สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ด้วยวิธีการหมุนเคลือบและเพิ่มประสิทธิภาพทางแสงด้วยการเจือไนโตรเจน (N) และอะลูมิเนียม (Al)

PREPARATION OF ZnO:Mg THIN FILMS BY SPIN COATING METHOD AND OPTICAL ENHANCEMENT BY NITROGEN (N) AND ALUMINIUM (Al) DOPING

T117021

กฤษณะ ช่องศรี
KRISANA CHONGSRI

วพ.
ก281ก
2554

เลขหมู่ 117021
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 21 มี.ย. 2554

b. 12331107
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2554

KMITL-2011-NT-M-001-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF ZnO:Mg THIN FILMS BY SPIN COATING METHOD AND OPTICAL ENHANCEMENT BY NITROGEN (N) AND ALUMINIUM (Al) DOPING

KRISANA CHONGSRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2011

KMITL-2011-NT-M-001-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2011

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมฟิล์มบาง ซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ด้วยวิธีการหมุนเคลือบและเพิ่มประสิทธิภาพทางแสงด้วยการเจือไนโตรเจน (N) และอะลูมิเนียม (Al)
นักศึกษา	นาย กฤษณะ ช่องศรี
รหัสประจำตัว	52670210
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิบูลย์ เพชรภา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.สกุลกานต์ บุญเรือง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ด้วยวิธีการหมุนเคลือบจากสารที่เตรียมจากซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรท $(CH_3COO)_2Zn \cdot 2H_2O$ กับแมกนีเซียมอะซิเตทเตตระไฮเดรท $(CH_3COO)_2Mg \cdot 4H_2O$ ซึ่งเป็นตัวถูกละลายและเอทานอล (C_2H_5OH) กับไดเอทานอลเอมายด์ (Diethanolamine, $(HOCH_2CH_2)_2NH$) ซึ่งเป็นตัวทำละลาย ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ สารละลายที่เตรียมขึ้นจะเตรียมด้วยปริมาณแมกนีเซียมต่างกันที่ 0% 3% 8% 10% และ 20% ฟิล์มที่เตรียมได้จากการหมุนเคลือบบนกระจกบอโรซิลิเกตหลายครั้งและแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน 400 -550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางโครงสร้างและทางพื้นผิวของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)ตามลำดับ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ลักษณะแบบเวอร์ไซด์ (wurtzite) เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของแมกนีเซียมมีค่าน้อย และมีขนาดผลึกประมาณ 16 -17 นาโนเมตร การศึกษาสมบัติทางแสงโดยการวัดค่าการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางด้วยเครื่องยูวีวิซิเบิลสเปกโตรสโคปี (UV–VIS Spectrophotometer) พบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้ มีความโปร่งใสสูงในย่านแสงที่ตามองเห็น และขอบการดูดกลืนแสงเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สั้นลงเมื่อฟิล์มบางมีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น โดยมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามอยู่ระหว่าง 3.23 - 3.40 อิเลกตรอนโวลต์ ขึ้นกับปริมาณของแมกนีเซียมและทำการศึกษาการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมที่มีโครงสร้างของขั้วแบบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ พบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีค่าการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตในย่านความยาวคลื่นที่สั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลง เมื่อฟิล์มบางปริมาณของแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของการเจือไนโตรเจนและเจืออะลูมิเนียมต่อสมบัติทางโครงสร้าง สมบัติทางแสงของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง จากผลการวิเคราะห์ผล XRD และ SEM พบว่า ฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้นมีการก่อตัวเป็นผลึกได้ดีขึ้น โดยเฉพาะในแนวแกนซี (c-axis) เมื่อมีการเจือด้วยไนโตรเจนที่เหมาะสม นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางแสงของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมที่เจือไนโตรเจนและอะลูมิเนียมพบว่าขอบการดูดกลืนสามารถเลื่อนไปในย่านที่มีความยาวคลื่นที่สั้นลง มีความโปร่งใสมากขึ้นและมีประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อแสงเพิ่มขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ : ซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียม, ขบวนการหมุนเคลือบ, ฟิล์มบาง, การเจือด้วยไนโตรเจน, การเจือด้วยอะลูมิเนียม, การตรวจวัดรังสีอัลตราไวโอเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	PREPARATION OF ZnO:Mg THIN FILMS BY SPIN COATING METHOD AND OPTICAL ENHANCEMENT BY NITROGEN(N) AND ALUMINIUM(Al) DOPING.
Student	Mr. Krisana Chongsri
Student ID	52670210
Degree	Master of Science
Program	Nanoscience and Nanotechnology
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Wisanu Pecharapa
Thesis Coadvisor	Dr. Sakoolkan Boonruang

ABSTRACT

In this work, ZnO:Mg thin films were prepared by spin-coating method based on zinc acetate dehydrate $(CH_3COO)_2Zn{\cdot}2H_2O$, magnesium acetate tetrahydrate $(CH_3COO)_2Mg{\cdot}4H_2O$, absolute ethanol ($C_2H_5OH$) and diethanolamine ($(HOCH_2CH_2)_2NH$, DEA). The precursor solution was prepared at various Mg compositions; 0%, 3%, 8%, 10% and 20%. All films were spin-coated on borosilicate substrates for several coating repetition followed by annealing process at 400 -550 ^{o}C for 4 hr in air. The structural properties and surface morphology of the films were characterized by X – ray Diffracmeter (XRD) and Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM). Results indicate that as-prepared films possess only wurzite ZnO phase due to small Mg composition with uniform crystal grain size of 16-17 nm. The optical properties of the films were interpreted from their transmission spectra using UV-VIS spectrophotometer. The corresponding results exhibit that as-prepared films are highly transparent in the visible region and significant blue-shift in optical band gap with increasing Mg composition. The corresponding optical band gap ranges from 3.23-3.40 eV, depending upon Mg content. The optical response to UV irradiation of the films in form of metal-semiconductor-metal structure was also investigated and the results reveal that the response of the film can be tuned to the shorter wavelength as the Mg composition increases. The effect of Nitrogen doping and Aluminum doping on physical and optical properties, especially optical response of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZnO:Mg thin films were also studied. XRD and SEM results reveal that the crystallinity and preferred c-axis orientation are enhanced with certain concentration of N-doping. In addition, the films incorporated with nitrogen doping and aluminum doping exhibit significant blue shift in optical band gap, improvement in its transparency, and enhancement in optical response.

Keywords: ZnO:Mg, Spin coating, thin films, N-doping, Al-doping, UV detection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

สำหรับความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. วิษณุ เพชรภา วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี และ ดร. สกุลกานต์ บุญเรือง นักวิจัยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่ท่านได้ให้แนวทางการทำรายงานการวิจัย การช่วยเหลือแก้ไขในส่วนที่ไม่เข้าใจและคอยผลักดันให้งานได้ดำเนินต่อไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่เป็นกรรมการ คอยให้ความรู้และแนะนำข้อบกพร่องต่างๆเพื่อที่จะนำไปแก้ไขให้ดีขึ้นและขอขอบคุณวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีที่ได้ยืมอุปกรณ์เครื่องมือและสถานที่ที่ใช้ดำเนินการทำรายงานโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณผลงานวิจัยและเอกสารอ้างอิงต่างๆที่ข้าพเจ้าใช้เป็นเอกสารอ้างอิงและทำการศึกษา จนทำให้เกิดความสนใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งคาดว่ารายงานโครงงานพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจในทางด้านการปลูกฟิล์มบางด้วยวิธีโซลเจล

ขอขอบคุณพี่น้องในวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนการช่วยเหลือในด้านต่างๆที่ทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็วในการใช้เครื่องมือต่างๆ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาบุคลากรวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาศูนย์ความเป็นเลิศทางฟิสิกส์และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบทุนการศึกษาร่วมถึงการสนับสนุนงานวิจัย

สุดท้ายคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนย์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดา นาย กิจชัย ช่องศรี และมารดา นางบัวพัน ช่องศรี ที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

กฤษณะ ช่องศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 สมบัติพื้นฐานของซิงค์ออกไซด์	4
2.2 สมบัติพื้นฐานของซิงค์อะซิเตท	7
2.3 สมบัติพื้นฐานของแมกนีเซียมอะซิเตท	8
2.4 สมบัติพื้นฐานของแอมโมเนียมอะซิเตท	9
2.5 สมบัติพื้นฐานของอะลูมิเนียมอะซิเตท	9
2.6 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง	10
2.6.1 การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีทางเคมี	10
2.6.2 การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีทางฟิสิกส์	10
2.7 รังสีเหนือม่วง หรือ รังสีอัลตราไวโอเลต	13
2.8 การหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามจากสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง	14
2.9 โครงสร้างแบบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ	16
2.10โครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะขณะได้รับแสงตกกระทบ	19
2.11 การตอบสนองทางแสง	19
2.12 เครื่องมือการเตรียมสารละลายโซลเจล	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.l2.1 เครื่องชั่งสารแบบละเอียด 20

2.12.2 เครื่องกว นสารละลายชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน 21

2.12.3เครื่องหมุนเคลือบ 21

2.13 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทาง 22

2.13.1 การวิเคราะห์เชิงโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ 22

2.13.2 การวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด 26

2.13.3 การวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงด้วยเครื่องยูวีวิซิเบิลสเปกโตรสโคปี 29

2.14 การวิเคราะห์การตอบสนองทางแสง 30

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 35

3.1 ตารางปริมาณการเตรียมสารแมกนีเซียมอะซิเตท ซิงค์อะซิเตท ไนโตรเจนอะซิเตท และอะลูมิเนียมอะซิเตท 35

3.2 การเตรียมกระจกสไลด์ที่ใช้ในการปลูกฟิล์ม 37

3.3 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธีการหมุน 37

3.4 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง 38

3.4.1 การวิเคราะห์เชิงโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ 38

3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องวัดการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มบาง 39

3.4.3 วิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด 40

3.4.4 การขั้วโลหะนำไฟฟ้าของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม ที่มีโครงสร้างแบบโครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ 41

3.4.5 การศึกษาสมบัติเฉพาะทางแสงของอุปกรณ์ 41

3.4.5.1 การศึกษาสมบัติกระแส-แรงดันของอุปกรณ์ 41

3.4.5.2 การศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่น 42

3.4.5.3 การศึกษาเวลาการตอบสนองต่อแสงของตัวตรวจวัดแสง 43

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย 44

4.1 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการแอนนีล 44

4.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ 45

4.1.2 ผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่ปริมาณ Mg 20% 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.3 ผลการวิเคาระห์สมบัติทางพื้นผิวของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่ปริมาณ Mg 20% ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด 48

4.1.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเทคนิควัดการทะลุผ่านทางแสง ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณ Mg 20% 50

4.2 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียม 53

4.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ 54

4.2.2 ผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณ แมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% 55

4.2.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด 56

4.2.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเทคนิควัดการทะลุผ่านทางแสงและ การดูดกลืนทางแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% 58

4.3 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน (N-doped ZnO:Mg: NMZO) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือธาตุไนโตรเจน 62

4.3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ 63

4.3.2 ผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกและค่าการก่อตัวแนวแกนซี (C-Orientation Preferation : i(002)) ของฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% 64

4.3.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด 65

4.3.4. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเทคนิคการทะลุผ่านของแสงของ ฟิล์มบาง NMZO 67

4.4 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุอะลูมิเนียม (A-doped ZnO:Mg: AlMZO) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือธาตุอะลูมิเนียม 69

4.4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ 69

4.4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด 70

4.4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องวัดการทะลุผ่านทางแสงของ ฟิล์มบางAlMZO 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 ผลการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg NMZOและ AlMZOในย่านรังสีอัลตราไวโอเลต 73

4.5.1 ผลการศึกษาสมบัติกระแส-แรงดันของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% 73

4.5.2 ผลการศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% 8% 10% และ20% 74

4.5.3 ผลการศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง NMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกันคือ 5% และ 10% 75

4.5.4 ผลการศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง AlMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจืออะลูมิเนียมต่างกันคือ 5% และ 10% 76

4.5.5 ผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% 8% 10% และ20% 77

4.5.6 ผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง NMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกันคือ 5 % และ 10 % 78

4.5.7 ผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบางAlMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกันคือ 5 % และ 10 % 79

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 80

เอกสารอ้างอิง 84

ประวัติผู้เขียน 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สมบัติของซิงค์ออกไซด์ 5

2.2 สมบัติของแมกนีเซียมออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ 6

2.3 สมบัติพื้นฐานของซิงค์อะซิเตท 7

2.4 สมบัติของแมกนีเซียมอะซิเตท 8

2.5 สมบัติของแอมโมเนียมอะซิเตท 9

2.6 สมบัติของอะลูมิเนียมอะซิเตท 9

2.7 รายละเอียดรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่นต่างๆ 13

3.1 ปริมาณการเตรียมสารแมกนีเซียมอะซิเตทและซิงค์อะซิเตท 32

3.2 ปริมาณการเตรียมสารแอมโมเนียมอะซิเตทและอะลูมิเนียมอะซิเตท 36

4.1 แสดงค่าปริมาณธาตุของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% 57

4.2 ผลการคำนวณแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบาง NMZO ที่ ปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% และ20% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% 68

4.3 ผลการคำนวณค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบาง ZnO และฟิล์มบาง AlMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 0% 3%และ 20% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ (a) Cubic Rocksalt (b) Cubic zinc blende และ
(c) Hexagonal Wurtzite อนุภาคสีเทาเป็นซิงค์ออกไซด์และอนุภาคสีดำเป็นออกซิเจน 4
2.2 โครงสร้างของซิงค์อะซิเตท 7
2.3 โครงสร้างแมกนีเซียมอะซิเตท 8
2.4 โครงสร้างอะลูมิเนียมมอะซิเตท 10
2.5 ระบบเครื่องสปัตเตอริง 11
2.6 วิธีการเตรียมสารละลายด้วยวิธีสารละลายโซลเจล 12
2.7 การเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน 14
2.8 กราฟพลังงานโฟตอนและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงที่ค่า γ ต่างๆ 16
2.9 ระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนการสัมผัส 17
2.10 ระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำหลังการสัมผัส 18
2.11 แถบพลังงานภายหลังจากที่ได้รับแสงตกกระทบ 19
2.12 การเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองทางแสงกับความถี่ขอสัญญาณ 20
2.13 เครื่องชั่งสารแบบละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง 20
2.14 เครื่องกวนสารละลายชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน 21
2.15 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง 21
2.16 กฎของ Bragg 22
2.17 (ก) หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และ (ข) การเกิดรังสีเอกซ์ 23
2.18 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ 25
2.19 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่อง SEM ที่เป็นจุดกำเนิดภาพ 27
2.20 การตอบสนองทางแสงในสารกึ่งตัวนำ 31
3.1 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม 33
3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน 34
3.3 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุอะลูมิเนียม 36
3.4 (a) เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (b) ตู้อบความร้อน 37
3.5 (a) เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กพร้อมแผ่นให้ความร้อน (b) เครื่องหมุนเคลือบ 38
3.6 เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ 38
3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.8 เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer 40

3.9 ขั้วนำไฟฟ้าโครงสร้าง โลหะ–สารกึ่งตัวนำ–โลหะ แบบช่องรับแสงเดี่ยว 41

3.10 ระบบการทดลองสำหรับอุปกรณ์โครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ 41

3.11 ระบบวัดการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่น (Wavelength response) ของตัวตรวจวัดแสง 42

3.12 ระบบวัดเวลาการตอบสนองต่อแสงของตัวตรวจวัดทางแสง 43

4.1 รูปถ่ายฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน 44

4.2 ผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน 45

4.3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับซิลิกอนไดออกไซด์และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ800 ^{o}C 46

4.4 กราฟการคำนวณหาค่าความกว้างที่มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดที่ระนาบ (002) กับขนาดผลึกของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่แอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน 47

4.5 ภาพตัดขวางของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยวิธี โดยสารละลายโซลเจล ซึ่งใช้เทคนิคหมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้ง และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ 48

4.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน 49

4.7 ผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงของฟิล์บาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน 50

4.8 ผลการคำนวณหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกันรูป 4.8 (a) รูปที่ 4.8 (b) เป็นภาพขยายค่าแถบพลังงาน-ต้องห้าม 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

