิล์มบางที่ได้มาทำการเคลือบอีก 3 ครั้ง ตามขั้นตอนที่ 1-8 หลังจากครบ แล้วนำมาเป่าให้แห้งและเก็บในถุงที่ปิดผนึกอย่างดี
11. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์
12. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปวัดการส่งผ่านแสงในช่วง 400 - 800 นาโนเมตร
13. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปวัดค่าความต้านทานแผ่น



รูปที่ 3.4 แสดงภาพถ่ายการเคลือบด้วยเตาไมโครเวฟ

3.2.3 วิธีการแอนนีล (จามนิตย์และคณะ , 2543 ; จูตินัยและคณะ, 2546)

เปิดวาล์วที่ถังก๊าซไนโตรเจนก่อนให้วาล์วละเอียดอยู่ที่ 100 kPa

1. ตรวจสอบวาล์วหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ให้อยู่ในตำแหน่งปิด(บิดไปทางขวามือ)
2. เสียบปลั๊กไฟปั๊มพ์คู่อากาศ เพื่อให้ปั๊มพ์ทำงาน ตรวจสอบสายยางระบายอากาศ

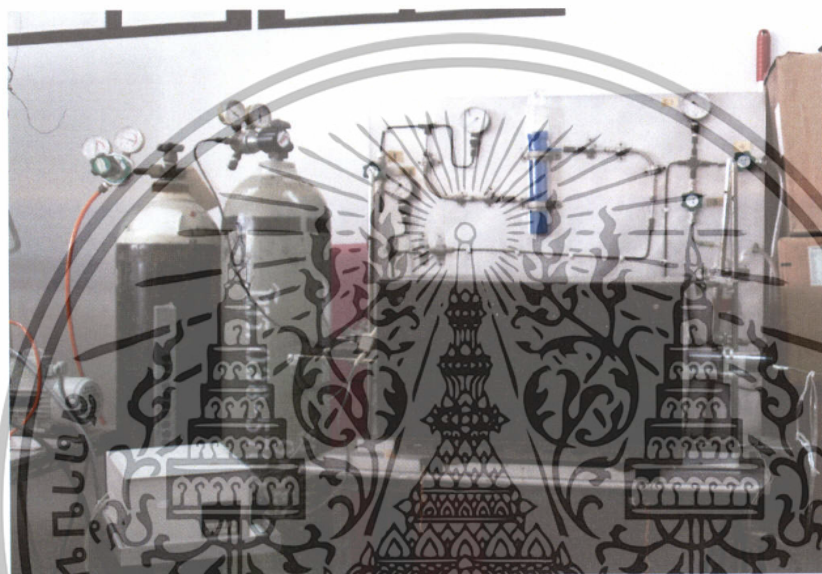
ออกสู่ภายนอกห้อง จากนั้นจึงค่อยๆ เปิดวาล์วหมายเลข 4 ช้าๆ เพื่อทำการดูดอากาศออกแล้วจึงค่อยปิดวาล์วหมายเลข 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปิดวาล์วหมายเลข 1 ชั่วๆ โดยให้สเกลใน G1 ไม่เกิน 4Psi (ไม่เช่นนั้นนั้นหลอดซีลิคาเจลจะระเบิดได้) ให้เปิดวาล์วหมายเลข 2 ต่อเนื่องทำให้สเกลใน G3 จะเพิ่มขึ้น
4. พยายามปรับวาล์วหมายเลข 1 ให้ก๊าซไนโตรเจนไหลช้าๆ โดยดูจากสเกล G3 จะเพิ่มขึ้นจนเต็มสเกล แล้วจึงปิดวาล์วหมายเลข 1 และ 2
5. ทำการดูดอากาศออกจากท่อแก้วโดยการเปิดวาล์วหมายเลข 4 จนสเกล G3 ลดลงต่ำสุด
6. ปิดวาล์วหมายเลข 4
7. เริ่มทำ 3, 4 และ 5 ชั่วตามลำดับ อีก 2 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มี ก๊าซออกซิเจนเหลืออยู่
8. ปิดวาล์วหมายเลข 4
9. เปิดวาล์วหมายเลข 1 และ 2 ให้แก๊สไหลเข้าในท่อแก้วจนความดันในสเกล G3 เพิ่มขึ้น เกือบเป็นศูนย์ แล้วจึงเปิดวาล์วหมายเลข 3 ปล่อยให้ฟองอากาศผุดขึ้นมาอย่างช้าๆ ส่วนสเกล G1 ต้องไม่เกิน 4Psi ซึ่งจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป
10. คอยตรวจสอบวาล์วหมายเลข 1 อย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้สเกล G1 เพิ่มขึ้นสูงเกินไป หรือ ลดต่ำลงจนเกินไป จากนั้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับเตาตามที่ต้องการ เพื่อเป็นการรักษาอุณหภูมิของเตาให้คงที่ จะต้องใช้เซรามิกไฟเบอร์ (ceramic fiber) อุดที่หัวเตาและท้ายเตา เพื่อป้องกันการไหลของอากาศเย็นเข้าไปในเตา
11. กดปุ่มโหมด ให้ไฟขึ้นที่ปุ่มโหมด แล้วกดปุ่มขึ้นลง เพื่อทำการปรับอุณหภูมิตามที่ต้องการ
12. ใช้เวลาแอนนีส 20 นาที เมื่อครบแล้ว ให้ปิดสวิทช์ของแหล่งจ่ายไฟ แล้วเอาเซรามิกไฟเบอร์ (ceramic fiber) ออก (ในขั้นตอนนี้ควรสวมถุงมือและหน้ากาก เพื่อความปลอดภัยจากเซรามิกไฟเบอร์ (ceramic fiber))
13. เมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 100°C ให้ทำการปิดวาล์วทุกตัวและเปิดจุดที่หัวท้ายเตาเอาสารตัวอย่างออก
14. เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ จึงเริ่มทำการจับเวลา 20 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่จะใช้ในการแอนนีส
15. ปิดสวิทช์ของแวนิแอกไปที่เลขศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ ในการแอนนิลมีค่าเท่ากับ 300°C 400°C 500°C ต้องรอให้ อุณหภูมิตกลงถึง 100°C จึงจะสามารถปิดวาล์วที่บอร์ดทั้งหมดปิดวาล์วละเอียด (สี่ คำ) และวาล์วหยาบ
17. จากนั้นรอให้เตาเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง นำสารตัวอย่างออก



รูปที่ 3.5 แสดงระบบเตาแอนนิลที่สามารถใช้งานได้ถึง 600°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ลักษณะของฟิล์มบาง Cds: Bi ที่เตรียมได้โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

จากการสังเกตการเตรียมฟิล์มบาง Cds โดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ พบว่าฟิล์มที่ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สังเกตได้จากสีของสารละลายในบีกเกอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทันทีหลังจากเติมไทโอยูเรียลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายของเกลือแคดเมียมซัลเฟต โดยสารละลายจะปรากฏสีขาวขุ่นแล้วเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนและสีเหลืองเข้มอย่างรวดเร็วโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 20 วินาทีโดยใช้คลื่นไมโครเวฟในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 60 นาที จึงนำฟิล์มบางขึ้นจากสารละลาย พบว่ามีอนุภาคแคดเมียมซัลไฟด์บางส่วนที่จับตัวเป็นตะกอนเกาะอยู่ที่ผิวของฟิล์มบางเป็นจำนวนมากแต่หลังจากเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิกแล้วนำไปแห้งด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์จะสังเกตเห็นว่าฟิล์มบาง Cds ที่เตรียมได้ มีความเรียบสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น มีสีเหลืองส้ม มันวาว แสดงไว้ดังรูป 4.1 ซึ่งพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของผู้อื่นที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้ว (งามนิตย์และคณะ, 2543 ; จูตินัยและคณะ, 2546; Dona and Herrero, 1994, 1995)

รูปที่ 4.1 แสดงฟิล์มบาง Cds ที่เตรียมจากสารตั้งต้นเป็นผลึกผงที่มีความบริสุทธิ์สูง(99.999%) โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีก

4.1.1 फिल्मบาง CdS:Bi ที่เตรียมด้วยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

จากการสังเกตการเตรียมฟิล์มบาง CdS:Bi พบว่าฟิล์มบาง CdS:Bi เกิดปฏิกิริยา โฮโมจีเนียสที่ค่อนข้างเร็ว ซึ่งสามารถสังเกตได้จากสีสารละลายจะเปลี่ยนจากสีขาวขุ่นไปเป็นสีเหลืองส้ม ในระยะเวลาประมาณ 10-15 วินาที โดยลักษณะของฟิล์มบางที่เคลือบติดกระจกสไลด์จะมีความคงตัวดีอยู่เมื่อนำไปเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิก แล้วเป่าให้แห้งด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์ สังเกตเห็นได้ว่าฟิล์มบางมีลักษณะผิวหน้าที่เรียบเป็นเนื้อเดียวกันสม่ำเสมอ มีความหนา และมีความมันวาว จากนั้นนำเอาฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของBi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

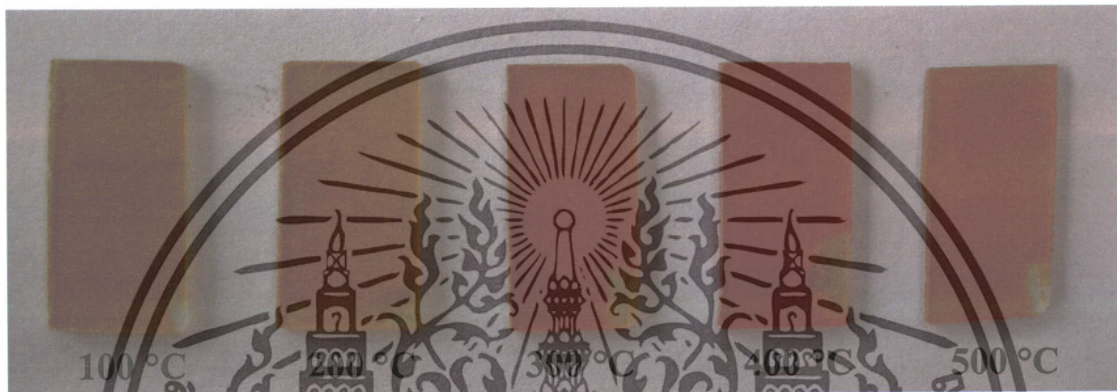


รูปที่ 4.3 แสดงผงตะกอน CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมได้จากวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 फिल्मบาง CdS:Bi เมื่อแอนนिलที่อุณหภูมิต่างๆ

แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ที่แอนนिलที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นฟิล์มบางจะมีสีเหลืองส้มและมีความเป็นมันวาวลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิแอนนिल 300 °C



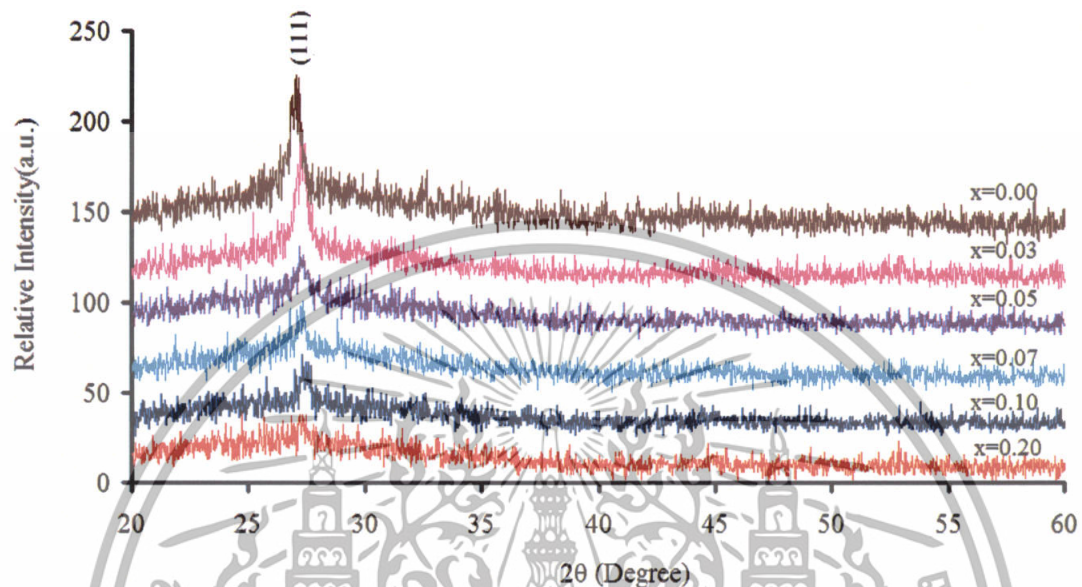
รูปที่ 4.4 แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อมีการแอนนिलที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 4.5 แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อมีการแอนนिलที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาสมบัติการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

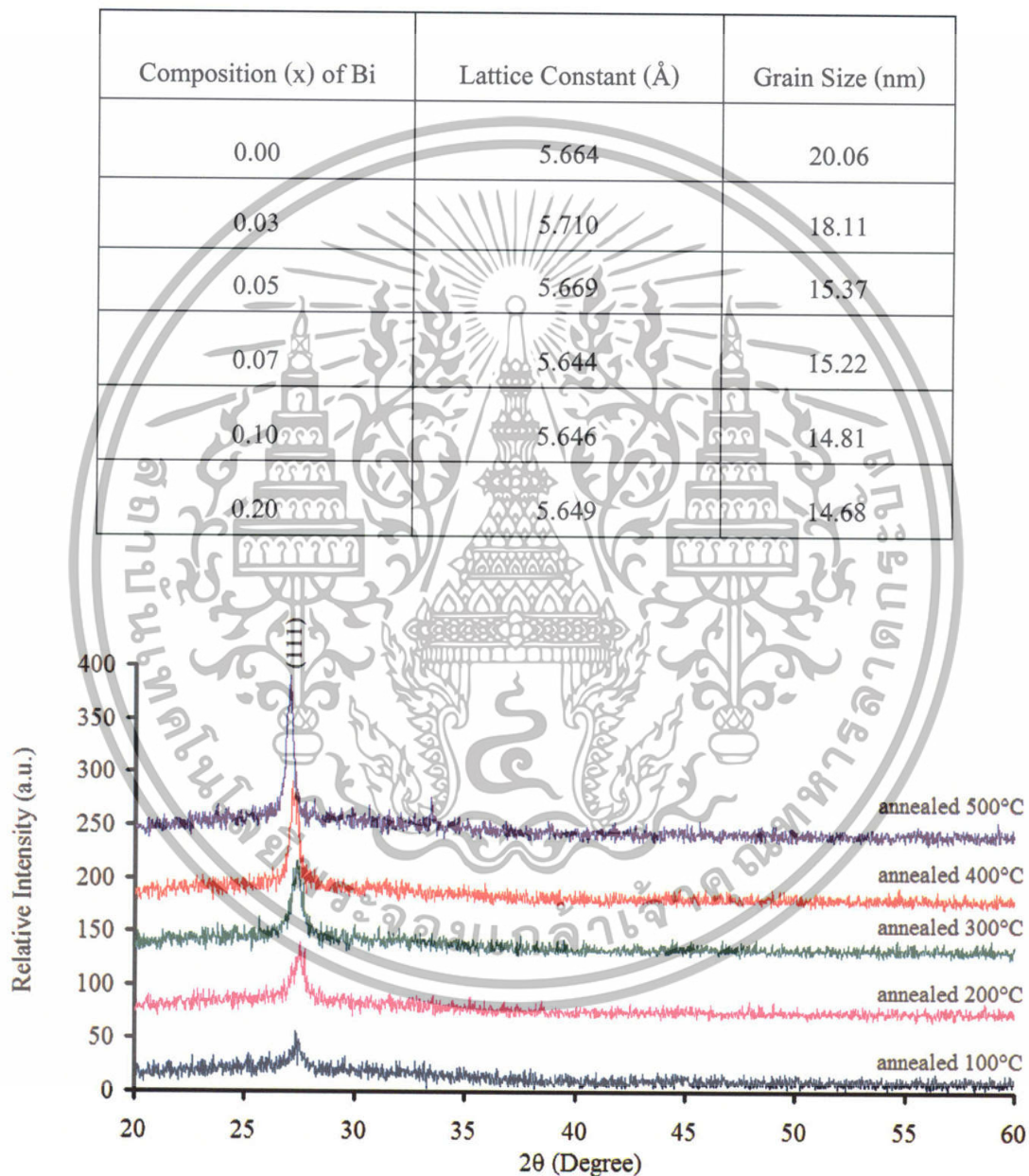


รูปที่ 4.6 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ ที่เตรียมโดยวิธีออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีก

จากรูปที่ 4.6 ที่แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS:Bi จะเห็นว่าความเข้มข้นของฟลักซ์มีการเจือ Bi ในปริมาณมากขึ้นเท่าใด ความเข้มของฟลักซ์จะลดลง โดยมีทิศทางการจัดเรียงตัวในระนาบ (111) ทุกปริมาณการเจือ

จากการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ แสดงให้เห็นว่าฟิล์มบาง CdS นั้นเป็นโครงสร้างแบบคิวบิก (ซิงค์เบลนด์) ไม่ว่าจะมียุทธศาสตร์การเจือด้วย Bi เท่าใดก็ตาม

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆ ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผง CdS ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล

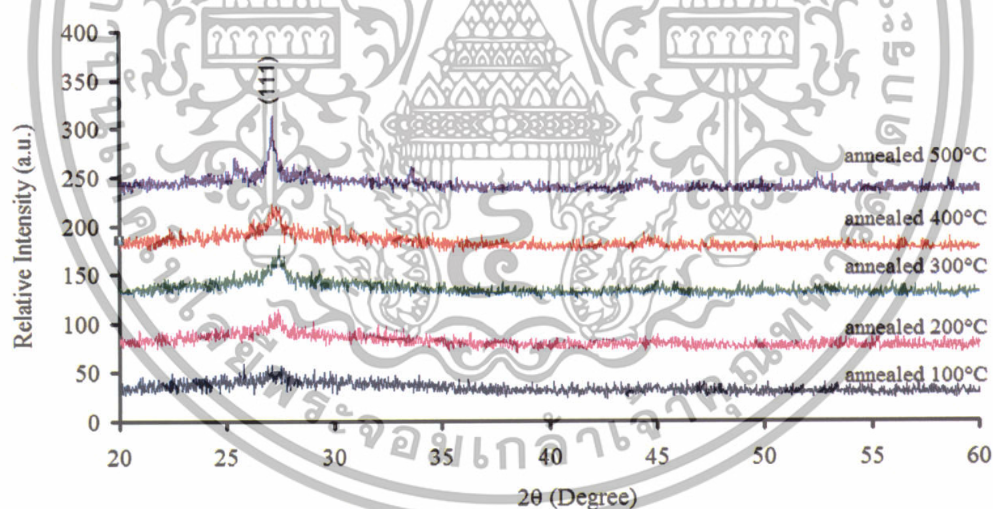


รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS : Bi ($x = 0.00$) เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนिलและเมื่อมีการแอนนिलที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	Lattice Constant (Å)	Grain Size (nm)
As-deposited	5.71	18.00
100	5.65	10.80
200	5.65	10.20
300	5.65	14.00
400	5.68	22.22
500	5.71	27.25

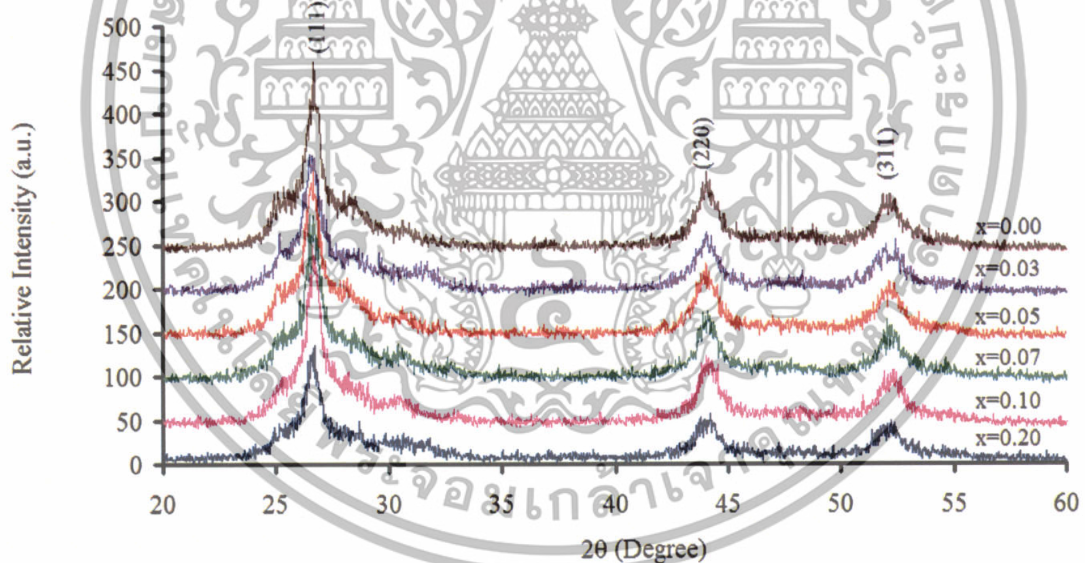


รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS : Bi ($x = 0.07$) เมื่อไม่มีการแอนนिलและมีการแอนนिलที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ในกรณี
ที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผง CdS เมื่อไม่มีการแอนนีส และเมื่อมีการแอนนีสที่
อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา
20 นาที