หลายปีที่ผ่านมาได้มีการนำซิงค์ออกไซด์(ZnO) มาประยุกต์ใช้ในงานด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลาย เช่น ตัวเปล่งแสง (light emitting diodes , LED), ไดโอดเลเซอร์ (laser diodes) และตัวตรวจวัดแสงย่านอัลตราไวโอเลต (ultraviolet photodetector) เป็นต้น เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีแถบพลังงานประมาณ 3.3 อิเล็กตรอนโวลต์[1] ซึ่งยังคงตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงมีงานวิจัยหลายงานที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตให้ดีขึ้น เช่น การเจือสาร (doping) [2]การทำแอลลอยด์ (alloying) [3]และการทำเป็นโครงสร้างแบบแตกต่าง (heterostructures)[4] เป็นต้น เนื่องจากแมกนีเซียมออกไซด์มีค่าแถบพลังงานประมาณ 7.9 อิเลกตรอนโวลต์ มีรัศมีของไอออนิก 0.66 อาร์มสตรอง [5] ซึ่งมีค่าขนาดโครงร่างผลึกใกล้เคียงกัน (lattice matching) กับซิงค์ออกไซด์ ดังนั้นแมกนีเซียมออกไซด์จึงเป็นสารประกอบที่เหมาะสมในการทำแอลลอยด์กับซิงค์ออกไซด์ที่จะสามารถเลื่อนช่วงแถบพลังงานต้องห้ามให้มีค่าสูงขึ้นได้ เมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียม ซึ่งการเลื่อนช่วงแถบพลังงานต้องห้ามไปในย่านพลังงานที่สูงขึ้นนั้นแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการตอบสนองทางแสงต่อรังสีอัลตราไวโอเลตที่ดีขึ้น ซึ่งกระบวนการเตรียมฟิล์มบางมีการศึกษาและวิจัยกันอย่างแพร่หลาย เช่น วิธีการเคลือบแบบไอระเหย (Evaporation)[6] วิธีการสปัตเตอริง (Sputtering)[7] และวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจล (Sol-gel) [8] เป็นต้น ซึ่งวิธีการเคลือบแบบไอระเหยและวิธีการสปัตเตอริงมีขั้นตอนการทำยุ่งยาก ต้องทำในระบบสุญญากาศหรือเรียกอีกอย่างว่าระบบปิดและมีต้นทุนสูง ซึ่งจะแตกต่างกับวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจล กล่าวคือ มีขั้นตอนในการเตรียมสารที่ไม่ยุ่งยาก สามารถทำในระบบที่ไม่ใช้ระบบสุญญากาศได้หรือเรียกอีกอย่างว่าระบบเปิด สามารถควบคุมปริมาณการเจือสารได้และใช้ต้นทุนต่ำ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกวิธีการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมแบบเคลือบโดยสารละลายโซลเจล เพื่อศึกษาการเตรียมและหาเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เคลือบลงบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต ด้วยเงื่อนไขในการเตรียมต่างๆ เช่น ควบคุมอุณหภูมิแอนนีล ปริมาณแมกนีเซียมที่เจือเข้าไปในซิงค์ออกไซด์ และศึกษาสมบัติทางพื้นผิว ทางโครงสร้างและทางแสง เป็นต้น นอกจากนี้จะศึกษาผลการเพิ่มประสิทธิภาพต่อการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมด้วยการเจือธาตุที่เหมาะสมอาทิ ไนโตรเจน (N) [9,14] และอะลูมิเนียม (Al) [10,11] เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.เพื่อศึกษาการเตรียมสารละลายโซลเจลที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม

2.เพื่อศึกษาการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม เมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมต่างๆที่เตรียมด้วยวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจล บนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต

3.เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่มีผลกระทบต่อสมบัติทางโครงสร้าง ทางพื้นผิวและทางแสง ที่เตรียมด้วยวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจล บนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต

4.เพื่อศึกษาสมบัติทางโครงสร้าง ทางพื้นผิว และทางแสง ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เตรียมได้ด้วยวิธีดังกล่าว

5.เพื่อศึกษาผลการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เตรียมมาได้ด้วยวิธีดังกล่าว

6.เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุที่เหมาะสม อาทิไนโตรเจน (N) และอะลูมิเนียม (Al) เป็นต้น ด้วยวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจล บนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.ศึกษาค้นคว้าและทบทวนบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมด้วยวิธีต่างๆและการประยุกต์ใช้งาน

2.เตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เตรียมด้วยวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจล บนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต

3.ศึกษาหาเงื่อนไขและผลกระทบของอุณหภูมิแอนนีล ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ต่อสมบัติทางโครงสร้างและสมบัติทางแสง และการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม

4.เตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน (N) และ อะลูมิเนียม (Al) เป็นต้น ที่เตรียมด้วยวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจล บนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต เพื่อให้ได้ฟิล์มบางที่มีสมบัติในการตรวจวัดรังสีอัลตราไวโอเลตที่ดีขึ้น

5.วิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิว ทางโครงสร้าง และทางแสง ของฟิล์มบางแมกนีเซียมซิงค์ออก-ไซด์ และฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน (N) และ อะลูมิเนียม (Al)

6.วิเคราะห์สมบัติการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมและฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน (N) และ อะลูมิเนียม (Al)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.มีความรู้เกี่ยวกับธาตุแมกนีเซียมออกไซด์ ธาตุซิงค์ออกไซด์และสารประกอบซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมเป็นต้น

2.มีความรู้เกี่ยวเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมสารและเครื่องมือในการปลูกฟิล์มบางด้วยวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจล

3.มีความสามารถในการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมเมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมและฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน (N) และ อะลูมิเนียม (Al) เป็นต้น ที่เตรียมด้วยวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจลบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต

4.มีความสามารถในการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิว ทางโครงสร้างและทางแสง ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมเมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมและฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน (N) และ อะลูมิเนียม (Al) เป็นต้น ที่เตรียมด้วยวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจลบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต

5.มีความสามารถในการวิเคราะห์การตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมเมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมและฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน (N) และ อะลูมิเนียม (Al) เป็นต้น ที่เตรียมด้วยวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจลบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต

1.5 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

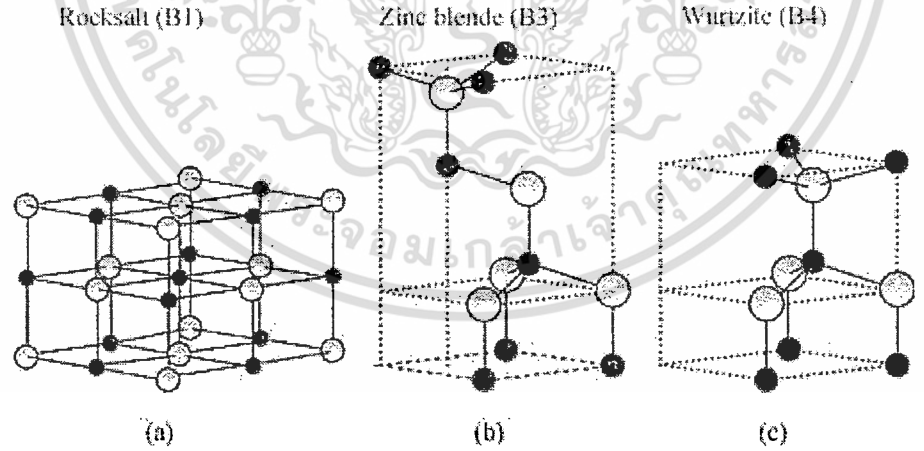
วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงความสำคัญในการดำเนินงานวิจัยดังข้างต้น ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและสมบัติของสารที่นำมาทำการวิจัยจะกล่าวไว้ในบทที่ 2 นอกจากนี้บทที่ 3 จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่สำคัญทั้งหมดอาทิ ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโซลเจลซิงค์: แมกนีเซียม และขั้นตอนการเตรียมสารละลายโซลเจลซิงค์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจนหรืออะลูมิเนียมและยังจะกล่าวถึงขั้นตอนการปลูกฟิล์มบางด้วยสารละลายโซลเจลที่เตรียมได้ หลังจากนั้นนำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปทำการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้าง ทางพื้นผิว ทางแสงและการตอบสนองทางแสงของฟิล์มบางซึ่งอธิบายไว้ในบทที่ 4 และสรุปผลงานวิจัยฟิล์มบางซิงค์: แมกนีเซียมและการเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์มบางซิงค์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจนหรืออะลูมิเนียมจะเขียนสรุปไว้ในบทที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สมบัติพื้นฐานซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์(Zinc Oxide: ZnO) เป็นสารกึ่งตัวนำช่องแถบตรง (driecd band gap) มีแถบพลังงาน 3.3 อิเล็กตรอนโวลต์ที่อุณหภูมิห้องและ 3.44 อิเล็กตรอนโวลต์ที่อุณหภูมิ 4 เคลวิน ซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ไซด์ (Hexagonal wurtzite) หรือคิวบิกซิงค์เบลน(Cubic Zinc Blende) หรือ ร็อกซอลต์(Cubic Rocksalt) แสดงดังรูปที่ 2.1 โครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล เวอร์ไซด์ มีค่าคงที่ผลึก a=b=3.24 Å และ c= 5.20 Å มีค่ามวลยังผลพาหะ (carrier effective mass) ของอิเล็กตรอนกับโฮล คือ 0.24 m_o และ 0.59 m_o ตามลำดับ มีค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน(Electron mobility) ที่ผลึกเดี่ยวซิงค์ออกไซด์ (ZnO single crystal) ระหว่าง 100 ถึง 200 cm^2/V และ มีค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ของโฮล (hole mobility) ประมาณ 180 cm^2/V สมบัติอื่นๆของซิงค์ออกไซด์แสดงดังตารางที่ 2.1 หลายปีที่ผ่านมาซิงค์ออกไซด์จึงเป็นที่นิยมนำไปสร้างอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวเปล่งแสงย่านสีน้ำเงิน (light emitting diodes , LED), ไดโอดเลเซอร์ (Laser diodes) และตัวตรวจวัดแสงย่านอัลตราไวโอเลต (ultraviolet photodetector) เป็นต้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ (a) Cubic Rocksalt (b) Cubic Zinc Blende และ (c) Hexagonal Wurtzite อนุภาคสีเทาเป็นซิงค์ออกไซด์และอนุภาคสีดำเป็นออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติของซิงค์ออกไซด์

Property	
Molecular weight	81.37
Average atomic weight	40.69
Average atomic number	19
Enthalpy of thermal expansion(298K)(kJ/mol)	-350.5
Coefficient of thermal expansion	
along the c axis(1/K)	$2.9x10^{-6}$
across the c axis(1/K)	$4.8x10^{-6}$
Density(g/cm$^{3)}$	5.6803
Melting point(K)	2248
Enthalpy of fusion (kJ/mol)	52.5
Specific heat at room temperture and constant	
pressure(J/g.K)	0.494
Debye temperture extrapolated to 0 K	416
Stetic dielectric constant	
along the c axis	8.75
across the c axis	7.8
Optical frequency magnitude	
along the c axis	3.75
across the c axis	3.7
Index of refraction(at the wavelength of 1400 nm)	2.01
ordinary indices (n_o)	1.984
extraordinary indices(n_e)	2.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของซิงค์ออกไซด์ โดยมีหลากหลายเทคนิคอาทิ การเจือสาร (doping) การทำแอลลอยด์ (alloying) และการทำโครงสร้างที่แตกต่างกัน (heterostructures) เป็นต้น ธาตุที่นิยมใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของซิงค์ออกไซด์อาทิแมกนีเซียมออกไซด์(MgO)หรือแคดเมียมออกไซด์(CdO) เนื่องจากแมกนีเซียมออกไซด์มีแถบพลังงานกว้างและแคดเมียมมีแถบพลังงานแคบซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ แต่แคดเมียมออกไซด์เป็นพิษต่อร่างกาย ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงเลือกแมกนีเซียมออกไซด์มาทำการวิจัย โดยทำการเจือเข้าไปในซิงค์ออกไซด์กลายเป็นสารประกอบซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม

ตารางที่ 2.2 สมบัติของแมกนีเซียมออกไซด์และซิงค์ออกไซด์

สมบัติ	แมกนีเซียมออกไซด์	ซิงค์ออกไซด์
แถบพลังงานต้องห้าม	7.9 eV	3.3 eV
โครงผลึก	Cubic	Wurtzite
ตัวแปรของโครงผลึก	a= 4.21 Å	a,b=3.24 Å,c=5.20 Å

การปรับปรุงแถบพลังงานนั้นจะบ่งบอกถึงชนิดของสารกึ่งตัวนำ กล่าวคือ แถบพลังงานที่แตกต่างกันจะเป็นสารกึ่งตัวนำต่างชนิด ซึ่งมีเทคนิคในการปรับปรุงแถบพลังงานสารกึ่งตัวนำได้ เช่น การทำแอลลอยด์ (alloying) ของสารกึ่งตัวนำที่มีธาตุมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป การทำโครงสร้างที่มีความแตกต่างกัน (heterostructures) เช่น การทำซุปเปอร์แลตทิซ การทำ strained epitaxy โดยการทำแถบพลังงานโดยใช้เทคนิคการทำแอลลอยด์ จะมีสมการความสัมพันธ์ของแถบพลังงาน A_xB_{1-x} ดังนี้

$$E_g^{alloy} = xE_g^{A} + (1-x)E_g^{B} \tag{2.1}$$

และมีสมการทั่วไป คือ

$$E_g^{alloy} = a + bx + cx^2 \tag{2.2}$$

เมื่อ c คือ ค่าบ่งชี้ความความโค้ง (bowing parameter)

ค่าคงที่ของผลึก (lattice constant) สามารถคำนวณได้จากกฎของ Vegand มีสมการดังนี้

$$a_{alloy} = xa_A + (1-x)a_B \tag{2.3}$$

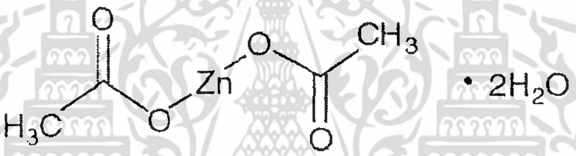
เมื่อ a คือ ค่าคงที่ของผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมมีการศึกษาอย่างแพร่หลาย เช่น วิธีการเคลือบแบบไอระเหย (Evaporation) วิธีการสปัตเตอริง (Sputtering) และวิธีการเคลือบโดยสารละลายโซลเจล (Sol-gel) เป็นต้น การนำฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมไปประยุกต์ใช้ทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวเปล่งแสง (light emitting diodes , LED), ไดโอดเลเซอร์ (laser diodes) และตัวตรวจวัดแสงย่านอัลตราไวโอเลต (ultraviolet photodetector) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม ($Mg_xZn_{1-x}O$) ที่มีซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรท ($(CH_3COO)_2Zn.2H_2O$) และแมกนีเซียมอะซิเตทเตตะไฮเดรท ($(CH_3COO)_2Mg.4H_2O$) เป็นสารตั้งต้น

2.2 สมบัติพื้นฐานของซิงค์อะซิเตท (Zinc Acetate)

ซิงค์อะซิเตท มีสูตรโมเลกุล คือ ($(CH_3COO)_2Zn.2H_2O$) เตรียมได้จากกระทำของกรดอะซิติคในคาร์บอเนตสังกะสีหรือโลหะสังกะสี มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว มีมวลโมเลกุลประมาณ 219.50 g/mol (dehydrate) แบบมีน้ำ 183.48 g/mol (anhydrous) แบบไม่มีน้ำมีความหนาแน่นประมาณ 1.735 g/cm^3 และมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะจำแนกสมบัติดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของซิงค์อะซิเตท

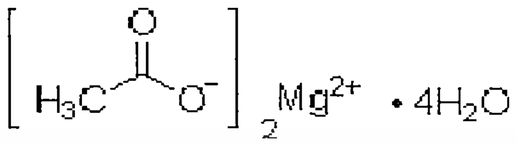
ตารางที่ 2.3 สมบัติพื้นฐานของซิงค์อะซิเตท

สมบัติของสารเคมี	ซิงค์อะซิเตท$(CH_3COO)_2Zn.2H_2O$)
ชื่อ	สังกะสีอะซิเตท
ชื่ออื่นๆ	เกลือสังกะสี หรือ สังกะสี
สูตรโมเลกุล	$(CH_3COO)_2Zn.2H_2O$
มวล	219.50 g/mol (dehydrate) (มีน้ำ) 183.48 g/mol (anhydrous) (ไม่มีน้ำ)
รูปแบบ	ของแข็งสีขาว
ความหนาแน่น	1.735 g/cm^3 (dihydrate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สมบัติพื้นฐานของแมกนีเซียมอะซิเตท (Magnesium Acetate)

แมกนีเซียมเป็นสารประกอบที่มีสูตร $((CH_3COO)_2Mg.4H_2O)$ เป็นของแข็งสีขาว มีมวลโมเลกุลประมาณ 214.45 g/mol มีความหนาแน่นประมาณ 1.454 g/cm^3 และมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะจำแนกสมบัติดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.3 โครงสร้างแมกนีเซียมอะซิเตท

ตารางที่ 2.4 สมบัติของแมกนีเซียมอะซิเตท

สมบัติของสารเคมี	แมกนีเซียมอะซิเตท $((CH_3COO)_2Mg.4H_2O)$
ชื่อ	แมกนีเซียมอะซิเตท
ชื่ออื่นๆ	Magnesium acetate hydrated Acetic acid magnesium salt
สูตรโมเลกุล	$(CH_3COO)_2Mg.4H_2O$
มวล	214.45 g/mol
ความหนาแน่น	1.454 g/cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สมบัติพื้นฐานของแอมโมเนียมอะซิเตท (Ammonium Acetate)