Annealing Temperature (°C)	Lattice Constant (Å)	Grain Size (nm)
100	5.638	12.85
200	5.617	15.30
300	5.623	16.94
400	5.695	23.10
500	5.575	39.76



รูปที่ 4.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผงตะกอน CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x)
ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมได้จากวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

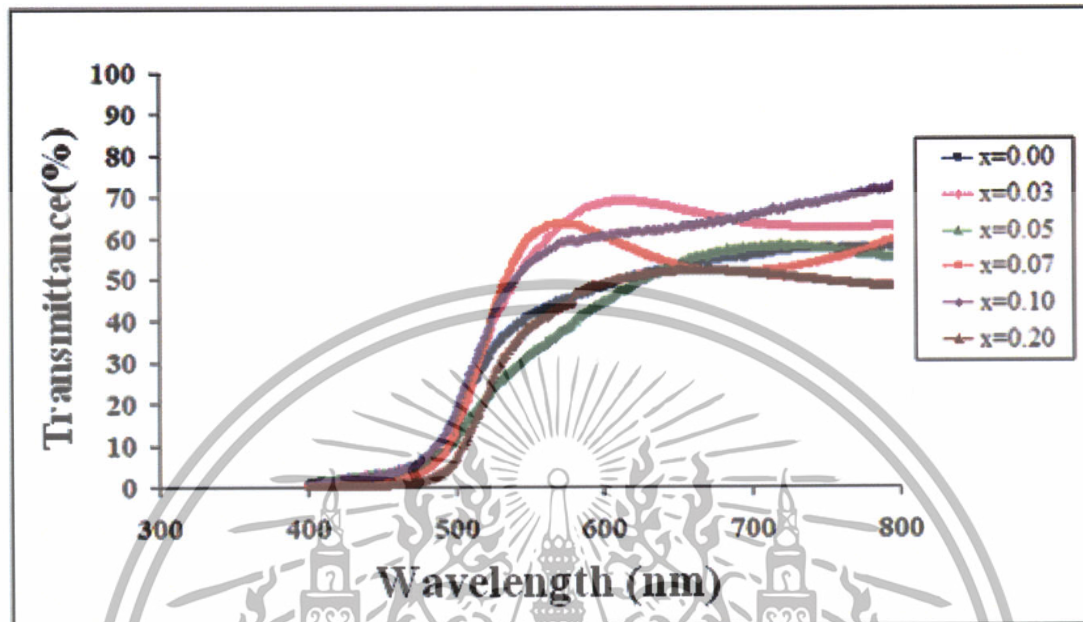
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าคงที่ของผลึก, ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผง CdS ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

Composition (x) of Bi	Lattice Constant (Å)	Grain Size (nm)
0.00	5.817	21.96
0.03	5.812	19.72
0.05	5.811	19.63
0.07	5.797	18.30
0.10	5.799	17.77
0.20	5.809	17.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

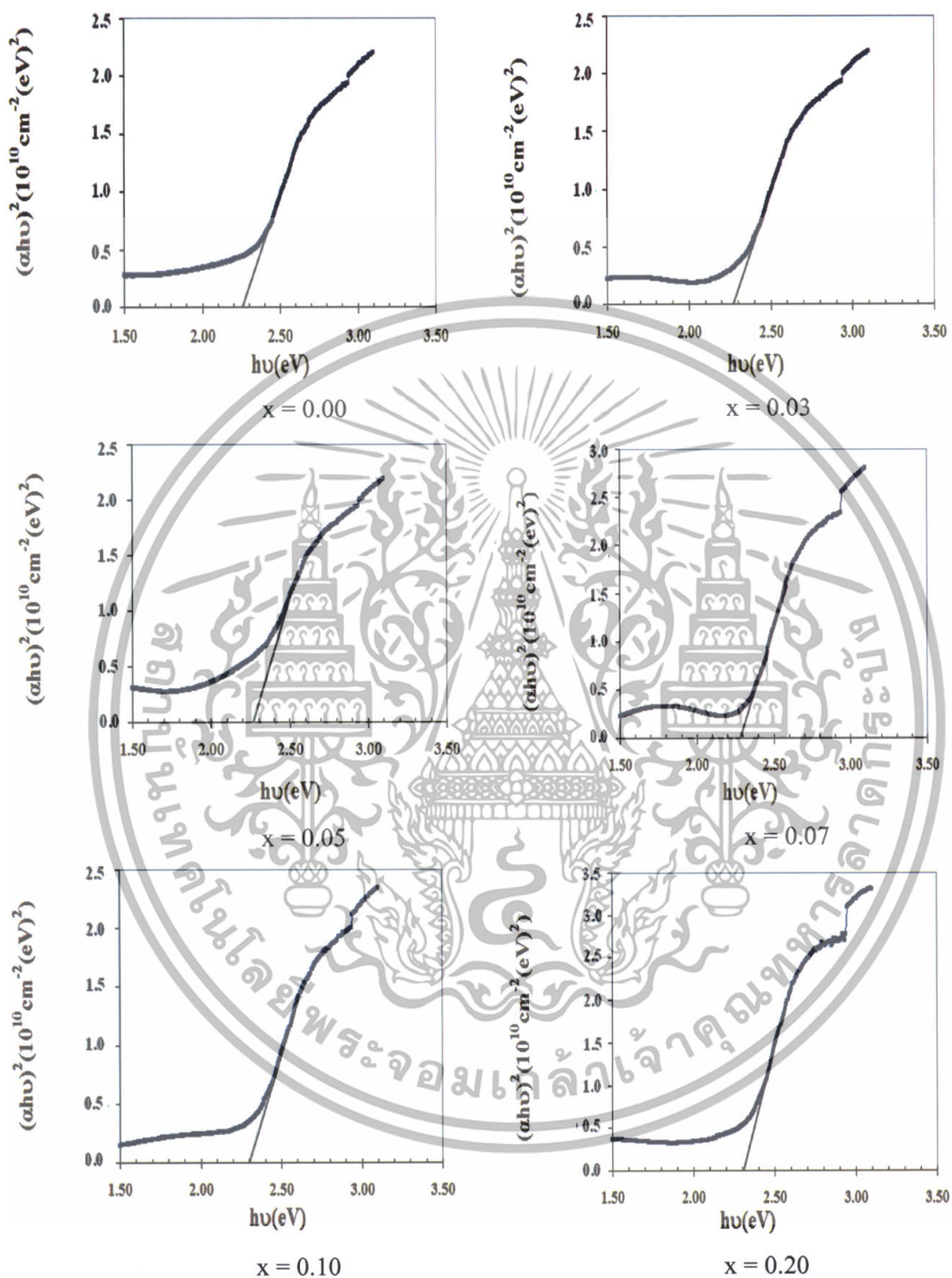
4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง



รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล

จากรูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS ที่มีคาร์เจือของธาตุ Bi โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ชนิดคัมเบิลิม ยี่ห้อ Heliosca โดยเลือกใช้ช่วงความยาวคลื่นที่ 400-1000 นาโนเมตร จะพบว่าฟิล์มที่เงื่อนไขต่างๆจะยอมให้แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 500 นาโนเมตรโดยประมาณ

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงานโดยทำการลากเส้นตรงการประมาณค่า (approximation) ของกราฟส่วนที่เป็นเชิงเส้น ไปตัดกับแกนพลังงานโฟตอน จุดตัดที่ได้คือค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง ดังรูปที่ 4.11 จะเห็นว่า CdS:Bi มีโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงและค่าช่องว่างแถบพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนผสมของ Bi มากขึ้นแสดงตารางที่ 4.5

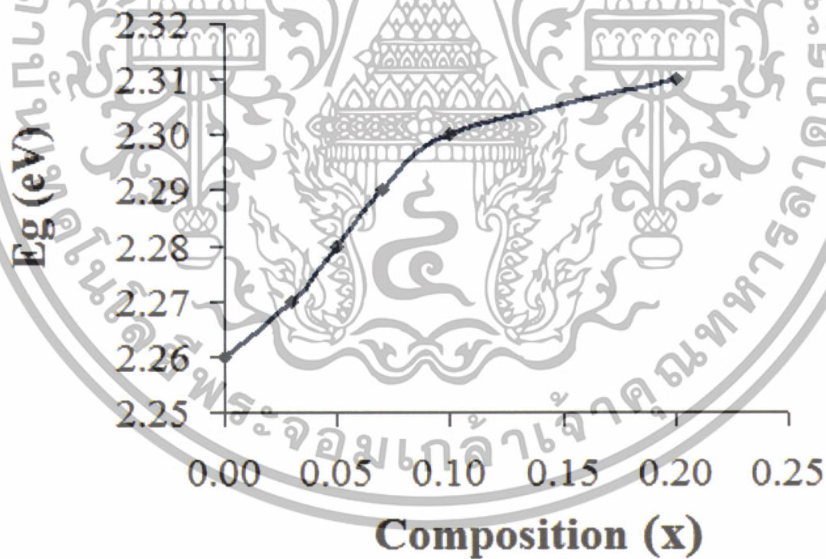


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

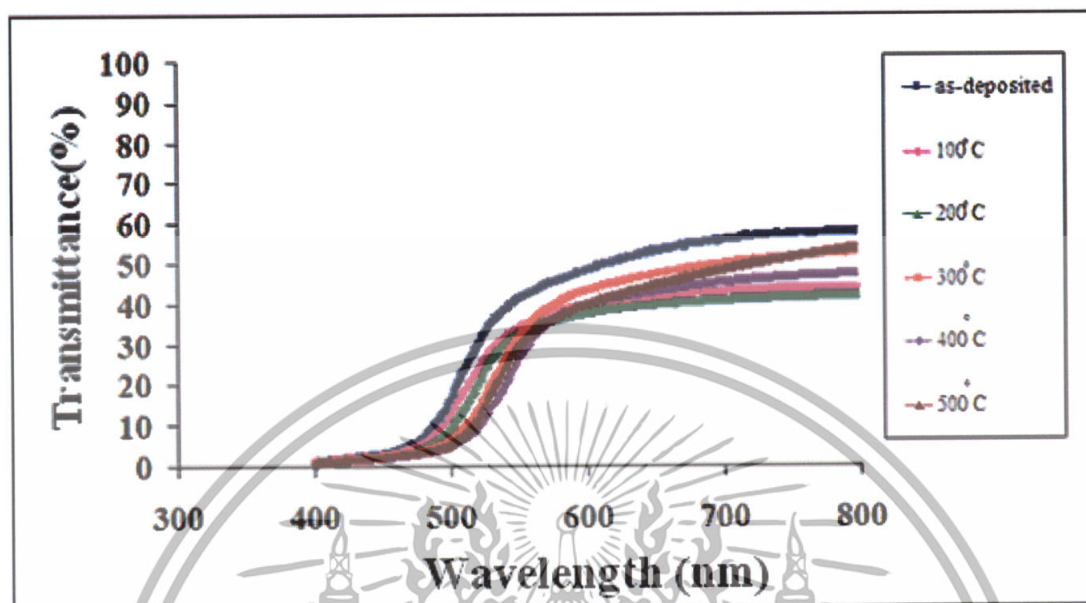
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