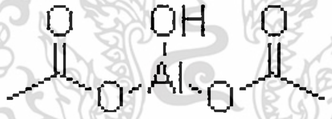
แอมโมเนียมอะซิเตท มีสูตรโมเลกุล CH_3COONH_4 เป็นผลึกสีขาวมีจุดหลอมเหลวที่ 114 องศาเซลเซียส ควรเก็บไว้ในที่ห่างจากความชื้นและความร้อน ซึ่งจะจำแนกสมบัติดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สมบัติของแอมโมเนียมอะซิเตท

สมบัติของสารเคมี	แอมโมเนียมอะซิเตท (CH_3COONH_4)
ชื่อ	แอมโมเนียมอะซิเตท (Ammonium acetate)
ชื่ออื่นๆ	ไม่มี
สูตรโมเลกุล	(CH_3COONH_4)
มวล	77.08 g/mol
ความถ่วงจำเพาะ	1.07

2.5 สมบัติพื้นฐานของอะลูมิเนียมอะซิเตท (Aluminium Acetate)

อะลูมิเนียมอะซิเตทเป็นสารประกอบที่มีสูตร ($C_4H_7AlO_5$) เป็นของแข็งสีขาว มีมวลโมเลกุลประมาณ 162.08 g/mol มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจะจำแนกสมบัติดังตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.4 โครงสร้างอะลูมิเนียมมอะซิเตท

ตารางที่ 2.6 สมบัติของอะลูมิเนียมอะซิเตท

สมบัติของสารเคมี	อะลูมิเนียมอะซิเตท ($C_4H_7AlO_5$)
ชื่อ	อะลูมิเนียมอะซิเตท (Aluminium acetate)
ชื่ออื่นๆ	Aluminum diacetate hydroxide Aluminum hydroxide acetate
สูตรโมเลกุล	($C_4H_7AlO_5$)
มวล	162.08 g/mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง (Thin film deposition method)

วิธีการเคลือบฟิล์มบางสามารถทำได้ 2 วิธีใหญ่ๆ คือ วิธีทางเคมี (Chemical method) และวิธีทางฟิสิกส์ (Physics method) โดยแต่ละวิธีเป็นการทำให้อะตอมหรือโมเลกุลของสารเคลือบไปก่อตัวเป็นฟิล์มบนฐานรองรับ ซึ่งวิธีทางเคมีเกี่ยวข้องกับการคายไอออน การสลายตัวของสารประกอบและปฏิกิริยาระหว่างก๊าซหรือของเหลวของฐานรองรับนั้น

2.6.1 การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีทางเคมี (Chemical method)

1. การเคลือบฟิล์มบางแบบระเหยสารด้วยวิธีทางเคมี (Chemical vapor deposition: CVD)

เป็นวิธีเคลื่อนย้ายสารเคลือบในสภาวะก๊าซให้ไปจัดเรียงตัวในฐานรองรับและเป็นวิธีสำคัญสำหรับสารกึ่งตัวนำ โดยปกติสารเคลือบจะเป็นองค์ประกอบหนึ่งของสารประกอบซึ่งไปตกเคลือบบนผิวของฐานรองรับได้หลายปฏิกริยา มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมอุณหภูมิ ลักษณะพิเศษของการเคลือบฟิล์มบางแบบระเหยสารด้วยวิธีทางเคมี คือ ใช้อุณหภูมิสูง เกิดกระบวนการอิพิแทกซีได้อัตราการตกเคลือบค่อนข้างสูง สารระเหยได้มีกรรมวิธีค่อนข้างยุ่งยาก และเนื่องจากก๊าซที่ใช้มีพิษร้ายแรง ดังนั้นระบบเครื่องมือจึงต้องมีความปลอดภัยสูง

2. อิเล็กโตรเพลตติง (Electroplating)

การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี เป็นการเคลือบผิวโลหะด้วยโลหะโดยสารเคลือบต้องอยู่ในสภาวะไอออนบวกในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งไอออนบวกนี้จะเข้าไปรวมตัวกับประจุไฟฟ้าลบที่คาโทดและยึดติดที่คาโทดนั้น ดังนั้นคาโทดจึงเป็นวัสดุที่ถูกการเคลือบ

3. อิเล็กโตรไลท์เพลตติง (Electrolyte plating)

การเคลือบแบบไร้ไฟฟ้าเคมีเป็นการเคลือบผิวโลหะหรืออโลหะก็ได้ไม่ต้องใช้สนามไฟฟ้า กล่าวคือ สารเคมีบางชนิดก่อให้เกิดปฏิกริยาเป็นฟิล์มบางได้ โดยไม่มีสนามไฟฟ้าวิธีนี้มีความหลากหลายมาก แต่ก็ควบคุมได้ยาก ซึ่งเหมาะสำหรับเคลือบฟิล์มบางบนผิวอโลหะและบนผิวอโลหะ อะตอมหรือโมเลกุลค่อนข้างไปถึงได้ยากเมื่อใช้วิธีอื่น

2.6.2 การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีทางฟิสิกส์ (Physics vapor deposition: PVD)

การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีทางฟิสิกส์ใช้ได้ในวงกว้างกว่าและมีข้อจำกัดน้อยกว่าวิธีทางเคมี ไม่ว่าจะพิจารณาที่สารเคลือบหรือฐานรองรับการเคลือบฟิล์มด้วยวิธีทางฟิสิกส์อาศัยหลักการทำให้อะตอมหลุดออกจากสารเคลือบแล้วเคลื่อนที่ไปยึดติดบนผิวของฐานรองรับและเพิ่มเป็นชั้นฟิล์มบางภายใต้ภาวะสุญญากาศ ซึ่งการเคลือบฟิล์มด้วยวิธีทางฟิสิกส์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

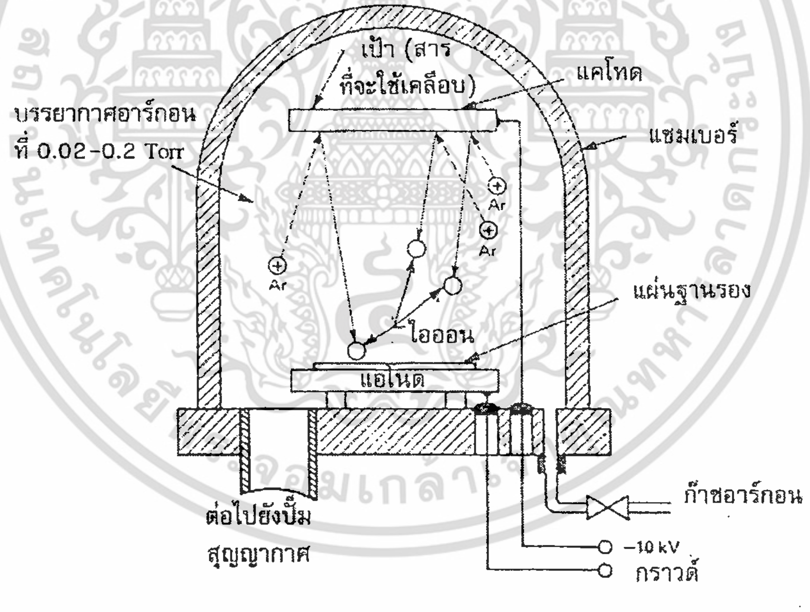
1. สร้างสารเคลือบให้เป็นอะตอม โมเลกุล หรือ อนุภาคจากแหล่งกำเนิด
2. เคลื่อนย้ายสารเคลือบไปยังฐานรองรับ
3. ทำให้สารเคลือบควบแน่น และเกิดเพิ่มเป็นชั้นฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มีลิขสิทธิ์ ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานพันธะระหว่างอะตอมของสารเคลือบกับฐานรองรับและอุณหภูมิของฐานรองรับจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการแพร่ของสารเคลือบบนผิวของฐานรองรับนั้น การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีทางฟิสิกส์ประกอบด้วยวิธีหลัก 2 วิธี คือ วิธีสปัตเตอริงและวิธีระเหยสาร

1. วิธีสปัตเตอริง (Sputtering)

สปัตเตอริงเป็นเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางอีกชนิดหนึ่งซึ่งอาจเป็นโลหะ สารกึ่งตัวนำ หรือ ฉนวนก็ได้ ในระบบนี้แผ่นฐานรองจะวางอยู่บนแอโนดซึ่งมีอุปกรณ์ทำความร้อนอยู่ข้างใต้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ฐานรองรับในขณะเคลือบชั้นฟิล์มบาง (อุณหภูมิ 150 – 250 องศาเซลเซียส) และทางขั้วแคโทดจะมีเป้า ซึ่งเป็นวัสดุที่จะทำการเคลือบลงบนฐานรองรับที่วางอยู่ทำการดูดอากาศออกจากแชมเบอร์จนได้ความดันที่ต้องการ(background pressure อยู่ในช่วง 10^{-5} – 10^{-6} Torr) จากนั้นจะทำการป้อนแรงดันค่าสูงให้ระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด และปรับความดันของก๊าซเฉื่อยที่จะเข้ามาในระบบให้มีขนาดตามต้องการ (อยู่ในช่วง 0.02 - 0.2 Torr) หลังจากนั้นก๊าซเฉื่อยจะแตกตัวเป็นไอออนอันเนื่องจากสนามไฟฟ้าค่าสูงที่ใช้ทำเป้า จึงทำให้อะตอมหรือกลุ่มอะตอมของวัสดุดังกล่าวหลุดออกจากผิวหน้าเป้ามาเคลือบลงบนฐานรองรับ



รูปที่ 2.5 ระบบเครื่องสปัตเตอริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีระเหยสาร (Evaporation)

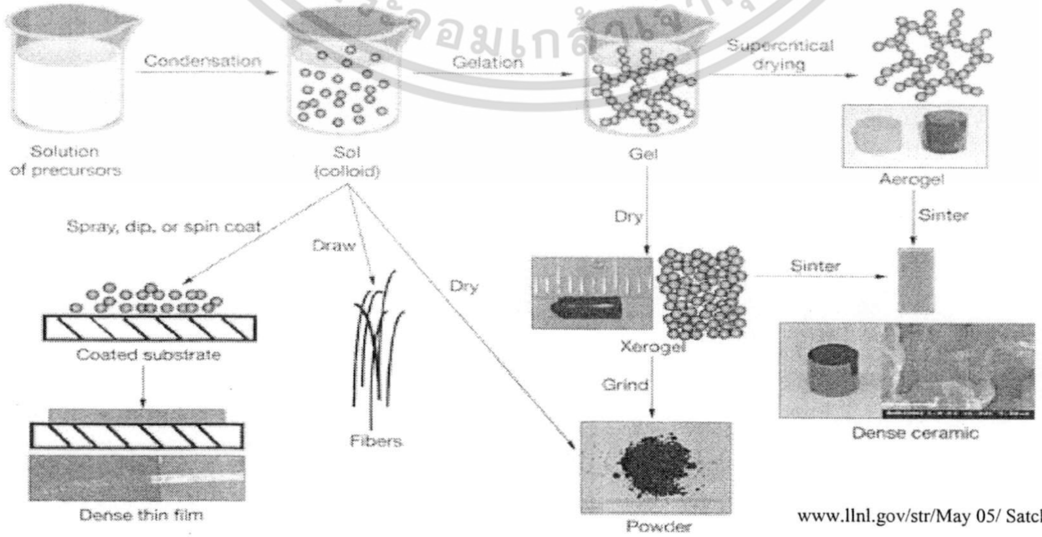
การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีระเหยสารเป็นการทำให้สารเคลือบระเหยเป็นไอด้วยความร้อนในสุญญากาศ (ความดันประมาณ 10^{-6} mbar ซึ่ง 1 bar = 10^{5} N/m^{2}) อุณหภูมิที่ใช้มักอยู่ในช่วง 200 - 600 องศาเซลเซียส การลดความดันกระทำโดยใช้เครื่องสูญอากาศออกจากห้องสุญญากาศอย่างสม่ำเสมอที่ผิวของฐานรองรับและเกิดขึ้นกับตำแหน่งและจัดเรียงฐานรองรับนั้น

3. วิธีระเหยสารด้วยอัลตราโซนิค (Ultrasonic Evaporation)

การใช้วิธีอัลตราโซนิคสั่นสารที่ต้องการจะเคลือบบนกระจกสไลด์เพื่อให้โมเลกุลของสารเกิดการแตกตัวทำให้ได้ฟิล์มบาง และใช้งานได้จริงแต่อาจจะต้องใช้เวลาในการเคลือบนาน หลักการทำงาน คือ Piezoelectric transducer ที่ถูกแช่ไว้ในสารจะทำการเปลี่ยนความถี่สูงทางไฟฟ้า (มากกว่าหนึ่งล้านครั้งต่อวินาที) ให้เป็นความถี่สูงเชิงกลและจะพยายามสั่นให้สารเคลือบเกิดการสั่นตามความถี่สูงไปด้วย ในขณะที่ทรานดิวเซอร์สั่นทางบวกก็จะทำให้เกิดความดันสูงผลักดันคลื่นให้พ้นผิวน้ำละอองขนาดเล็ก (โดยเฉลี่ย 1 ไมครอน) หลุดลอยออกมาอย่างรวดเร็วเป็นจำนวนมากจนเกิดเป็นไอขึ้นไปเคลือบบนฐานรองรับ

4. วิธีการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสารละลายโซลเจล (Sol – gel method)

การเตรียมสารละลายโซลเจลจะเป็นการเจือสารที่ต้องการและกวนให้เข้ากันโดยใช้เครื่องกวนสารพร้อมทั้งให้ความร้อนเพื่อที่จะทำให้สารแตกตัวและจับตัวกันเป็นสารตัวใหม่ที่ต้องการ ซึ่งวิธีสารละลายโซลเจลนี้มีขั้นตอนในการเตรียมสารที่ไม่ยุ่งยาก สามารถทำในระบบที่ไม่ใช้ระบบสุญญากาศได้ สามารถควบคุมปริมาณการเจือสารและใช้ต้นทุนต่ำเมื่อเตรียมสารเรียบร้อยจะมีเทคนิคที่นำสารที่เตรียมได้ไปเคลือบเป็นฟิล์มบางอาทิเช่น การหมุนเคลือบการจุ่มเคลือบ และการพ่นเคลือบ เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.6



www.llnl.gov/str/May 05/ Satcher.html

รูปที่ 2.6 วิธีการเตรียมสารละลายด้วยวิธีสารละลายโซลเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 รังสีเหนือม่วง หรือ รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet)

รังสีเหนือสีม่วง หรือ รังสีอัลตราไวโอเลตหรือรังสียูวี เป็นช่วงหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าแสงที่มองไม่เห็น แต่ยาวกว่ารังสีเอกซ์อย่างอ่อน มีความยาวคลื่นในช่วง 10 - 400 นาโนเมตร และมีพลังงานในช่วง 3 – 124 eV เนื่องจากสเปกตรัมประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าคลื่นที่มนุษย์มองเห็นเป็นสีม่วง สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าของแสงเหนือสีม่วงสามารถแบ่งย่อยได้หลายวิธี ร่างมาตรฐาน ISO ที่กำหนดชนิดแสงเปล่งของดวงอาทิตย์ (ISO-DIS-21348) อธิบายช่วงเหล่านี้

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่นต่างๆ

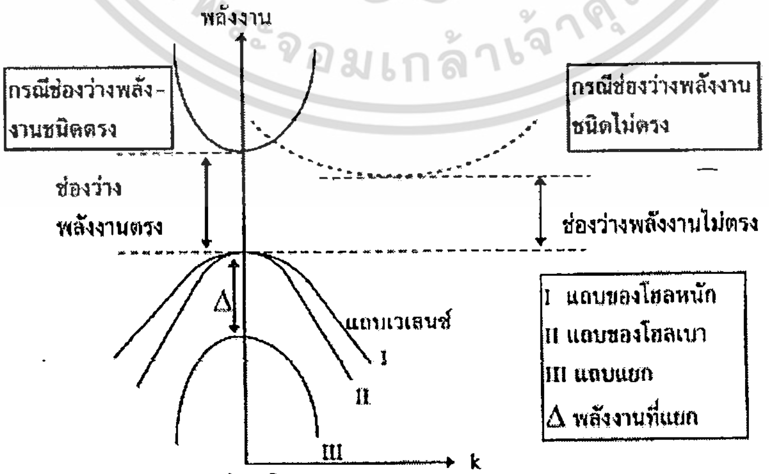
ชื่อ	ตัวย่อ	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	พลังงานโฟตอน(eV)
อัลตราไวโอเลตเอ คลื่นยาวหรือแบล็กไลท์	UVA	400 – 315	3.10 – 3.94
อัลตราไวโอเลตใกล้	NUV	400 – 300	3.10 – 4.13
อัลตราไวโอเลตบี หรือ คลื่นกลาง	UVB	315 – 280	3.94 – 4.43
อัลตราไวโอเลตกลาง	MUV	300 – 200	4.13 – 6.20
อัลตราไวโอเลตซี คลื่นสั้น	UVC	280 – 100	4.43 – 12.4
อัลตราไวโอเลตไกล	FUV	200 – 122	6.20 – 10.2
อัลตราไวโอเลตสุญญากาศ	VUV	200 – 10	6.20 – 124
อัลตราไวโอเลตไกลยิ่ง	EUV	121 – 10	10.2 – 124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามจากสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง

การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำเกิดจากการที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากแสงที่มีพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าแถบพลังงานต้องห้าม แล้วเปลี่ยนสถานะจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบคอนดักชัน สเปกตรัมการดูดกลืนแสงบริเวณที่พลังงานโฟตอนมีค่าน้อยจะมีลักษณะเป็นขอบแสดงถึงการลดลงของการดูดกลืนแสงอย่างกะทันหัน ขอบลักษณะนี้เรียกว่า ขอบการดูดกลืนแสง (Absorption Edge) พลังงานโฟตอน (Photon Energy) ที่ขอบการดูดกลืนแสง มีค่าเท่ากับความต่างของจุดต่ำสุดของแถบคอนดักชันและจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ จุดที่เส้นตรงตัดกับแกนนอนจะให้ค่าแถบพลังงานต้องห้าม (E_g) วิธีการนี้เป็นการกำหนดค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งการเขียนกราฟเช่นนี้เรียกว่า การเขียนกราฟแบบเทาซ์ (Tauc's plot) ซึ่งการดูดกลืนแสงและการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนในผลึกสารกึ่งตัวนำเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม โดยให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเป็นฟังก์ชันของเลขคลื่นของอิเล็กตรอน (Wave number) แสดงด้วยเวกเตอร์ k ในแผนภาพแสดงลักษณะของแถบพลังงาน แนวแกนนอน คือ เลขคลื่น k และแนวแกนตั้งคือพลังงานของอิเล็กตรอน เนื่องจากโมเมนตัมของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ $p = \hbar k$ ดังนั้นแนวแกนนอนก็คือค่าโมเมนตัมของอิเล็กตรอน เมื่อเขียนแผนภาพของแถบพลังงานในรูปฟังก์ชันของ k จะได้แผนภาพดังรูปที่ 2.7

ถ้าการดูดกลืนแสงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนระหว่างจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์และจุดต่ำสุดของแถบคอนดักชันที่มีค่า k เท่ากัน เรียกการดูดกลืนแสงชนิดนี้ว่า การดูดกลืนชนิดตรง (Direct absorption) แต่ถ้าจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ และจุดต่ำสุดของแถบคอนดักชันมีค่า k ไม่ตรงกัน ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนเพื่อดูดกลืนแสงจะต้องอาศัยโฟตอนช่วย โดยอิเล็กตรอนต้องมีการดูดความร้อนจากโครงผลึกหรือคายความร้อนให้แก่โครงผลึก เรียกการดูดกลืนแสงชนิดนี้ว่า การดูดกลืนชนิดไม่ตรง (Indirect absorption)



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน[13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าของแถบพลังงานต้องห้ามพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง (α) ของสารกึ่งตัวนำจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง (T) ดังสมการ

$$T = e^{-\alpha d} \tag{2.4}$$

เมื่อ α = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง (Absorption coefficient)

T = สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง (Transmittance)

I_0 = ความเข้มแสงตกกระทบแผ่นฟิล์มบาง

I_t = ความเข้มแสงทะลุผ่าน

d = ระยะทางที่แสงเดินทางในแผ่นฟิล์มบาง

ที่กล่าวมาเป็นการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงจากสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงโดยไม่คิดถึงการสะท้อนของแสง สำหรับกรณีการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงกับค่าพลังงานแถบต้องห้ามซึ่งมีลักษณะเป็นพาราโบลา แถบพลังงานต้องห้าม ของแผ่นฟิล์มบางประมาณได้โดยการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงซึ่งจะถูกดูดกลืนเมื่อแสงที่ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบาง มีค่าพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าของแถบพลังงานต้องห้ามที่ขอบของการดูดกลืนค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะมีค่า

$$\alpha h\nu \sim \left(h\nu - E_g\right)^{\gamma} \tag{2.5}$$

เมื่อ γ = $\frac{1}{2}$ สำหรับแถบยินยอมที่มีการถ่ายทอดพลังงานแบบตรง (Direct allowed transition)

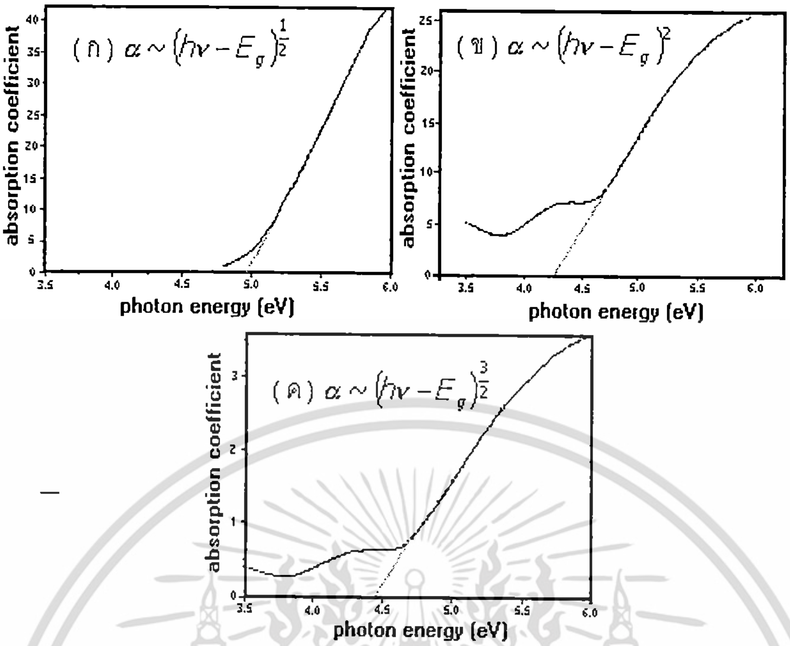
= $\frac{3}{2}$ สำหรับแถบต้องห้ามที่มีการถ่ายทอดพลังงานแบบตรง (Direct forbidden transition)

= 2 สำหรับแถบยินยอมที่มีการถ่ายทอดพลังงานแบบอ้อม (Indirect allowed transition)

= 3 สำหรับแถบต้องห้ามที่มีการถ่ายทอดพลังงานแบบอ้อม (Indirect forbidden transition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างกราฟพลังงานโฟตอนและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง ที่ค่า γ ต่างๆ แสดงดังรูป



รูปที่ 2.8 กราฟพลังงานโฟตอนและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงที่ค่า γ ต่างๆ[13]

กล่าวคือสามารถคำนวณหาค่าของแถบพลังงานต้องห้ามซึ่งมีแถบต้องห้ามที่มีการถ่ายทอดพลังงานแบบตรง ($\gamma = \frac{3}{2}$) ได้จากการเขียนกราฟแบบเทาซ์ และคำนวณหาความ สัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง และพลังงานโฟตอน โดยการแทนค่า γ ได้ดังนี้

$$(\alpha h\nu)^{\frac{2}{3}} = \left[\left(-\frac{1}{d}\ln T\right)h\nu\right]^{\frac{2}{3}} = h\nu - E_g \qquad (2.6)$$

2.9 โครงสร้างแบบ โลหะ – สารกึ่งตัวนำ – โลหะ (Metal – Semiconductor – Metal: MSM)

รอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำจะให้ลักษณะสมบัติแรงดันไฟฟ้าที่แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ รอยสัมผัสโอห์มิค (ohmic contact) และรอยสัมผัสช็อตกี (schottky contact) ซึ่งรอยสัมผัสโอห์มิค จะไม่มีผลเกี่ยวกับทิศทางการไหลของกระแส โดยกระแสสามารถไหลได้ทั้งสองทิศทาง และเป็นรอยสัมผัสที่มีความนำไฟฟ้าสูง ไม่มีแรงดันตกคร่อม ส่วนรอยสัมผัสช็อตกีจะแสดงลักษณะสมบัติเป็นเรคติไฟร์ คือ จะยินยอมให้กระแสไหลได้ทิศทางใดทิศทางหนึ่งเท่านั้น บางครั้งเรียกว่าช็อตกีไดโอด ซึ่งจะมีอัตราเร็วในการสวิตช์สูงกว่าไดโอดแบบพี-เอ็น ซึ่งการแบ่งรอยสัมผัสว่าจะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับ ฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ (ϕ_s) อิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (electron

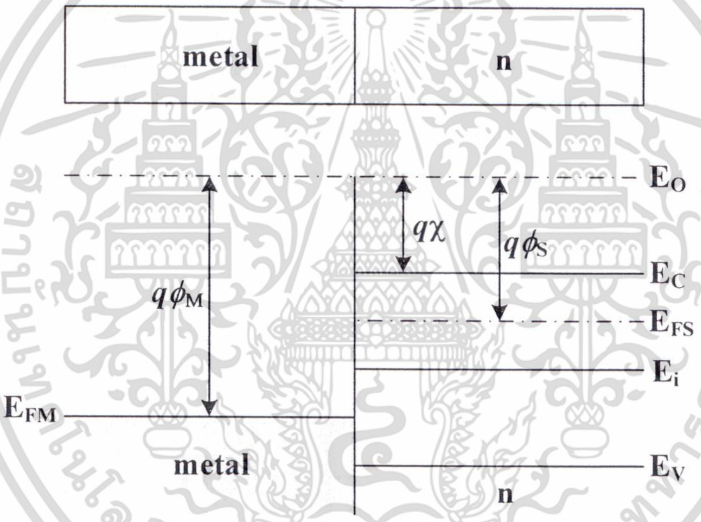
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

affinity) ของสารกึ่งตัวนำ (χ) ที่นำมาสัมผัสและฟังก์ชันงาน (work function) ของโลหะ (ϕ_M) เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งแถบพลังงานของโลหะกับสารกึ่งตัวนำได้ 2 แบบดังนี้

1. แถบพลังงานของรอยต่อก่อนการสัมผัสกันของโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

แถบพลังงานของโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นก่อนการสัมผัส แสดงในรูปที่ 2.8โดยมีระดับพลังงานที่เรียกว่า ระดับสุญญากาศ (vacuum level : E_0) หมายถึงระดับพลังงานที่ใช้เป็นระดับอ้างอิง เพื่อการเปรียบเทียบระดับพลังงานระหว่างสารต่างชนิดกัน ซึ่งเป็นระดับพลังงานของอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปจากเนื้อสารของของแข็ง และหยุดนิ่งอยู่ที่บริเวณผิวภายนอกเนื้อสาร ในด้านโลหะจะมีระดับเฟอร์มิของโลหะ (E_{FM}) จะอยู่สูงกว่าค่าระดับพลังงานต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้า (E_C) ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างระดับเฟอร์มิและระดับสุญญากาศ เรียกว่า ฟังก์ชันงานของโลหะ ดังสมการที่ (2.7) ซึ่งหมายถึง ค่าพลังงานน้อยสุด ที่อิเล็กตรอนต้องการเพื่อทำให้อิเล็กตรอนนั้นสามารถหลุดออกมาหยุดนิ่งอยู่ที่ผิวด้านนอกของโลหะ



รูปที่ 2.9 ระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนการสัมผัส[13]

$$q\phi_M = E_O - E_{FM} \tag{2.7}$$

ส่วนด้านสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นระดับเฟอร์มิจะอยู่ในช่องว่างพลังงาน โดยอยู่สูงกว่าระดับกึ่งกลางของช่องว่างพลังงาน (E_i) ซึ่งค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำมีค่าเท่ากับความแตกต่างของระดับสุญญากาศ และระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำ (E_{FS}) ดังสมการที่ 2.8 ส่วนค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตีของสารกึ่งตัวนำ (χ) คือ ความแตกต่างของพลังงานระดับสุญญากาศ กับระดับนำไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าที่อิเล็กตรอนจากระดับพลังงานต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าต้องการเพื่อที่จะเคลื่อนที่ไปหยุดนิ่งที่ผิวภายนอกของสารกึ่งตัวนำ โดยจะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของสารกึ่งตัวนำ

$$q\phi_S = E_O - E_{FS} \tag{2.8}$$

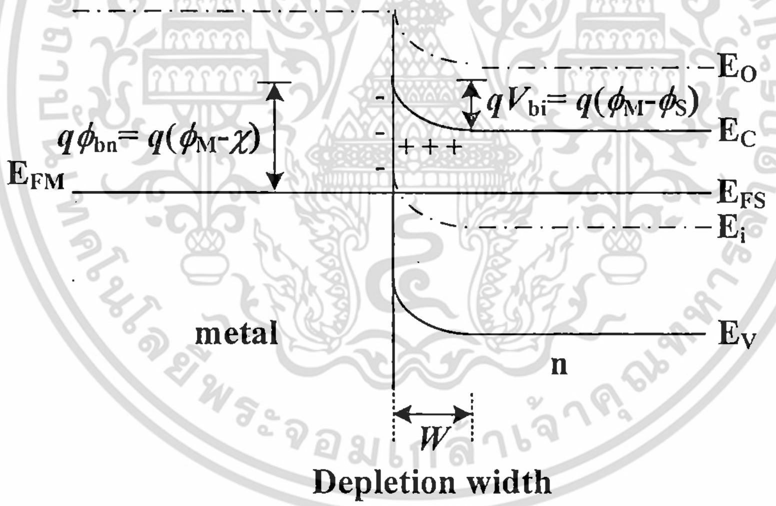
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

117021

2. แถบพลังงานของรอยต่อหลังการสัมผัสกันของโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

แถบพลังงานของโลหะกับสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เนื่องจากค่าฟังก์ชันงานของทั้งสองไม่เท่ากัน โดยฟังก์ชันงานของโลหะมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ ($\phi_m > \phi_s$) ทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำผ่านรอยสัมผัสไปยังโลหะ จนเกิดเป็นไอออนบวกทางด้านสารกึ่งตัวนำและเกิดไอออนลบทางด้านโลหะ และทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยสัมผัสโดยมีทิศทางต่อต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไม่ให้แพร่เข้าไปในโลหะ ซึ่งสนามไฟฟ้านี้ทำให้แถบพลังงานบริเวณรอยสัมผัสของสารกึ่งตัวนำเกิดการโค้งงอขึ้น โดยที่การโค้งงอของแถบพลังงานด้านสารกึ่งตัวนำบริเวณรอยสัมผัสกับโลหะ มีความหมายว่ามีศักย์สัมผัส (contact potential : V_{bi}) หรือกำแพงศักย์ภายใน (potential barrier) เกิดขึ้นในด้านสารกึ่งตัวนำและทำหน้าที่ป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในแถบนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำไม่ให้เข้าไปในด้านโลหะ มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างฟังก์ชันงานของโลหะและฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ ดังสมการที่ (2.9)

$$qV_{bi} = q(\phi_M - \phi_S) \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.10 ระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำหลังการสัมผัส[13]

ส่วนความสูงกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนด้านโลหะซึ่งจะเคลื่อนที่ไปด้านสารกึ่งตัวนำ เรียกว่า กำแพงศักย์ช็อตกี (Schottky barrier: ϕ_{bn}) มีค่าดังสมการที่ (2.10)

$$q\phi_{bn} = q(\phi_M - \chi) \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

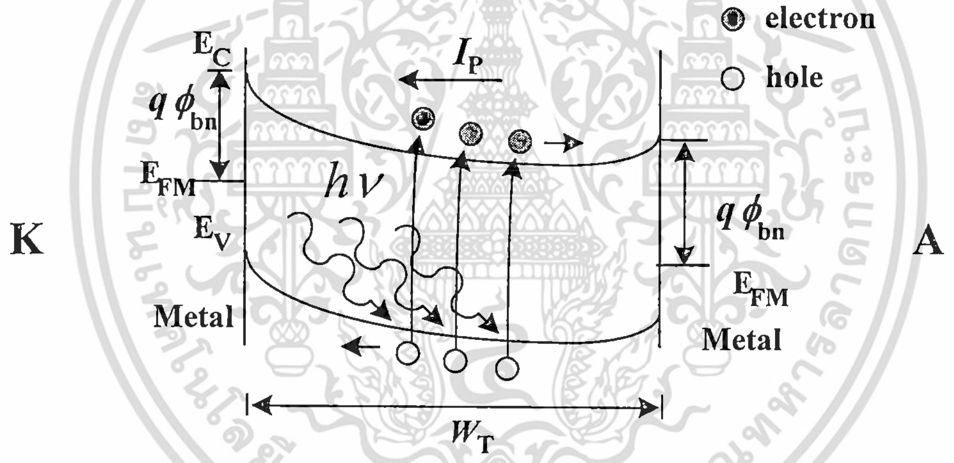
2.10โครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะขณะได้รับแสงตกกระทบ