Composition (x) of Bi	E_g (eV)
0.00	2.26
0.03	2.27
0.05	2.28
0.07	2.29
0.10	2.30
0.20	2.31



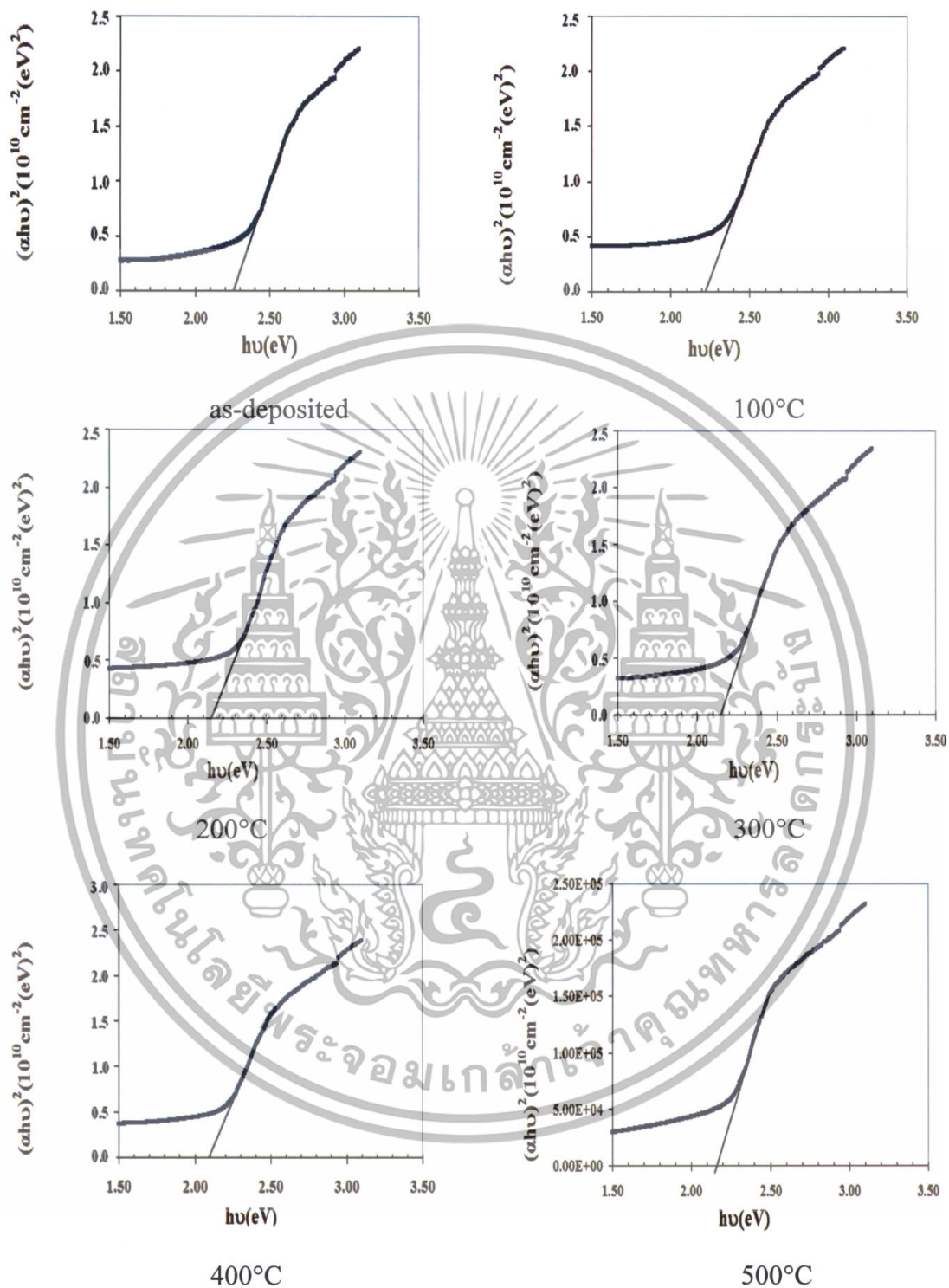
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีสและเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่มีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงานดังรูปที่ 4.14

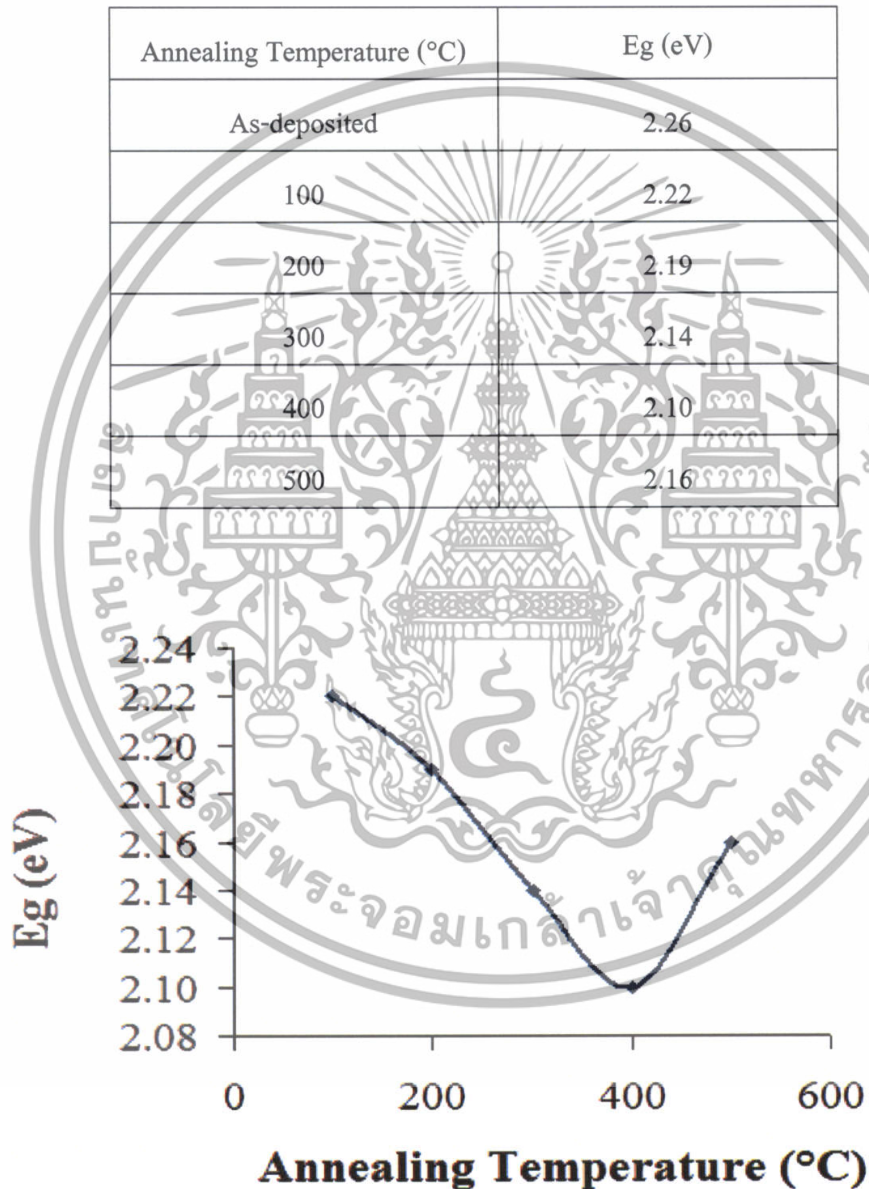


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศ

ไนโตรเจนเวลา 20 นาที

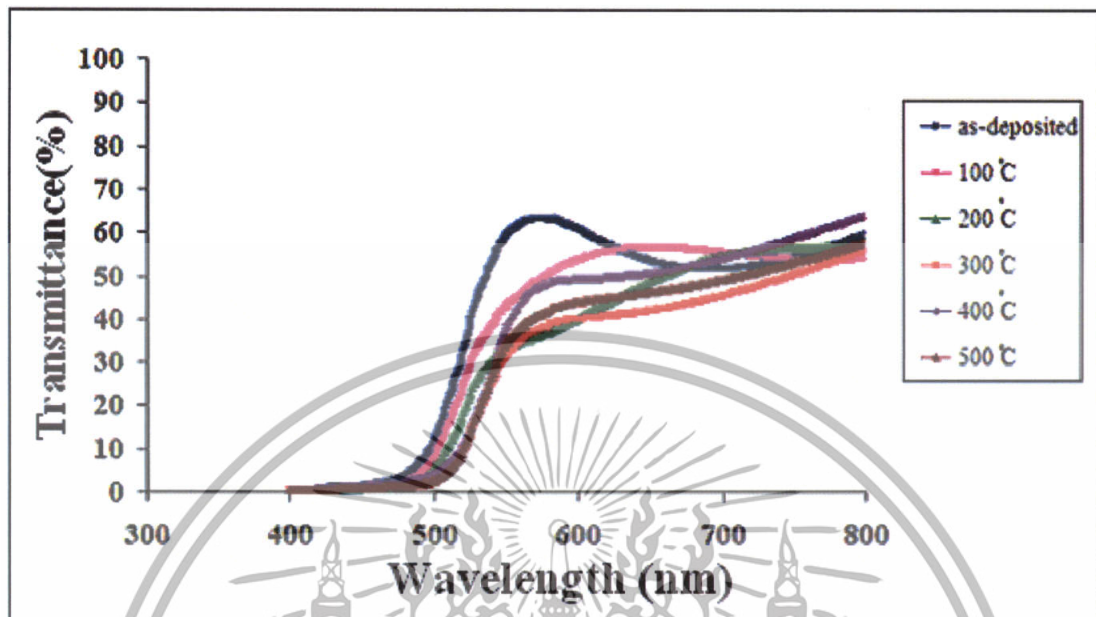
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสและเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเวลา 20 นาที



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีส และเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที

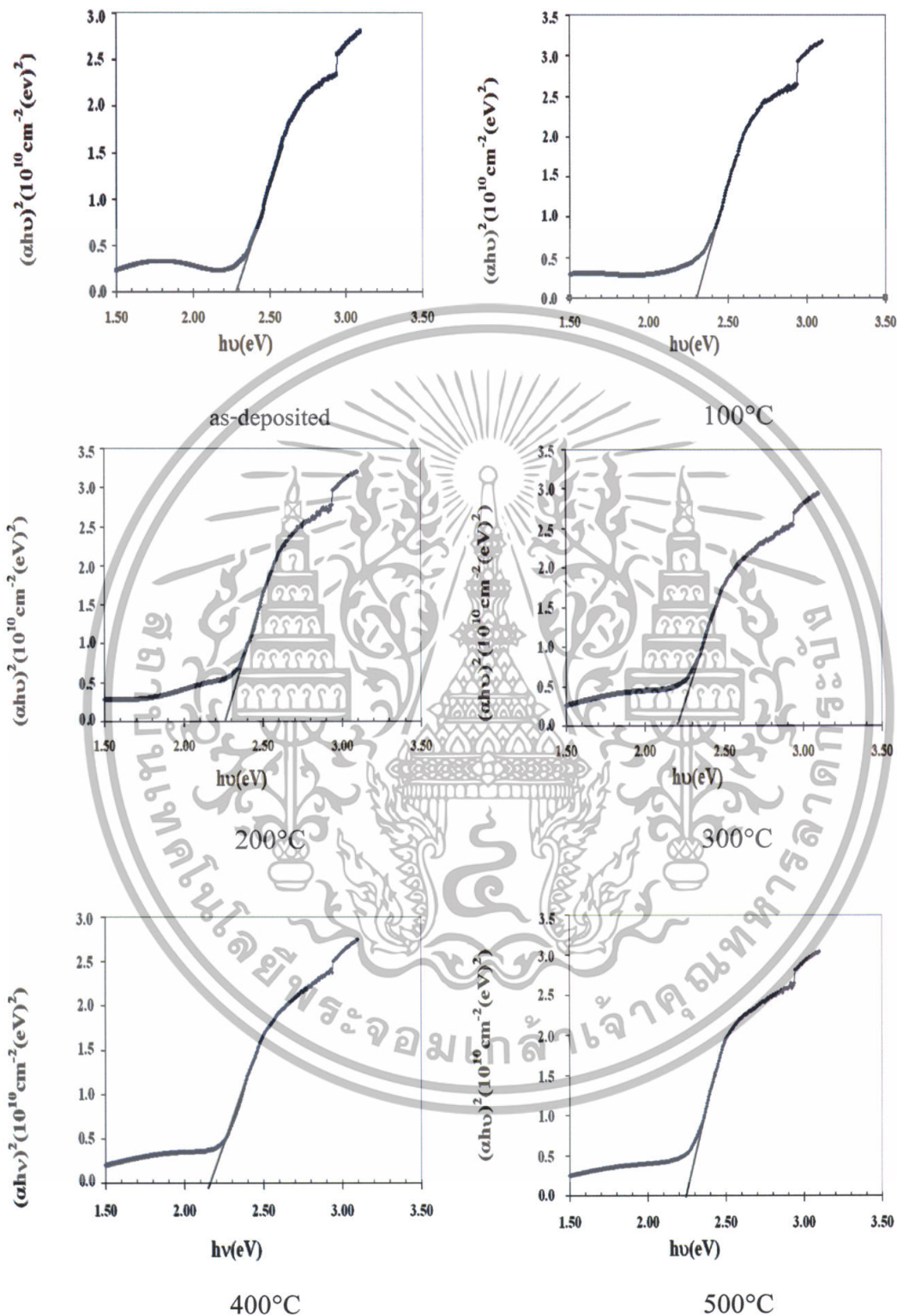
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเพื่อชุมชนที่ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัลและเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) จะได้ดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$)

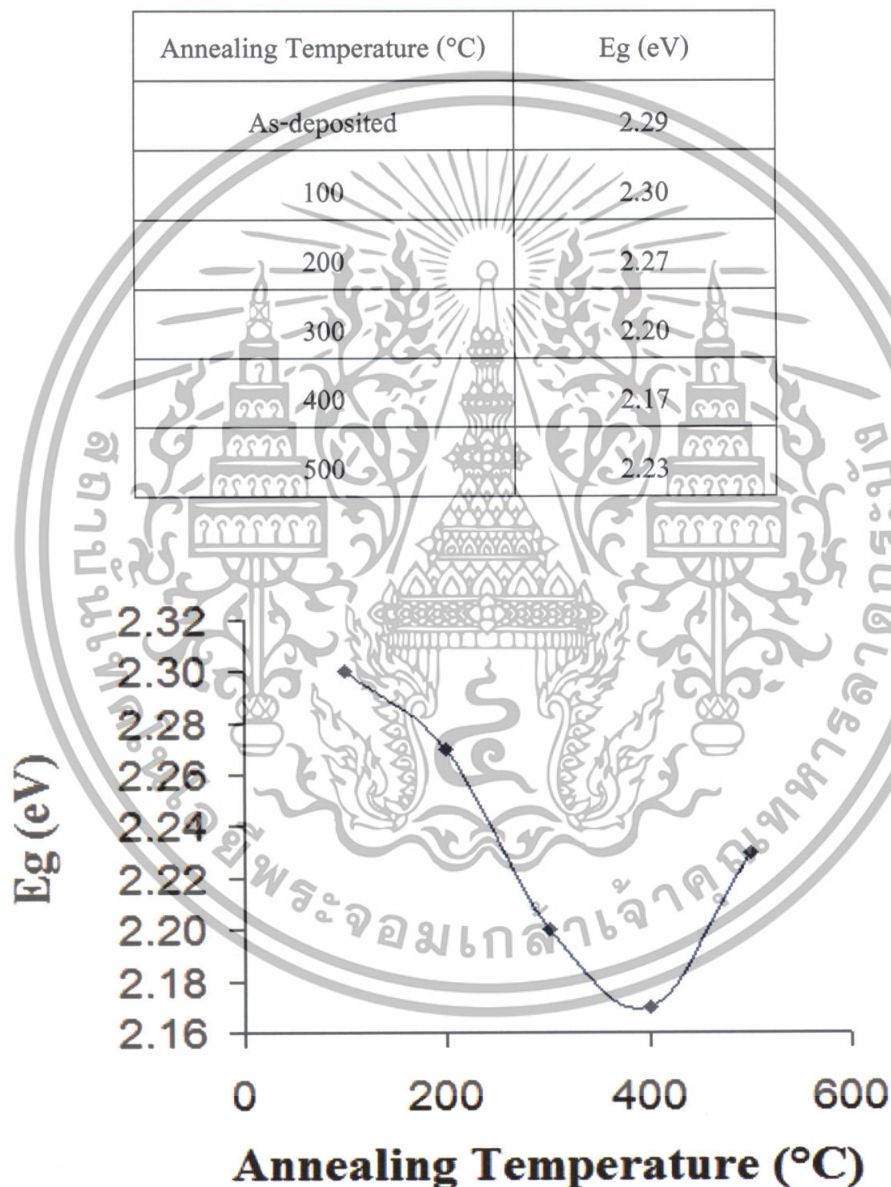
ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัล

และเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในสื่ออื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัลและเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัลและเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง

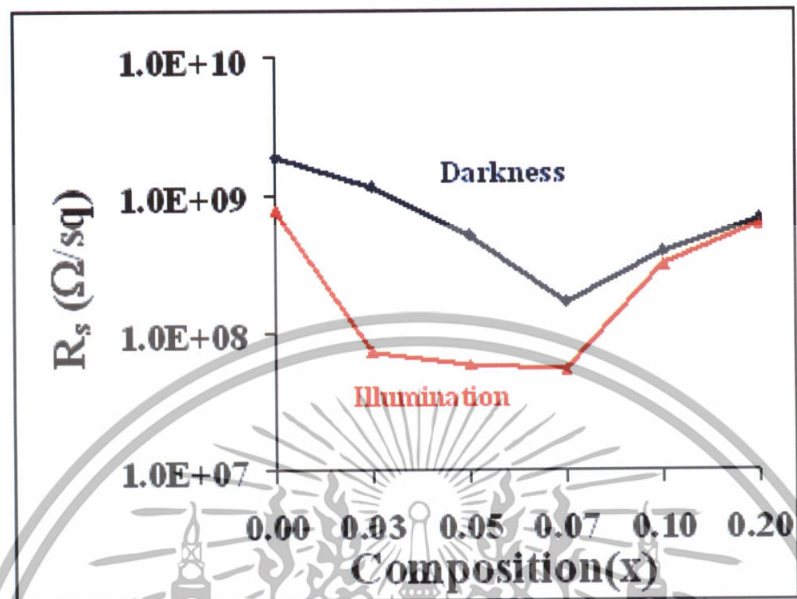
จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่ทำการแอนนีสในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 100-500°C ขณะที่ไม่มีการฉายแสงและฉายแสงซึ่งจะพบว่าผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.3 และรูปที่ 5.3 ถึงรูปที่ 5.4 กล่าวคือ เมื่อทำการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ขนาดเกรนของฟิล์มบางมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งทำให้ขอบเขตของเกรนมีค่าลดลง กระแสจึงไหลได้มากขึ้นจึงทำให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 300 °C ค่าความต้านทานแผ่นจะขึ้นกับสัดส่วนทางเคมีเป็นสำคัญ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิการแอนนีสสูงขึ้นสัดส่วนทางเคมีระหว่าง Cd:S จะเข้าใกล้ 1:1 จึงทำให้โครงสร้างมีความสมบูรณ์มากขึ้นดังนั้นความต้านทานแผ่นจึงเพิ่มขึ้นซึ่งพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของผู้อื่นที่ผ่านการตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้ว (Dona and Herrero, 1995)