เมื่อโครงสร้าง MSM ได้รับแสงแล้ว จะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล โดยที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าไปยังขั้วอาโนด ส่วนโฮลจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับสนามไฟฟ้าไปยังขั้วคาโทด ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลออกไปภายนอกอุปกรณ์ โดยกระแสแสง (I_P) ของโครงสร้าง MSM มีค่าดังสมการที่ (2.11)

$$I_P = I_{mea} - I_{dark} \tag{2.11}$$

โดยที่ I_{mea} คือ กระแสที่ได้จากการวัด

I_{dark} คือ กระแสรั่วไหลหรือกระแสมืดของ MSM



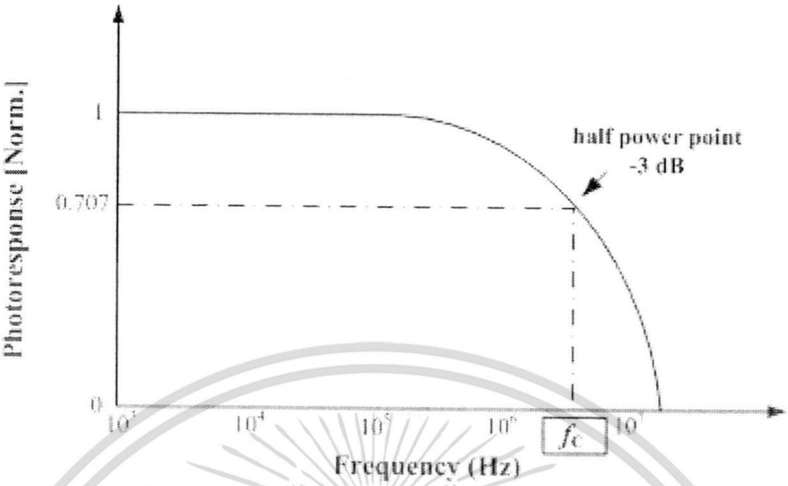
รูปที่ 2.11 แถบพลังงานภายหลังจากที่ได้รับแสงตกกระทบ[13]

2.11 การตอบสนองทางแสง

การตอบสนองทางแสง (photoresponse) คือ อัตราความเร็วในการทำงานเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่สัญญาณความถี่ค่าต่างๆ โดยอัตราการตอบสนองทางแสงจะมีค่าลดลงเมื่อสัญญาณทางแสงมีความถี่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติบางอย่างของตัวตรวจวัดแสง ซึ่งการลดลงของการตอบสนองทางแสงขณะที่สัญญาณแสงมีความถี่สูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.12 ในทางปฏิบัติการตอบสนองทางแสงจะมีค่าลดลงที่ความถี่ค่าหนึ่ง มีค่าประมาณ 0.707 เท่าของการตอบสนองทางแสงทั้งหมด ความถี่ค่านี้ถูกเรียกว่าความถี่คัทออฟ (cutoff frequency : f_C) ที่ความถี่นี้กำลังงานจะมีค่าลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง จุดนี้จึงถูกกำหนดว่าเป็นจุดกำลังลดลงครึ่งหนึ่ง (half power point) หรือมีค่า -3 dB ดังนั้นความถี่คัทออฟจึงมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงในเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายถึงค่าความถี่สูงสุดที่ตัวตรวจวัดแสงสามารถทำงานได้ ซึ่งความถี่ที่สูงกว่านี้จะทำให้กำลังงานของตัวตรวจวัดแสงมีค่าต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของกรณีความถี่ต่ำ



รูปที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองทางแสงกับความถี่ของสัญญาณ[13]

2.12 เครื่องมือการเตรียมสารละลายซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม

2.12.1 เครื่องชั่งสารแบบละเอียด

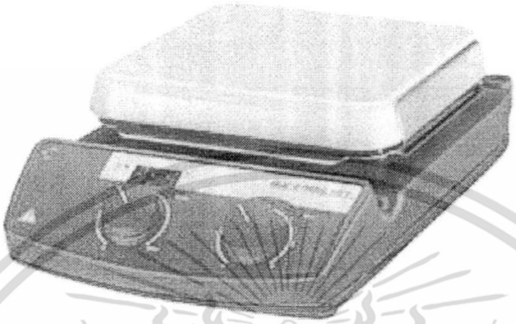
เครื่องชั่งสารที่ใช้จะมีความละเอียดที่สามารถชั่งที่มีความละเอียดถึงทศนิยม 3 ตำแหน่งดังรูปที่ 2.13

รูปที่ 2.13 เครื่องชั่งสารแบบละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 เครื่องกวนสารละลายชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน (Magnetic stirrer with hot plate)

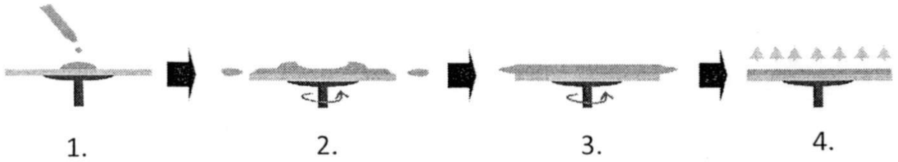
หลักการทำงานของเครื่องกวนสารละลายชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน จะใช้ร่วมกับ ลูกกวนแม่เหล็ก(Magnetic bar) และมีปุ่มปรับระดับความร้อนและความเร็วรอบในการหมุนและวัดอุณหภูมิในรูปของงศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เครื่องกวนสารละลายชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน

2.12.3 เครื่องหมุนเคลือบ (Spin coater)

เทคนิคหมุนเคลือบเป็นเทคนิคที่ใช้กันในช่วงหลายปีที่ผ่านมาโดยมีเครื่องหมุนเคลือบที่ใช้ ประยุกต์ทำฟิล์มบางได้ โดยมีขั้นตอนการทำดังนี้ 1.หยดสารละลายที่ต้องการเคลือบลงบนฐานรองรับที่ถูกดูดให้เป็นสุญญากาศติดอยู่บนฐานรองรับ 2.ให้ฐานรองรับหมุนตัวด้วยความเร็วที่ไม่สูงมากประมาณ 10 – 20 วินาที เพื่อทำให้ของเหลวที่หยดลงบนผิวหน้ากระจายไปทั่วฐานรองรับ 3.หมุนเร็วขึ้นตามค่าที่ต้องการด้วยความเร็วสูง เพื่อทำให้ได้ฟิล์มบางที่เรียบอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งฐานรองรับและให้ได้ความหนาที่บางสม่ำเสมอกันที่แผ่นฟิล์มบางโดยทั่วไปความหนาแน่นของการเคลือบจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการสปิน และค่าความหนืดของของเหลวชนิดนั้นๆ ขั้นตอนต่อไป 4.นำฐานรองที่เคลือบสารเรียบร้อยแล้วไปทำให้แห้ง การระเหยเป็นการเอาตัวทำละลายออกและเหลือเป็นแผ่นฟิล์มบางเคลือบบนฐานรองรับดังรูปที่ 2.15 วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และสามารถควบคุมปริมาณสารได้



http://www.free-photos.biz/photographs/science/chemistry/90771_solgel_spincoating.php

รูปที่ 2.15 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการหมุนเคลือบประกอบด้วย การหยดสารละลายลงบนฐานรองซึ่งจะหมุนด้วยความเร็วสูง เพื่อทำให้ของเหลวบางลงและระเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยความร้อนเพื่อทำให้สารละลายได้เป็นฟิล์มบาง มีสองกระบวนการ คือ Static dispense และ Dynamic dispense

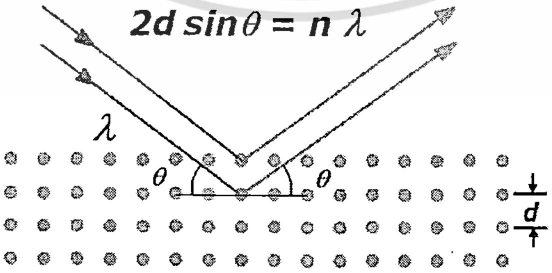
1. Static dispense เป็นวิธีการง่ายๆ โดยการหยดสารละลายลงบนฐานรองในขณะที่ยังไม่หมุนประมาณ 1 – 10 cc ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนืดของสารละลายและขนาดของฐานรองที่ใช้ ในการเคลือบความหนืดสูงและฐานรองที่กว้างๆเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการหยดสารละลายซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างการหมุนด้วยความเร็วสูง

2. Dynamic dispense เป็นการหยดสารละลายในขณะที่ฐานรองกำลังหมุนอย่างช้าๆ ด้วยความเร็วประมาณ 500 รอบ/นาที การกระจายของสารละลายทั่วฐานรองทำให้สิ้นเปลืองสารละลายน้อยกว่า เนื่องจากไม่ต้องหยดสารละลายในปริมาณมากๆทั่วๆพื้นผิวของฐานรอง

2.13 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทาง

2.13.1 การวิเคราะห์เชิงโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X- ray Diffractrometer : XRD)

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง(Non - destructive method) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึก ของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุวัฏภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง ซึ่งวัสดุที่เป็นผลึกคือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ การจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน แต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งค่าระยะห่าง d จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับธรรมชาติของผลึก จะเป็นไปตามกฎของ Bragg ดังสมการที่ 2.12

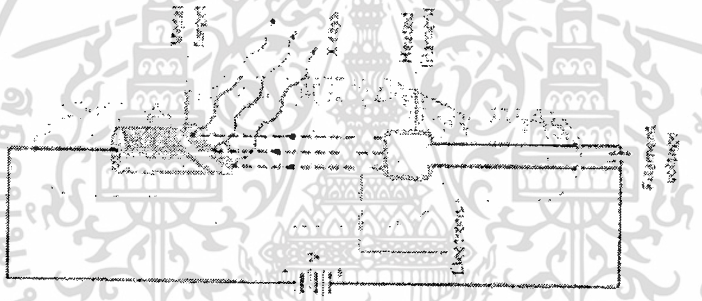


รูปที่ 2.16 กฎของ Bragg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

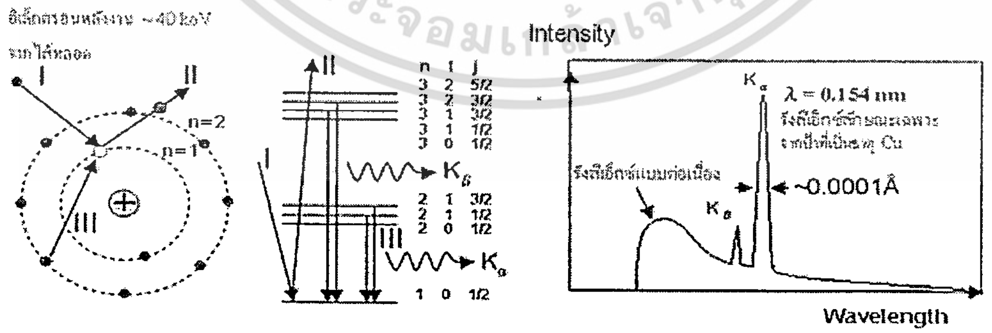
$$2d \sin\theta = n\lambda \tag{2.12}$$

ซึ่งการเกิดรังสีเอกซ์จะถูกสร้างขึ้นภายในหลอดปิดซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศดังรูปที่ 2.17 (ก) โดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวดฟิลาเมนท์ (Filament) ที่อยู่ภายในหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ซึ่งจะทำให้เส้นลวดร้อนขึ้นและก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากเส้นลวด อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูง ทำให้เคลื่อนที่เส้นลวดฟิลาเมนท์ที่เป็นขั้วแคโทดด้วยความเร็วสูงเข้าชนขั้วแอโนด ซึ่งโดยทั่วไปทำจากโลหะทองแดง อิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชนจะทำให้อิเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมทองแดงหลุดออกไปจึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้น เป็นผลให้อิเล็กตรอนวงนอกที่อยู่ถัดมา (L- และ M-shell) เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานลงมาแทนที่ช่องว่างนั้น โดยการคายรังสีเอกซ์ออกมาดังรูป2.17 (ข) รังสีเอกซ์ที่คายออกมาจะผ่านออกจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ไปยังสารตัวอย่าง และรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนออกจากสารตัวอย่างจะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์ตรวจจับรังสีเอกซ์



http://www.neutron.rmutphysics.com/teaching-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=8624

(ก)



http://www.thps.org/oldweb/article/2501/3/article250103.html

(ข)

รูปที่ 2.17 (ก) และ(ข) การเกิดรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.12) เรียกว่า กฎของแบรกก์ในทางผลึกวิทยา (Crystallography) สามารถมองผลึกว่าประกอบด้วยระนาบของอะตอมต่างๆ โดยการระบุระนาบจะใช้สัญลักษณ์ (h k l) ซึ่งค่า *hkl* เรียกว่า ดัชนีมิลเลอร์ (Miller indices) เป็นเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 0,1,2,... ระยะห่างระหว่างระนาบในชุดเดียวกันขึ้นอยู่กับดัชนีมิลเลอร์ (h k l) และค่าคงที่ของโครงผลึก (a, b, c, α, β ,γ) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของระนาบกับค่าคงที่ของโครงผลึกจะมีต่างกันไปตามระบบผลึกแบบต่างๆ

ในกรณีอย่างง่าย เมื่อพิจารณาผลึกที่มีโครงสร้างแบบคิวบิค (Cubic) ซึ่งมีค่าคงที่โครงผลึกดังนี้ $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}C$ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \tag{2.13}$$

จากสมการ (2.12) เมื่อ n = 1 แทนใส่ในสมการ (2.13) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของระนาบกับค่าคงที่ของโครงผลึกดังสมการ

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4\sin^2\theta}{\lambda^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \tag{2.14}$$

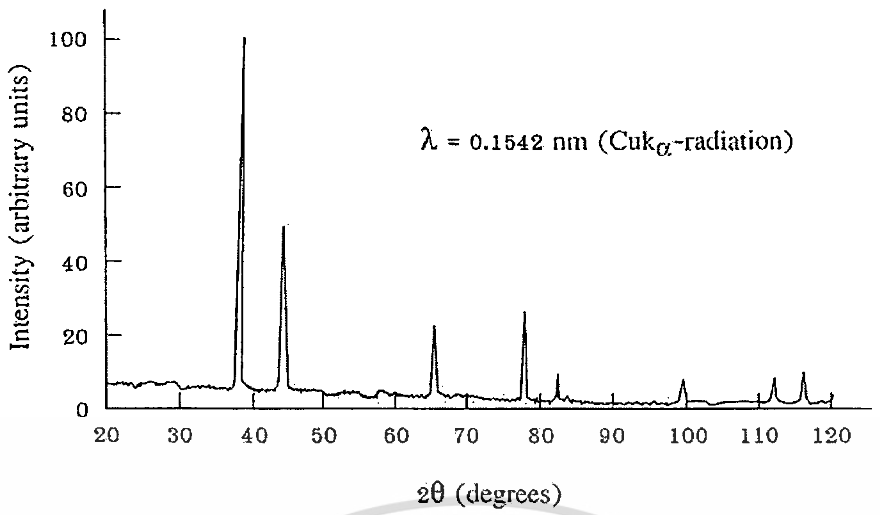
เมื่อ a คือ ค่าคงที่แลตทิซ

λ คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน

ระนาบต่างๆในผลึกไม่ได้ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบนเสมอไป ระนาบใดที่รังสีเอกซ์ตกกระทบแล้วกระเจิงออกมาสอดคล้องกับกฎของแบรกก์ เรียกว่า ระนาบแบรกก์ (Bragg plane) มุมที่รังสีสะท้อนทำกับระนาบที่ขนานกับรังสีตกกระทบ เรียกว่า มุมเลี้ยวเบน (Diffraction angle) ซึ่งมีค่าเป็น 2 เท่าของมุมสะท้อน เมื่อนำฟิล์มบางที่เตรียมขึ้นมาไปวัดด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนและมุมเลี้ยวเบนต่างๆจะถูกตรวจหา ค่าทั้งสองจะนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและมุมเลี้ยวเบนที่ได้ เรียกว่า แบบอย่างการเลี้ยวเบน (Diffraction pattern) ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะสำหรับธาตุหรือสารประกอบชนิดเดียวกัน เมื่อได้ข้อมูลที่กล่าวมาแล้วก็จะสามารถคำนวณหาค่าคงที่ของโครงผลึกรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แสดงดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

จากสมการ Sherrer's equation สามารถหาค่าขนาดของเม็ดผลึกได้ดังนี้ (Grain size)

$$D = \frac{K\lambda_X}{\beta_{2\theta}\cos\theta} \tag{2.15}$$

เมื่อ D คือ ขนาดของเม็ดผลึก

K คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับขนาดและรูปร่างของเม็ดผลึก $(0.89 \le K \le 0.94)$

θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน

$\beta_{2\theta}$ คือ ค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างสูงสุดของยอดการเลี้ยวเบน

(Full Width at Half-Maximum of the diffraction peak: FWHM)