ในการทดลองนั้นจะพบว่าในการทดลองฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟนั้นเมื่อทำการวัดความต้านทานแผ่นจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณการเจือ Bi เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆความต้านทานก็จะลดลงเรื่อยๆจนถึงปริมาณของ Bi (x=0.07) นั้นมีความต้านทานแผ่นต่ำที่สุดแต่หลังจากนั้นค่าความต้านทานแผ่นก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆซึ่งเป็นเช่นเดียวกันทั้งกรณีที่ไม่ฉายแสงและไม่ฉายแสงซึ่งเป็นไปตามรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีส

Composition (x) of Bi	Sheet Resistance (Ω /sq)	
	Darkness	Illumination
0.00	1.89E+09	7.64E+08
0.03	1.14E+09	7.22E+07
0.05	5.08E+08	5.79E+07
0.07	1.66E+08	5.33E+07
0.10	3.87E+08	3.08E+08
0.20	6.58E+08	6.15E+08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

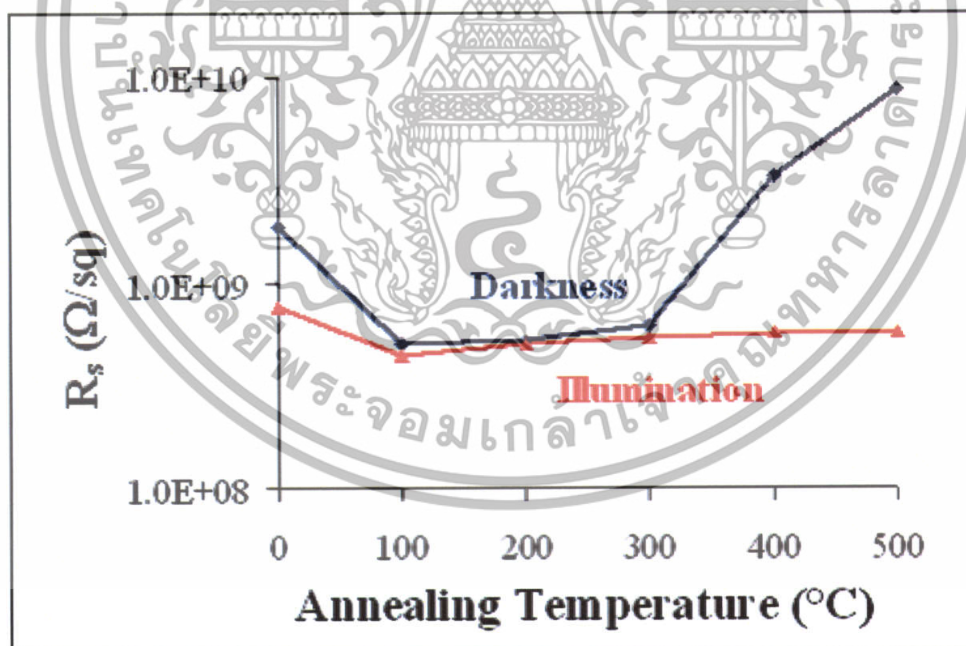


รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่น (R_s) กับสัดส่วนผสมทางเคมีของสารเจือ(x) ในฟิล์มบาง CdS:Bi ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

ในกรณีของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัลและ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเวลา 20 นาทีนั้นค่าความต้านทานจะต่ำในช่วงอุณหภูมิ 100-300°C ซึ่งเป็นไป ดังรูป 4.20

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสล และเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	Sheet Resistance (Ω /sq)	
	Darkness	Illumination
As-deposited	1.89E+09	7.64E+08
100	5.02E+08	4.42E+08
200	5.34E+08	5.07E+08
300	6.32E+08	5.44E+08
400	3.30E+09	5.74E+08
500	8.56E+09	5.78E+08

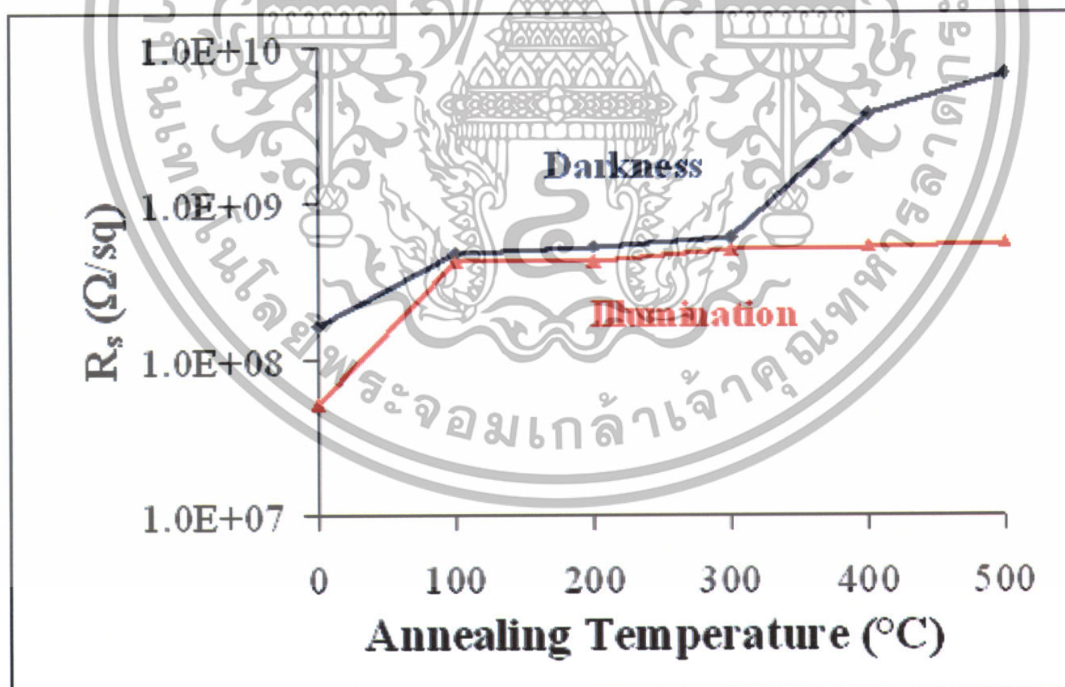


รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนีสลของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) เตรียมโดยวิธีการออบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสล และเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกัล และเมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	Sheet Resistance (Ω /sq)	
	Darkness	Illumination
As-deposited	1.66E+08	5.33E+07
100	4.85E+08	4.24E+08
200	5.30E+08	4.25E+08
300	6.22E+08	5.10E+08
400	3.73E+09	5.38E+08
500	6.90E+09	5.70E+08



รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนีกัลของฟิล์มบาง CdS:Bi($x = 0.00$) เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกัล และเมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้

บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการศึกษาลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบางและขนาดของเกรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมได้โดยวิธีอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อมีการแอนนิตที่อุณหภูมิ

100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมได้โดยวิธีอบสารละลาย เคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500^oC ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

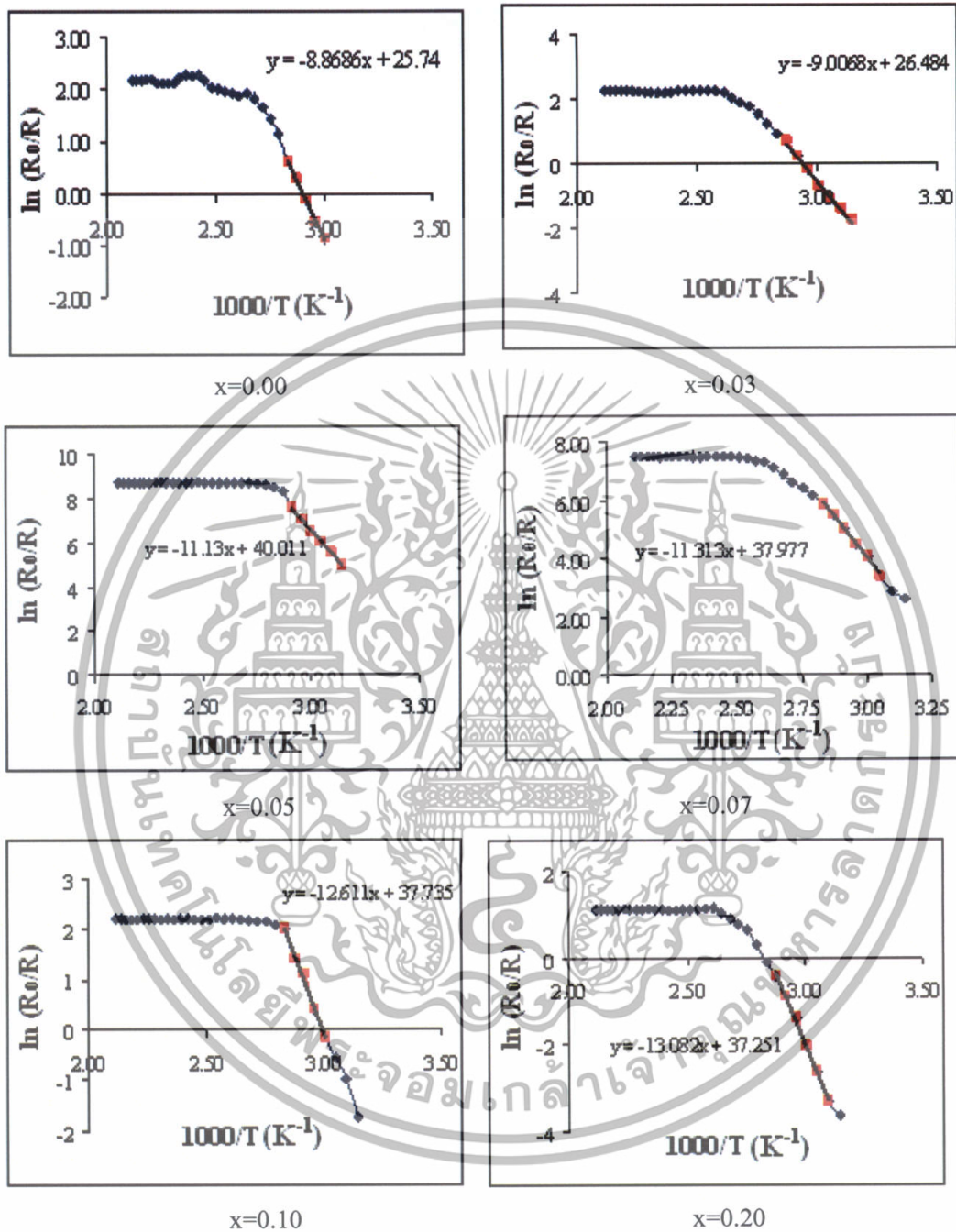
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิเพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้น