λ_X คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

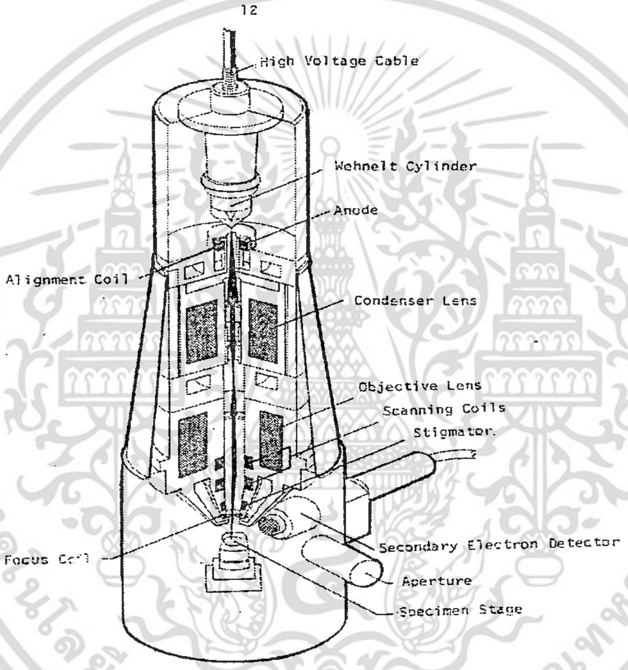
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2. การวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

Scanning Electron Microscope เรียกโดยย่อว่า SEM หรือในภาษาไทยเรียกว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพขยายเช่นเดียวกับเครื่อง Transmission Electron Microscopy (TEM) แต่มีความแตกต่างในรายละเอียดของกระบวนการในการสร้างภาพอย่างมาก เครื่อง SEM เครื่องแรกประดิษฐ์ขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 1960 จากนั้น เครื่อง SEM ก็ค่อยๆกลายเป็นเครื่องมือที่นำไปประยุกต์ใช้แพร่หลายทั่วไป ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การแพทย์ อุตสาหกรรม นิติวิทยาศาสตร์ โบราณคดี และอื่นๆอีกหลายด้าน ซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ Electron Gun จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสให้เข้มขึ้นและเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงโดย Condenser Lens จากนั้นจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวตัวอย่าง โดย Objective Lens ซึ่ง ณ ตอนนี้ อิเล็กตรอนที่ตกลงบนผิวตัวอย่างจะเป็นเพียงจุดที่เล็กมาก Scan Coil จะควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนให้กวาดจากซ้ายไปขวา เมื่อสุดก็เลื่อนลงอีกขั้นและกวาดจากซ้ายไปขวาอีกครั้ง เป็นเช่นนี้จนครบแฟรม การกวาดลำอิเล็กตรอนเช่นนี้เรียกว่า Raster scan และเมื่อครบแฟรม แล้วก็จะไปเริ่มสแกนที่จุดแรกใหม่ ในการกวาดลำอิเล็กตรอนในแต่ละแฟรม จะถูกกำหนดจำนวนจุดและแถวไว้อย่างแน่นอน โดยในภาพตัวอย่าง 1 แฟรม ตามเส้นตามแนวนอนจะประกอบด้วยจุด 1000 จุด และมีทั้งหมด 1000 เส้น ที่ผิวตัวอย่างที่อิเล็กตรอนตกใส่ จะเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนขึ้นหลายรูปแบบซึ่งคล้ายกับการที่แสงตกกระทบวัตถุและสะท้อนออกจากผิววัตถุ ในที่นี้ถ้ากล่าวอย่างง่าย ๆ ว่าถ้าผิวตัวอย่างเรียบก็จะให้สัญญาณสะท้อนอิเล็กตรอนได้ดี แต่ถ้าผิวตัวอย่างเป็นหลุมลึกก็จะไม่ให้สัญญาณหรือให้ได้น้อย ซึ่งเราสามารถรับสัญญาณได้โดยใช้ตัวตรวจจับที่เหมาะสมกับชนิดของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะนำมาขยายให้มีความแรงที่เหมาะสมแล้วนำมาสร้างเป็นภาพ ถ้าเราใช้หลอดรังสีแคโทด (Cathod ray tube, CRT) เพื่อแสดงภาพ ในหลอดรังสีแคโทดจะมีการสร้างลำอิเล็กตรอนและถูกบีบให้เป็นลำเล็กๆ แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าในกล้องของเครื่อง SEM มาก กล่าวคือในเครื่อง SEM ลำอิเล็กตรอนมีขนาดศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร แต่ในจอภาพมีขนาดศูนย์กลางประมาณ 0.1 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของลำอิเล็กตรอนของเครื่อง SEM ต่อ จอภาพจะพบว่าห่างกันถึง 20000 เท่า ทำให้เกิดเป็นอัตราส่วนของกำลังขยายที่จะให้ภาพที่มีรายละเอียดได้ดีซึ่งจะได้กล่าวต่อไป การสแกนในจอภาพจะถูกควบคุมให้มีการสแกนแบบ Raster scan พร้อม ๆ กับการสแกนของลำอิเล็กตรอนในกล้อง ขณะเดียวกันความสว่างของจุดอิเล็กตรอนในจอภาพจะขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณจาก Amplifier ที่ขยายสัญญาณจากตัวตรวจจับ รับสัญญาณอิเล็กตรอนในกล้อง ถ้าสัญญาณแรงก็จะให้ความสว่างของลำอิเล็กตรอนมาก เมื่อส่งลงบนจอภาพก็จะปรากฏเป็นจุดสว่าง ในทางกลับกันถ้าสัญญาณเบาก็จะได้จุดที่มีความสว่างน้อย บนจอก็จะปรากฏเป็นจุดสว่างน้อยด้วย บนจอภาพ จะทำการเรียงจุดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ได้นี้เป็นแถวจนครบแฟรมก็จะได้เป็นภาพออกมา ถ้าบนจอภาพมีขนาดกว้างและยาวเป็น 20 เซนติเมตร และเรากำหนดการกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้อง ให้ 1 แฟรมมีพื้นที่ขนาด กว้างยาวเป็น 20 เซนติเมตรด้วย อัตราส่วนการขยายของภาพก็จะเป็น 1 เท่า แต่ถ้าเราให้การกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้องเป็นพื้นที่ 1 x 1 เซนติเมตร ก็จะขยายภาพเป็น 20 เท่า แต่ในความเป็นจริงขนาดของการสแกน 1 แฟรมในกล้องอาจควบคุมให้เล็กมากถึงระดับไมโครเมตรโดยที่การสแกนบนหน้าจอยังเท่าเดิม ดังนั้นการขยายจึงได้ถึงระดับหมื่นเท่าอิเล็กตรอนจาก Column ของเครื่อง SEM เราเรียกว่า Primary Electron เมื่อตกกระทบผิวตัวอย่างจะมีสัญญาณหลายอย่างเกิดขึ้น แต่พอจะแบ่งเป็นกลุ่มได้สองกลุ่มคือ Inelastic scattering และ Elastic scattering ซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานของ SEM ดังรูปที่ 2.19



http://www.elecnet.chandra.ac.th/learn/courses/5513101/termwork/sem/pong/4.html

รูปที่ 2.19 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่อง SEM ที่เป็นจุดกำเนิดภาพ

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun)

อยู่ด้านปลายบนสุดของ Column ซึ่งต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูงที่ต่อจากหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงซึ่งแปลงจาก 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ เป็นไฟฟ้าที่มีความดันไฟฟ้าสูงคือระหว่าง 1-30 กิโลโวลต์ ซึ่งเพียงพอสำหรับ SEM แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนประกอบด้วยลวดโลหะTungsten ที่บิดเป็นรูปตัววีเรียกว่า Filament และล้อมด้วยโลหะรูปกรวย (Wehnelt cylinder) มีรูอยู่ปลายกรวย เมื่อกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 1000 โวลต์ จะไปเข้ามาสู่ Filament ลวดตัววีดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูง ประจุอิเล็กตรอนก็จะกระจาย ออกมาในสภาวะสุญญากาศภายใน Column ประจุอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจะถูกดึงดูดด้วยแผ่นขั้วบวก (Anode plate) ที่อยู่ด้านล่างของ Electron gun ประจุอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกดึงผ่านรูของกรวยไปยังทิศทางที่กำหนด คือ บริเวณสนามแม่เหล็กที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถรวบรวมประจุ อิเล็กตรอนที่มีอยู่ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นเพียงพอสำหรับฉายลงบนตัวอย่าง Electron gun ซึ่งมี filament และ Wehnelt cylinder อยู่ภายในสามารถทำให้ขยับเขยื้อนได้ด้วยสกรูที่อยู่รอบๆด้านนอก Electron gun ทั้งนี้เพื่อปรับให้ Electron gun อยู่ในแนวตรงได้ ศูนย์กลางหรือตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กของเลนส์สนามแม่เหล็กภายใน Column ใน SEM สมัยใหม่นอกจากจะมีปุ่มหรือสกรูที่ช่วยปรับ Electron gun ให้ได้ศูนย์แล้วยังมีขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณแผ่นขั้วบวก เพื่อจะช่วยปรับลำแสงอิเล็กตรอนให้อยู่ศูนย์กลางของสนามแม่เหล็กในเลนส์ชุดแรกขดลวดดังกล่าวเรียกว่า Aligment coil ซึ่งสามารถควบคุมและปรับได้ตามต้องการโดยหมุนและปรับปุ่ม (Alignment knobs) บนแผงของ Console Unit เหตุที่ต้องปรับ Electron gun ก็เพื่อจะให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์เป็นรูปทรง กระบอกที่ไม่บิดเบี้ยวหรือเบี้ยวออกไปจากศูนย์กลางหากมีการบิดของลำแสงอิเล็กตรอนออกนอกทิศทาง อิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron) บางส่วนจะถูกกั้นออกไปซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron)

2. เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอน (Electronmagnic Lens & Scan coils)

เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ลำแสงดังกล่าวไปตกกระทบ บนผิวตัวอย่างและจะใช้สนามแม่เหล็กขับหรือผลักให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างในแนวที่ต้องการเป็นบริเวณ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเลนส์แต่ละชุดมี Aperture ซึ่งเป็นโลหะประเภททองขาวทองเหลืองมีรูปขนาดต่างๆกัน (50 – 400 um)และสามารถ เปลี่ยนได้ตามขนาดที่ต้องการ Aperture ดังกล่าวมักจะจัดไว้ในเลนส์แต่ละชุดภายในบริเวณที่ไร้สนามแม่เหล็กของเลนส์ Aperture เหล่านั้น ทำหน้ามี่กำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่ผ่านสนามแม่เหล็กของเลนส์แต่ละชุดให้มีรูปกรวยที่สมมาตร Aperture ของเลนส์ชุดสุดท้ายก่อน ที่ลำแสงอิเล็กตรอนจะมาสัมผัสกับตัวอย่างเป็น Aperture พิเศษเรียกว่า Objective Aperture มีไว้เพื่อกรองลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปกรวย ขนาดเล็กที่มีความสมมาตรที่สุดและกำหนดขนาดและปริมาณของอิเล็กตรอนให้กระทบจุดต่างๆบนผิวตัวอย่างเพื่อให้ภาพที่มีความลึกมากกว่าปกติขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้กราดไปบนผิวของตัวอย่างชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์นี้เรียกว่า Scan coils ซึ่งควบคุมโดยระบบไฟฟ้าและยังควบคุมการกราดของลำแสงที่เป็นเส้นในจอรับภาพ ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทาง และเวลาเดียวกันกับลำแสงอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง SEM (specimen chamber)

เป็นช่องว่างใต้เลนส์สุดท้ายส่วนที่สำคัญของช่องใส่ตัวอย่างคือฐานวางตัวอย่างและปุ่มควบคุมโดยใช้เฟืองขนาดต่างๆเพื่อเลื่อนฐานนี้ให้เลื่อนไปมาภายในช่องตัวอย่างได้อย่างน้อย 6 ทิศทางฐานวางตัวอย่างที่ มีส่วนประกอบและคุณสมบัติเหล่านี้เรียกว่า Goniometer stage

4. อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Collector & Scintillator)

เป็นแท่งแก้วใสมีปลายมลทำด้วยพลาสติกฉาบผิวด้วยอลูมิเนียมและส่วนปลายของแท่งนี้ล้อมด้วยตาข่ายโลหะที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุบวกขนาด 30-250 โวลท์ เพื่อดึงดูดประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิอันเกิดจากปฏิกิริยา ระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับผิวของตัวอย่าง

5. อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (Imaging & Photographic devices)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพและภาพที่ปรากฏบนจอภาพ ก็พร้อมที่จะทำการบันทึกอุปกรณ์สร้างภาพประกอบด้วยท่อนำแสงและเครื่องขยายและเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอน ให้เป็นแสงไฟฟ้าการสร้างภาพเริ่มจากประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งประจุอิเล็กตรอนชุดนี้จะถูกจับและรวบรวมไว้แล้วนำสู่แท่งแก้วใสประเภทท่อนำแสงในลักษณะของแสงแสงที่ผ่านท่อแท่งแก้วนี้จะเคลื่อนไปสู่เครื่องขยายแสง (Photomultiplier) ซึ่งจะเปลี่ยนแสงชนิดโฟตอน นี้ไปอิเล็กตรอนอีกครั้งหนึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏในจอภาพที่ติดตั้งไว้บน Consoleunit

2.13.3 การวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงด้วยเครื่องยูวีวิซิเบิลสเปกโตรสโคปี (UV – VIS Spectrophotometer)

การวิเคราะห์สมบัติทางแสงโดยใช้เทคนิคการทะลุผ่านของแสง ด้วยเครื่อง UV – VIS Spectrophotometer จะเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารอินทรีย์ ในปัจจุบันเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและได้กลายมาเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญในปัจจุบัน เป็นเทคนิคที่ง่าย มีความรวดเร็ว มีความแม่นยำสูง และใช้ค่าใช้จ่ายไม่สูงอีกด้วย

เทคนิคนี้เลือกใช้แสงในช่วงอัลตราไวโอเลต (ความยาวคลื่น 380 – 800 นาโนเมตร) และช่วงแสงที่ตามองเห็น (ความยาวคลื่น 380 – 700 นาโนเมตร) อาศัยกระบวนการดูดกลืนและการส่งผ่านของแสง โดยเมื่อแสงผ่านไปยังตัวอย่าง ตัวอย่างจะมีการดูดกลืนแสงบางส่วนไว้และแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนก็จะสามารถผ่านตัวอย่างออกไปได้ ซึ่งช่วงแสงที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนไว้จะเป็นการแสดงถึงสมบัติทางแสงของตัวอย่างนั้น กล่าวคือตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้ออกมานั้นแสดงถึงสมบัติเฉพาะตัวของตัวอย่างนั้นด้วย เทคนิคก็สามารถใช้ยืนยันตัวอย่างได้เบื้องต้นเท่านั้น องค์ประกอบสำคัญของเครื่อง UV-Vis Spectrometer แบ่งออกได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Source หรือแหล่งกำเนิดแสงซึ่งให้กำเนิดแสงในช่วง UV และ visible โดยแหล่งกำเนิดแสงในช่วง UV ได้แก่ deuterium หรือ hydrogen lamps ซึ่งจะให้แสงในช่วง 160 - 375 นาโนเมตร ส่วนแหล่งกำเนิดแสงในช่วง visible จะนิยมใช้ tungsten filament lamp หรือ tungsten/halogen lamp ซึ่งจะให้แสงในช่วง 350 – 2500 นาโนเมตร

2. Monochromator (Wavelength Selector) ทำหน้าที่แยกลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง โดยแสงจะผ่านเข้าที่ entrance slit และจะถูกแยกด้วย grating หรือ prism จากนั้นแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ เท่านั้นจะออกจาก Monochromator โดยผ่านทาง exit slit

3. Detector เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดแสงที่ผ่านสารตัวอย่างออกมา โดย detector ที่ใช้มีหลายชนิดได้แก่

a. Photomultiplier tube เป็น detector ที่ไวต่อแสงทั้งในช่วง UV และ visible โดยสามารถตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว และตรวจวัดสารที่มีปริมาณต่ำ ๆ ได้ดี ในช่วงความยาวคลื่น 190 – 900 นาโนเมตร

b. Photodiode array detector เป็น detector ที่สามารถตรวจวัดในทุกความยาวคลื่นของแสงได้ในเวลาเดียวกัน โดยมีราคาถูกและตรวจวัดได้ตั้งแต่ช่วง 190 – 1100 นาโนเมตร

นอกจากการวิเคราะห์ในรูปสารละลายแล้ว เทคนิคนี้ก็ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในรูปของแข็งได้อีกด้วย เช่น การตรวจสอบวัสดุพอลิเมอร์ เช่น พลาสติก กระจก แก้ว ผ้า การตรวจสอบเพชร พลอย การวิเคราะห์ทางด้านโปรตีน DNA, RNA การวิเคราะห์ด้านสี ด้านอาหาร และด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2.14 การวิเคราะห์การตอบสนองทางแสง (Photoresponse measurcment)

กระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำเป็นกระบวนการที่สารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับแสงแล้วเกิดกลไกภายในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งประกอบไปด้วย การดูดกลืนพลังงานของแสงที่ตกกระทบแล้วทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล และการรวมตัวของคู่อิเล็กตรอน-โฮล ซึ่งแสงจะมีสมบัติพื้นฐาน คือ แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นแสงแตกต่างกันไป แสงที่ตามนุษย์เรามองเห็นเรียกว่า แสงมองเห็น (visible light) ซึ่งมีความยาวอยู่ในช่วงประมาณ 400 - 700 นาโนเมตร โดยที่แสงมีทั้งคุณสมบัติที่เป็นทั้ง "คลื่น" และ "อนุภาค" ปรากฏการณ์ที่แสงแสดงลักษณะสมบัติเป็นคลื่นก็คือ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด เป็นต้น

ในทางฟิสิกส์แบบควอนตัม คลื่นแสงถูกพิจารณาว่ามีลักษณะสมบัติเป็นอนุภาค โดยที่อนุภาคของแสงนี้ถูกเรียกว่าเป็น โฟตอน (photon) และพลังงานของโฟตอนแปรกับความถี่ของคลื่นแสงโดย

$$E_{\text{photon}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1.24}{\lambda} \quad \text{eV} \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ν คือ ความถี่ (Hz)

λ คือ ความยาวคลื่นแสง (μm)

h คือ ค่าคงที่ของแพลงค์ มีค่าเท่ากับ 6.626×10^{-34} J-sec

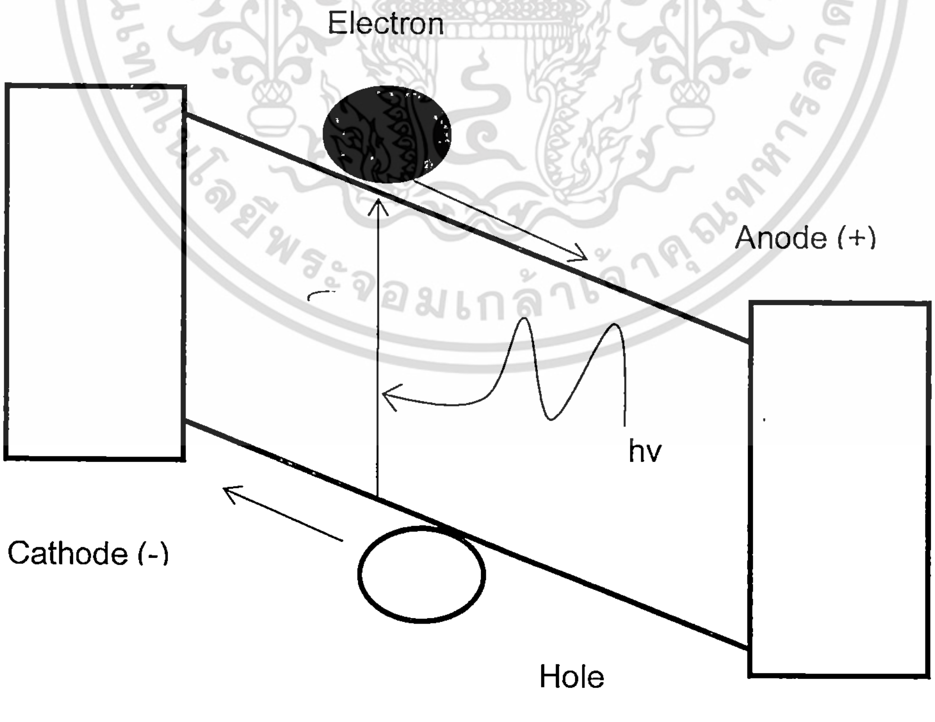
c คือ ความเร็วแสง มีค่าเท่ากับ 3×10^{8} m/sec

เมื่อพลังงานโฟตอนของแสงมีค่ามากกว่าขนาดของช่องว่างพลังงาน (Energy gap : E_g) ของสารกึ่งตัวนำ หรือ $E_{photon} \geq E_{g(semi)}$ สารกึ่งตัวนำจะดูดกลืนพลังงานแสง ทำให้เกิดเป็นคู่อิเล็กตรอน-โฮล ในสารกึ่งตัวนำ ความนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจึงเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแสง ส่วนกรณีที่ $E_{photon} < E_{g(semi)}$ การดูดกลืนแสงจะไม่เกิดขึ้น ดังนั้นในการวิเคราะห์การตอบทางแสงก็อาศัยหลักการข้างต้น คือ เมื่อแสงส่องมายังสารกึ่งตัวนำคู่อิเล็กตรอน-โฮล และคู่อิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นมีการเคลื่อนที่ไปยังขั้วต่างชนิดกันจึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.20โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.17

$$R = \frac{\Delta n}{\tau} \tag{2.17}$$

Δn เป็นจุดศูนย์กลางการเกิดอิเล็คตรอน

τ เป็นค่าช่วงชีวิตที่เกินกว่าปกติ



รูปที่ 2.20 การตอบสนองทางแสงในสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในการปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียม (ZnO:Mg) สามารถทำได้หลายวิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการเคลือบด้วยสารละลายโซลเจล ด้วยเทคนิคหมุนเคลือบ (Spin coating) มาใช้ในการปลูกฟิล์มบางเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย มีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ราคาถูก สามารถทำในระบบเปิด และสามารถควบคุมปริมาณการเจือสารได้

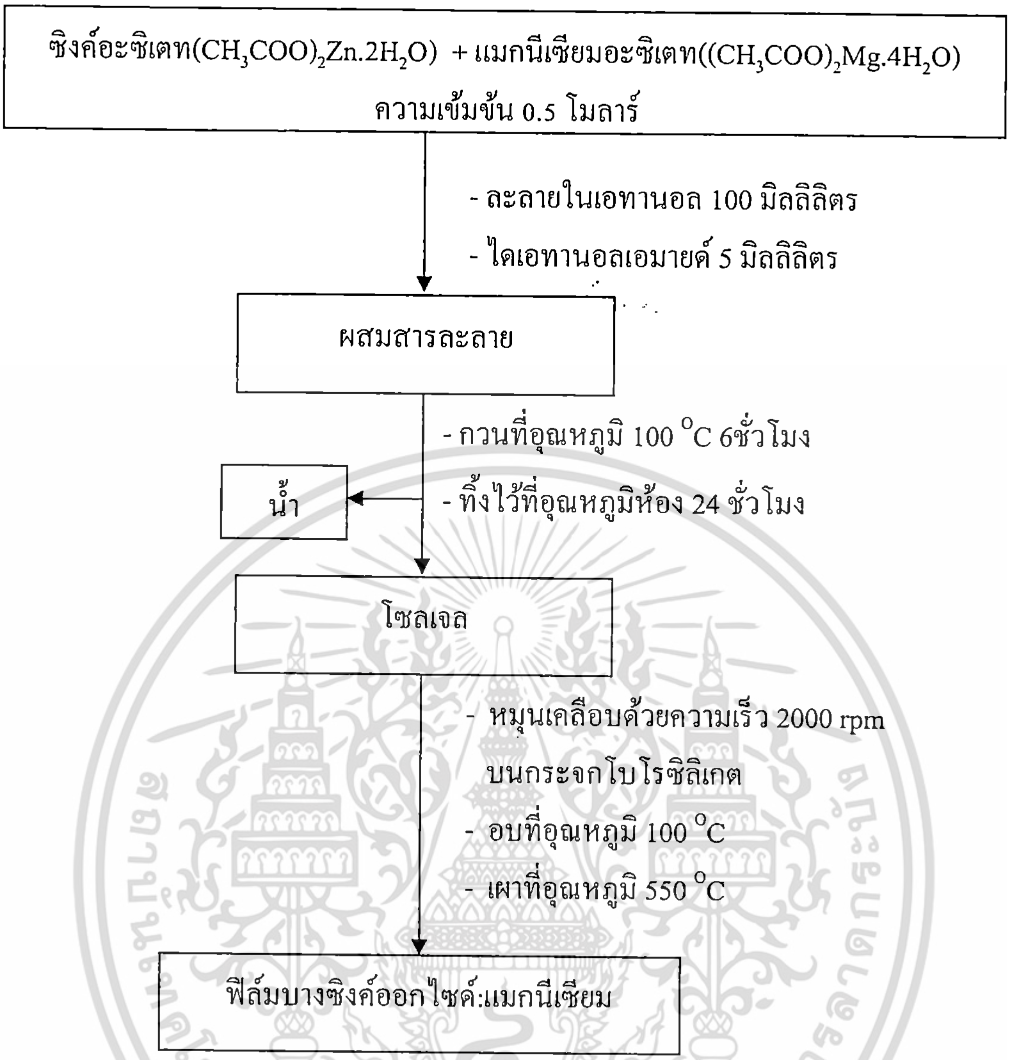
3.1 การเตรียมสารแมกนีเซียมอะซิเตท ซิงค์อะซิเตท ไนโตรเจนอะซิเตท และอะลูมิเนียมอะซิเตท

ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียม เตรียมโดยซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรท $(CH_3COO)_2Zn.2H_2O)$ แมกนีเซียมอะซิเตทเตตะไฮเดรท $((CH_3COO)_2Mg.4H_2O)$ เอทานอล (C_2H_5OH) และไดเอทานอลเอมายด์ $(HN(CH_2OH)_2$, DEA) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ที่เตรียมด้วยวิธีการเคลือบ โดยสารละลายโซลเจล สารละลายที่เตรียมขึ้นใช้ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ที่แตกต่างกันคือ 0% 3% 8% 10%และ 20% ที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ฟิล์มที่เตรียมทั้งหมดถูกหมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและแอนนิลที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 400 ^{o}C 450 ^{o}C 500 ^{o}C และ550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในบรรยากาศปกติ ซึ่งแสดงขั้นตอนการเตรียมเตรียมฟิล์มบางดังรูปที่ 3.1 และตารางแสดงปริมาณการเตรียมสารแมกนีเซียมอะซิเตท และซิงค์อะซิเตท ดังตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 ปริมาณการเตรียมสารแมกนีเซียมอะซิเตทและซิงค์อะซิเตท

ปริมาณสารที่แมกนีเซียมต่างกัน (Mol)	ที่ 100 มิลลิลิตร(ml)	
	แมกนีเซียมอะซิเตท (g)	ซิงค์อะซิเตท (g)
3%	0.322	10.645
8%	0.858	10.097
10%	1.072	9.877
20%	2.144	8.779

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

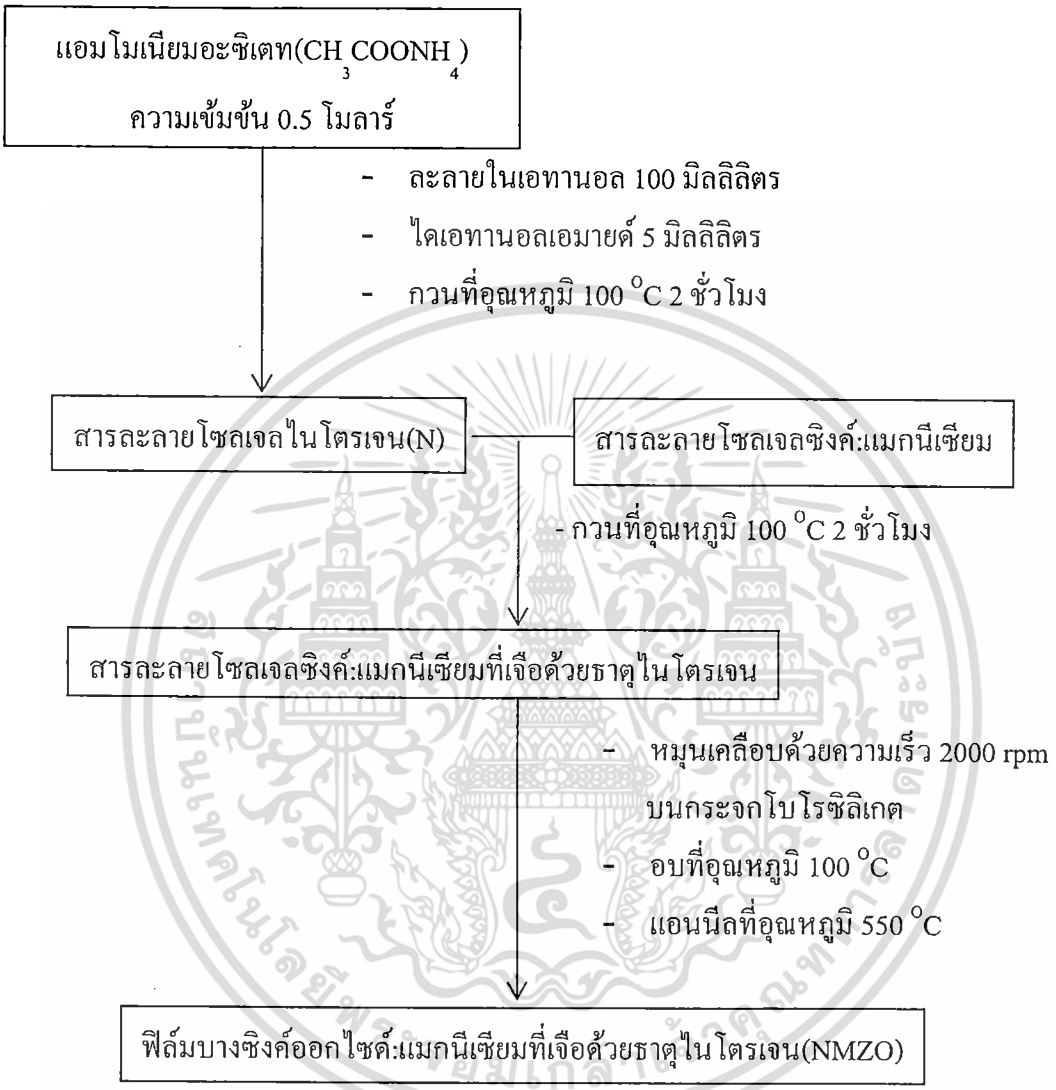


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียม

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลการเพิ่มประสิทธิภาพต่อการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมด้วยการเจือธาตุไนโตรเจน (N) และอะลูมิเนียม (Al) ซึ่งมีวิธีการเตรียมสารละลายโซลเจลไนโตรเจนดังนี้ เตรียมได้โดยแอมโมเนียมอะซิเตท (CH_3COONH_4) เอทานอล (C_2H_5OH)และไดเอทานอลเอมายด์ ($HN(CH_2OH)_2$, DEA) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ สารละลายที่เตรียมขึ้นใช้ปริมาณไนโตรเจน(N)ที่แตกต่างกันคือ 5% และ 10% ด้วยวิธีการสารละลายโซลเจล ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อได้สารละลายโซลเจลไนโตรเจนแล้ว นำไปผสมกับสารละลายโซลเจลซิงค์: แมกนีเซียมหลังจากนั้นกวนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ฟิล์มที่เตรียมทั้งหมดถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนิลที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในบรรยากาศปกติ ซึ่งแสดงขั้นตอนการเตรียมเตรียมฟิล์มบางดังรูปที่ 3.2