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีก

Composition (x)	Activation Energy (meV)
0.00	765
0.03	777
0.05	960
0.07	976
0.10	1090
0.20	1130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



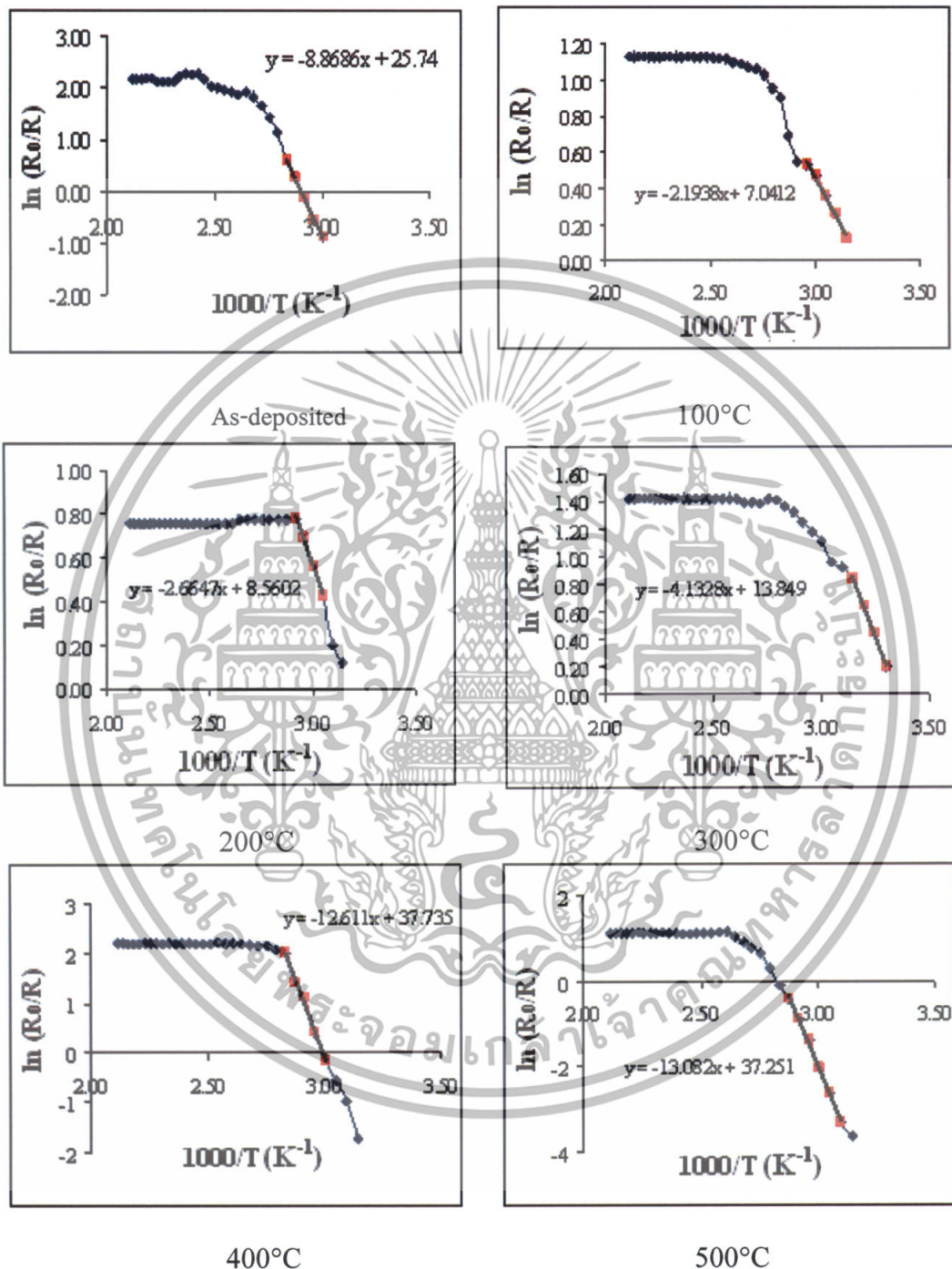
รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ $\ln(R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K⁻¹) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อทำการแอนนีกที่อุณหภูมิ 100 -500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	Activation Energy (meV)
100	14
200	19
300	230
400	356
500	718

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



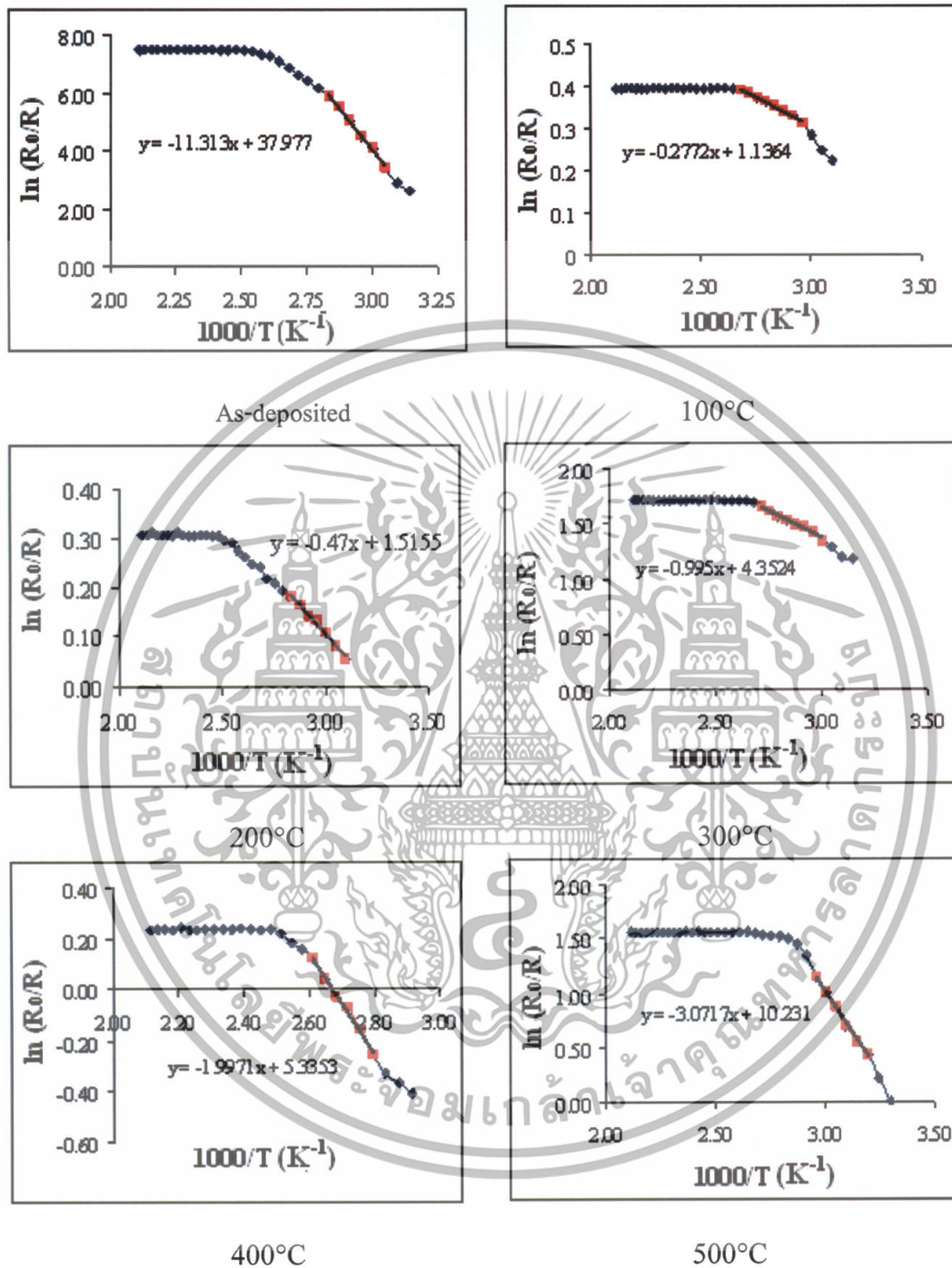
รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ $\ln(R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K^{-1}) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนیل และเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อทำการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 -500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	Activation Energy (meV)
100	48.90
200	62.10
300	74.30
400	147.00
500	222.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ $\ln(R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K⁻¹) ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x = 0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนیل และเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่ขั้นเตรียมฟิล์มบาง และเน้นทางด้านการวัดสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางจนถึงขั้นการวิเคราะห์ผลสุดท้าย พร้อมด้วยข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีออบสารละลายเคมี เป็นเวลา 60 นาที โดยฟิล์มบางที่เตรียมได้เมื่อไม่มีการเจือด้วยอะตอมของธาตุ Bi และยังไม่ได้มีการแอนนีสล จะมีสีเหลืองโปร่งแสง มีผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอ ส่วนฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอมของธาตุ Bi จะมีลักษณะผิวหน้าค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ มีนูนวาว และมีสีเหลืองส้ม เมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที สังเกตเห็นว่าฟิล์มบางที่ได้มีสีส้มเข้มเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์พบว่าฟิล์มบาง CdS:Bi ที่เตรียมด้วยวิธีการออบสารละลายเคมี มีทิศทางการจัดเรียงตัวในระนาบ โดยเราจะพบว่าในกรณีที่ CdS:Bi ในปริมาณต่าง ๆ นั้นเมื่อเจือ Bi ในปริมาณมากขึ้นค่าคงที่โครงสร้างมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกันซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นคิวบิกมีฟิคที่ระนาบ (1,1,1) เกิดขึ้น สำหรับกรณีของฟิล์มบางเมื่อทำการแอนนีสลก็จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการแอนนีสลเพิ่มมากขึ้น ขนาดของเม็ดผลึกก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะเป็นโครงสร้างเป็นคิวบิกมีฟิคที่ระนาบ (1,1,1) เช่นเดียวกันและในกรณีของผงตะกอน CdS:Bi นั้นมีโครงสร้างเป็นแบบคิวบิกซึ่งมีฟิคที่ระนาบด้วยกัน 3 ฟิคคือ (1,1,1) (2,2,0) (3,1,1) และจากสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะรู้ FWHM และ 2θ ที่ฟิคเด่นชัด มาคำนวณหาขนาดของเกรนได้ และขนาดของเกรนก็จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิแอนนีสล

จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง CdS:Bi พบว่าเกรน ขนาดของเกรนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแอนนีสลเพิ่มขึ้น และพบอนุภาคของ CdS ที่ผิวหน้าของฟิล์มบางซึ่งบ่งบอกถึงการมีกระบวนการเกิดฟิล์มบางแบบโฮโมจีเนียสขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์การส่งผ่านแสง พบว่าฟิล์มบาง CdS:Bi มีลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงาน แบบตรง ค่าช่องว่างแถบพลังงานที่เตรียมได้ด้วยวิธีอบสารละลายเคมีมีค่าอยู่ในช่วง 2.39-2.47 eV และเมื่อไม่มีการแอนนีสและแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิแอนนีสสูงขึ้นบริเวณขอบการดูดกลืนแสงจะมีความชันมากขึ้น บอกถึงโครงสร้างผลึกที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้นและนอกจากนี้ยังพบว่าค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) มีค่าเปลี่ยนไปซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิการแอนนีส ค่าของช่องว่างพลังงานที่เปลี่ยนไป อาจเกิดมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันย่อมมีค่าช่องว่างของแถบพลังงานที่แตกต่างกัน
2. อะตอมมีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบทำให้เกิดส่วนหางของแถบพลังงาน
3. ผลของขนาดควอนตัม (quantum size effect) หรือขนาดของเกรน

สำหรับการวัดความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง CdS: Bi ที่เตรียมได้ด้วยวิธีอบสารละลายเคมีเมื่อยังไม่มีการแอนนีสพบว่าเมื่อมีการเจือด้วยอะตอมของธาตุ Bi ในปริมาณที่มากขึ้นค่าความต้านทานแผ่นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงปริมาณการเจือของ Bi เป็น 0.07 และความต้านทานแผ่นจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีปริมาณการเจือของ Bi มากกว่า 0.07 และเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแผ่นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งมีแนวโน้มแบบเดียวกันเมื่อไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงน่าจะมามีผลมาจากฟิล์มบางที่เตรียมได้ด้วยวิธีอบสารละลายเคมีมีข้อบกพร่องทางโครงสร้างผลึกสูงมาก นอกจากนี้ความบกพร่องของ โครงสร้างผลึกดังกล่าวยังเห็นผลชัดเจนเมื่อมีการฉายแสงซึ่งค่าความต้านทานแผ่นจะลดลงอย่างมากซึ่งค่าความต้านทานแผ่นอาจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

1. แวแคตซีของอะตอมซัลเฟอร์ (V_s)
2. อะตอมมีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ
3. สัดส่วนทางเคมี
4. ผลของควอนตัมหรือขนาดของเกรนซึ่งเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิการแอนนีสเพิ่มขึ้นขนาดของเกรนจะเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนขอบเขตของเกรนลดลงอิเล็กตรอนหรือโฮลจึงจะไหลได้สะดวกยิ่งขึ้น
5. อะตอมของออกซิเจนที่ถูกจับไว้ที่ขอบของเกรนของฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมฟิล์มบางที่เตรียมด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมีนั้นพบปัญหาและเทคนิคบางประการที่สามารถนำไปปรับปรุงการทดลองเพื่อให้ได้ผลออกมาดีที่สุดในที่สุด ปัญหาและข้อเสนอแนะมีดังนี้

- ควรทำการเตรียม $Cd_{1-x}Sn_xS$ และเจือด้วย Bi หรือ In, Sn เพื่อให้ E_g เพิ่มขึ้นและนำไฟฟ้าดีขึ้น
- ควรทำการศึกษาปรากฏการณ์การเปล่งแสง (photoluminescence) ของสาร เพื่อตรวจหาระดับพลังงานของสารเจือ Bi
- ควรทำการวัดปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) เพื่อหาความหนาแน่นของพาหะ
- ควรทำการเคลือบ $Cd_{1-x}Bi_xS$ ลงบนฟิล์มตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงเช่น ITO หรือ $SnO_2:F$ เพื่อไปประดิษฐ์เป็นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- คูสติ เครื่องงาม. 2542. เซลล์แสงอาทิตย์. สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์. สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 589-590
- Chavez H., Jordan M. , McClure J.C. , Lush G. and Singn V.P. , 1997. Physical and electrical
characterization of CdS films deposition by vacuum evaporation, solution growth
and spray pyrolysis. *J.Master.Sci : Matter Elec.* 8 : 151-154.
- Melo O.De., Hernandez L., O.Zelaya-Angel., R. Lozasa-Morales, and M. Becerril,1994.
Low resistivity cubic phase CdS films by chemical bath deposition technique.
Applied Physics Letter. 65 : 19215-19217.
- Ran Zhai, ShuBo Wang, HaiYan Xu, Hao Wang and Hui Yan, 2005. Rapid formation of
CdS, ZnS thin films by microwave-assisted chemical bath deposition. *Materials
Letters* 59:1497-1501.
- K.J. Rao , B. Vaidhyanathan , M. Ganguli , P.A.Ramakrishnan, 1999. Synthesis of inorganic
solid using microwave. *Chem. Mater.* 11 : 882-885.
- งามนิตย์ แก้วแดง, จูตินัย แก้วแดง, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ และชัยสิทธิ์ ภูริภักย์เกียรติ 2543. การ
เตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์,
รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง.
- จูตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ แก้วแดง, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ และ ชัยสิทธิ์ ภูริภักย์เกียรติ 2546. การ
ประดิษฐ์ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มี Zn ในปริมาณสูงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์, รายงาน
การวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง.
- Lee, J. H., Yi, J. S., Yang, K. J, Park, J.H. and Oh, R. D. 2003 Electrical and optical propoties
of Boron doped CdS thin films prepared by chemical bath deposition. *Thin Solid
Films*, 431-432:344-348.
- Lee, J.H., 2004 Raman scattering and photoluminescence analysis of B-doped CdS thin films,
Thin Solid Films, 451-452:170-174.
- Krokida, M.K.,and Massulis, Z.B., 1999. Effect of microwave drying on some Quality
properties of dehydrated products, *Drying technology* 17(3) : 449-446.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ไฟล์มาตรฐานของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CdS:Bi ที่ได้จากไฟล์ฐานข้อมูลมาตรฐาน JCPDS

(The Joint Committee on Powder Diffraction Standards)

Pattern : 80-19		Radiation = 1.540598		Quality : Calculated		
Cd S		2 θ	I	h	k	l
		26.547	100	1	1	1
		30.748	22	2	0	0
Cadmium Sulfide		44.040	47	2	2	0
		52.163	33	3	1	1
		54.671	5	2	2	2
		64.043	6	4	0	0
		70.594	10	3	3	1
		72.715	4	4	2	0
		80.993	10	4	2	2
		87.065	6	5	1	1
Lattice : Face-centered cubic		Mol. weight = 144.47				
S.G. : F-43m (216)		Volume [CD] = 196.22				
a = 5.81100		Dx = -4.890				
Z = 4		I/ICor = 14.06				
ICSD COLLECTION CODE : 06789						
REMARKS FROM ICSD : REM. THE						
TEST FROM ICSD : No R value given.						
TEST FROM ICSD : At least one TF missing						
*Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997) primary reference :						
*Phys. Rev. B: Condens. Matter, volume 46, page 10086, (1992) :						
Yeh, C., Lu, Z.W., Froyen, S., Zunger, A.						
Radiation : CuK α 1		Filter : Not specified				
Lambda : 1.54060		d-sp : Calculated spacings				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมสารละลายของ CdS :Bi

โดย $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ มีความเข้มข้น 0.015 โมล

$$\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O} = 3.4253 \text{ กรัม}$$

ในสารละลายปริมาตร 1000 ml มีมวล $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O} = 3.4253$ กรัม

ในสารละลายปริมาตร 150 ml มีมวล $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O} = (3.4253 \times 150)/1000 = 0.5138$ กรัม

และ $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ มีความเข้มข้น 0.045 โมล

$$\text{SC}(\text{NH}_2)_2 = 3.4252 \text{ กรัม}$$

ในสารละลายปริมาตร 1000 ml มีมวล $\text{SC}(\text{NH}_2)_2 = 3.4252$ กรัม

ในสารละลายปริมาตร 150 ml มีมวล $\text{SC}(\text{NH}_2)_2 = (3.4252 \times 150)/1000 = 0.5138$ กรัม

การทดลองนี้ทำการเจือ Bi ที่ปริมาณการเจือ 3 wt%, 5 wt%, 7 wt%, 10 wt%, 20 wt%

$$\text{Bi 3 wt\% ของ } \text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O} = 0.03 \times 0.5138 = 0.0154 \text{ กรัม}$$

$$\text{Bi 5 wt\% ของ } \text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O} = 0.05 \times 0.5138 = 0.0257 \text{ กรัม}$$

$$\text{Bi 7 wt\% ของ } \text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O} = 0.07 \times 0.5138 = 0.0360 \text{ กรัม}$$

$$\text{Bi 10 wt\% ของ } \text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O} = 0.10 \times 0.5138 = 0.0514 \text{ กรัม}$$

$$\text{Bi 20 wt\% ของ } \text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O} = 0.20 \times 0.5138 = 0.1028 \text{ กรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนันทิศา เหลืองศิริ เกิดเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2528 เป็นคนฉะเชิงเทราโดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษา ณ โรงเรียนดัดดรุณี และได้เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษา ในสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2547

นางสาวประภาพิมพ์ เพ็ชรน้อย เกิดเมื่อวันที่ 23 กันยายน พ.ศ.2528 เป็นคนกรุงเทพฯ โดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษา ณ โรงเรียนพรตพิทยพยัต และได้เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษา ในสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2547

นายณัฐพล แสงส่งไพศาล เกิดเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ.2528 เป็นคนกรุงเทพฯ โดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษา ณ โรงเรียนพรตพิทยพยัต และได้เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษาในสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้