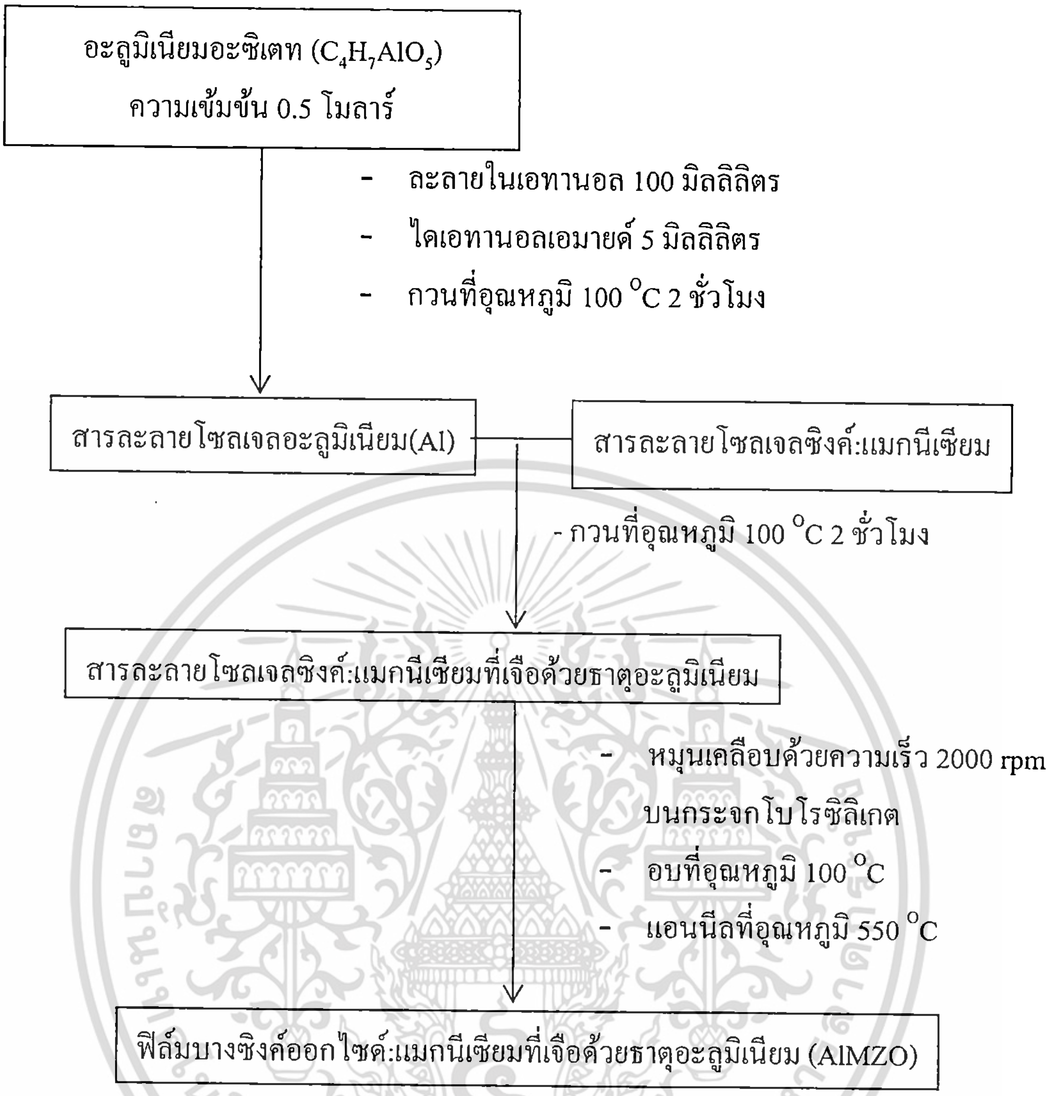


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีวิธีการเตรียมสารละลายโซลเจลอะลูมิเนียมดังนี้ อะลูมิเนียมอะซิเตท($C_4H_7AlO_5$) เอทานอล (C_2H_5OH) และไดเอทานอลเอมายด์ ($HN(CH_2OH)_2$, DEA) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ สารละลายที่เตรียมขึ้นใช้ปริมาณอะลูมิเนียม (Al) ที่แตกต่างกันคือ 5% และ 10% ด้วยวิธีการ สารละลายโซลเจลที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อได้สารละลายโซลเจลอะลูมิเนียมแล้วนำไปผสมกับสารละลายโซลเจลซิงค์: แมกนีเซียม หลังจากนั้นกวนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ฟิล์มที่เตรียมทั้งหมดถูกหมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนิลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในบรรยายกาศปกติ ซึ่งแสดงขั้นตอนการเตรียม เตรียมฟิล์มบางดังรูปที่ 3.3 และตารางแสดงปริมาณการเตรียมสารแอมโมเนียมอะซิเตทและอะลูมิเนียมอะซิเตทดังตารางที่ 3.2 หลังจากนั้นนำฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมไปวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) วิเคราะห์สมบัติเชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) วิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องวิธีการวัดการทะลุผ่านของแสง(UV-Vis Spectroscopy) และวิเคราะห์การตอบสนองทางแสงของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียม (Photoresponse Measurement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุอะลูมิเนียม

ตาราง 3.2 ปริมาณการเตรียมสารแอมโมเนียมอะซิเตทและอะลูมิเนียมอะซิเตท

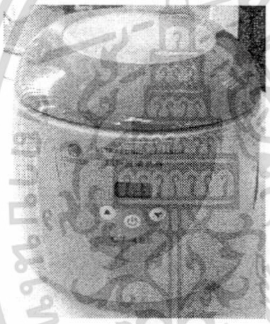
ปริมาณสารที่ค่าต่างกัน (Mol)	ที่ 100 มิลลิลิตร(ml)	
	แอมโมเนียมอะซิเตท (g)	อะลูมิเนียมอะซิเตท (g)
5%	0.193	0.405
10%	0.385	0.810

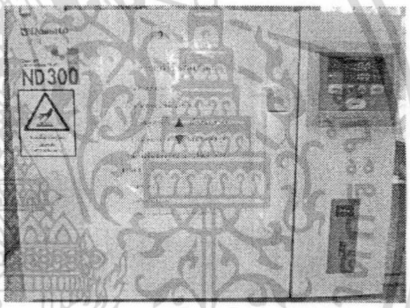
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมกระจกสไลด์ที่ใช้ในการปลูกฟิล์ม

งานวิจัยนี้ใช้ฐานรองรับเป็นกระจกโบโรซิลิเกตในการปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1. ตัดกระจกสไลด์ กว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 3.5 เซนติเมตร
2. ล้างด้วยน้ำยาล้างคราบไขมัน
3. ล้างด้วยน้ำสะอาด และ ล้างด้วยน้ำปลอดประจุ(DI) ด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 10 นาที
4. ล้างด้วยอะซิโตน ด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 10 นาที
5. ล้างด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ 99.9 % ด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 10 นาที
6. อบให้แห้งด้วยตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C


(a)



(b)

รูปที่ 3.4 (a) เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (b) ตู้อบความร้อน

3.3 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธีการหมุนเคลือบ (spin coating)

1. นำกระจกสไลด์ที่เตรียมไว้มาอบที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C เป็นเวลา 30 นาที
2. นำกระจกสไลด์ที่อบเสร็จแล้ว วางลงบนแป้นหมุน
3. กำหนดความเร็วรอบและเวลาในการหมุน 2000 rpm
4. เปิดเครื่องหมุนและระบบสุญญากาศ
5. หยดสารให้คลุมประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของแผ่นแก้ว
6. ปิดฝาเครื่อง กดสวิตซ์เปิดเครื่อง
7. นำกระจกสไลด์ที่เคลือบสารแล้ว อบที่อุณหภูมิประมาณ 100 ^{o}C เป็นเวลา 5 นาที
8. นำไปแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกันที่ 400 450 500 และ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) (b)

รูปที่ 3.5 (a)เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กพร้อมแผ่นให้ความร้อน (b) เครื่องหมุนเคลือบ

3.4 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง

3.4.1 การวิเคราะห์เชิงโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

(X - ray Diffractrometer : XRD)

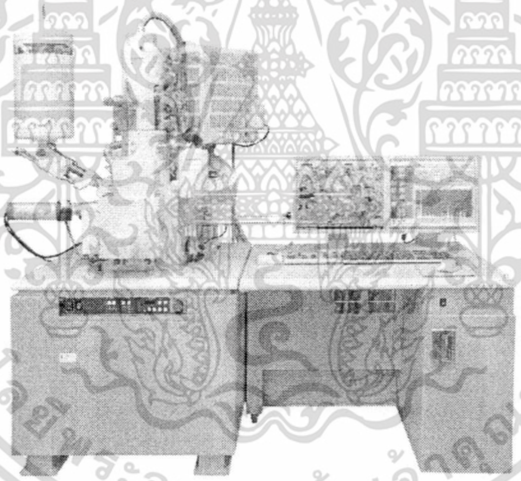
การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยระบบวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) คือระบบที่ใช้หลักการเลี้ยวเบนตามกฎของแบรกก์ กราฟที่ได้จากการตรวจสอบฟิล์มบางเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ต่อมุมเลี้ยวเบนภายในผลึก ซึ่งธาตุหรือสารประกอบแต่ละชนิดมีมุมและลักษณะการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงสามารถบอกลักษณะโครงสร้างและชนิดของฟิล์มได้ ซึ่งสามารถอ่านรายละเอียดการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ได้จากหัวข้อ 2.13.1 ในงานวิจัยนี้เราตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางโดยระบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ด้วยเครื่อง XRD รุ่น D8 ของบริษัท Bruker ซึ่งใช้ Cu Kα เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นรังสีเอกซ์และมีความยาวคลื่น 1.5046 อังสตรอม ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM)

การวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวเป็นการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง ได้จากการบังคับอิเล็กตรอนให้กวาดไปบนพื้นผิวแล้วแสดงผลบนจอ (Cathode Ray Tube (CRT)) มีลักษณะของภาพเป็นภาพขาวดำ มีกำลังขยาย 10 – 300,000 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง หลักการทำงาน คือ อันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับตัวอย่าง ทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ(Secondary Electron : SE) และจับสัญญาณ โดยตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector) นำสัญญาณที่ได้ไปขยายและสร้างภาพบนจอ ซึ่งสามารถอ่านรายละเอียดการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวได้จากหัวข้อ 2.13.2 ในทางวิจัยนี้วิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวของแผ่นฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของบริษัท LEO รุ่น LEO 1455 VP ดังรูปที่ 3.7

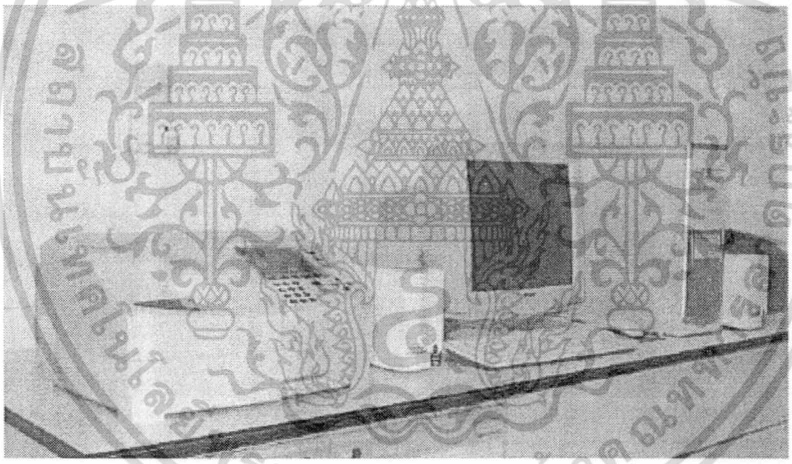


รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องวัดการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มบาง (Ultraviolet – Visible Spectrophotometer)

วิธีการวัดการทะลุผ่านของแสง (Transmittance (%)) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลต และช่วงที่ตามองเห็น ช่วงความยาวคลื่นที่สามารถวิเคราะห์ประมาณ 190-1000 นาโนเมตร โดยนำสารตัวอย่างวางในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดแสง สารตัวอย่างจะดูดกลืนรังสี หรือแสงบางส่วนไว้ แสงที่ไม่ดูดกลืนจะผ่านออกมายังเครื่องวัดแสง (Photodetector) เครื่องวัดแสงจะทำการวัดปริมาณแสงที่ออกมา โดยการหักล้างกับปริมาณของแสงก่อนดูดกลืน จากนั้นจะทำการประมวลภาพเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทะลุผ่านกับค่าความยาวคลื่น(Wavelength) ซึ่งสามารถอ่านรายละเอียดการทำงานของเครื่องวัดการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มบางได้จากหัวข้อ 2.13.3 ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงด้วยเครื่องวัดการทะลุผ่านของแสง (UV-Vis Spectrophotometer) ของบริษัท Thermo Electron Corporation รุ่น Helios α ดังรูปที่ 3.8

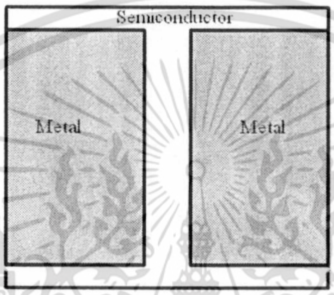


รูปที่ 3.8 เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การขั้วโลหะนำไฟฟ้าของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม ที่มีโครงสร้างแบบ
โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

การตอบสนองทางแสงเป็นกระบวนการศึกษาการตอบสนองทางแสงในย่านแสงอัลตราไวโอเลต เพื่อศึกษาการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม ซึ่งฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมต้องทำการปลูกขั้วนำไฟฟ้าก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้ที่การปลูกขั้วนำไฟฟ้าโครงสร้างโลหะ–สารกึ่งตัวนำ–โลหะ (Metal-Semiconductor-Metal: MSM) แบบช่องรับแสงเดี่ยว ดังรูปที่ 3.9

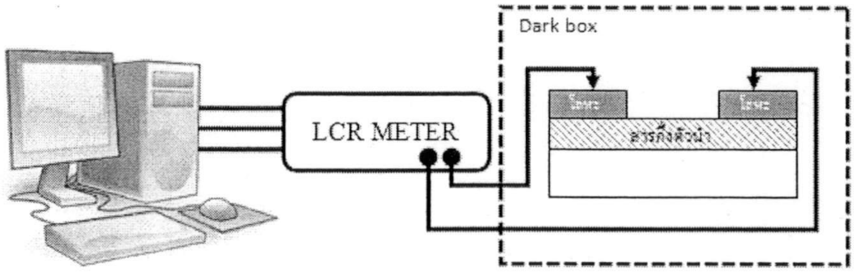


รูปที่ 3.9 ขั้วนำไฟฟ้าโครงสร้าง โลหะ–สารกึ่งตัวนำ–โลหะ (Metal-Semiconductor-Metal: MSM) แบบช่องรับแสงเดี่ยว

3.4.5 การศึกษาสมบัติเฉพาะทางแสงของอุปกรณ์

3.4.5.1 การศึกษาสมบัติกระแส-แรงดันของอุปกรณ์

การทดสอบลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน เมื่อได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับ ทั้งในขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบและได้รับแสงตกกระทบจากแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลต เพื่อหาค่ากระแสมืด กระแสแสงของตัวอุปกรณ์ที่มีการตอบสนองต่อแรงดันและแสงที่ตกกระตก ซึ่งทำการต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3.10 เครื่องมือวัดประกอบด้วยหัวเข็มวัดชิ้นงาน (Probe Station) ต่อกับ Agilent B1500A Semiconductor Device Analyzer ซึ่งทำหน้าที่วัดกระแสและแรงดัน โดยควบคุมการทำงานและบันทึกผลด้วยโปรแกรม Easy Expert

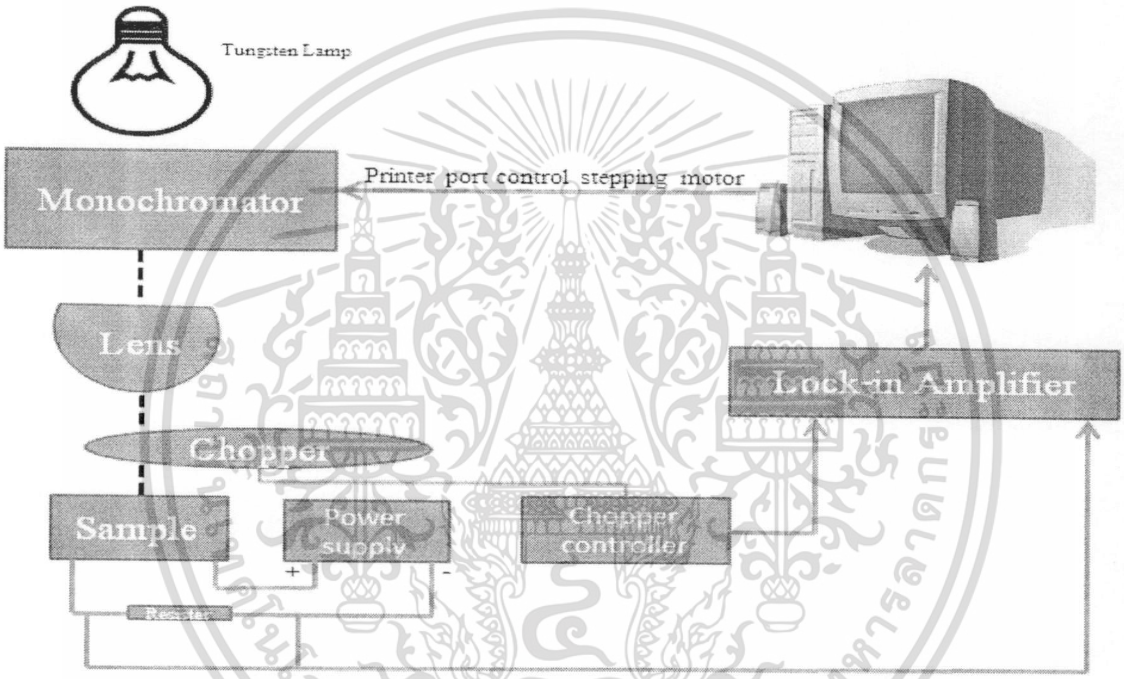


รูปที่ 3.10 ระบบการทดลองสำหรับอุปกรณ์โครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.2 การศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่น (Wavelength response)

การศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆมีความสำคัญต่อการเป็นตัวตรวจวัดทางแสงเพื่อให้ทราบถึงบริเวณที่ตัวตรวจวัดทางแสงสามารถตอบสนองได้โดยรายละเอียดระบบการวัดการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆแสดงดังรูปที่ 3.11 แสงที่ทำการทดลองครั้งนี้จะถูกปล่อยออกมาที่ละความยาวคลื่นโดยมีความละเอียด 0.075 นาโนเมตร ซึ่งจะมีเครื่อง Lock-in amplifier เป็นเครื่องวัดกระแสแสงของตัวตรวจวัด พร้อมบันทึกค่ากระแสแสงไว้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย



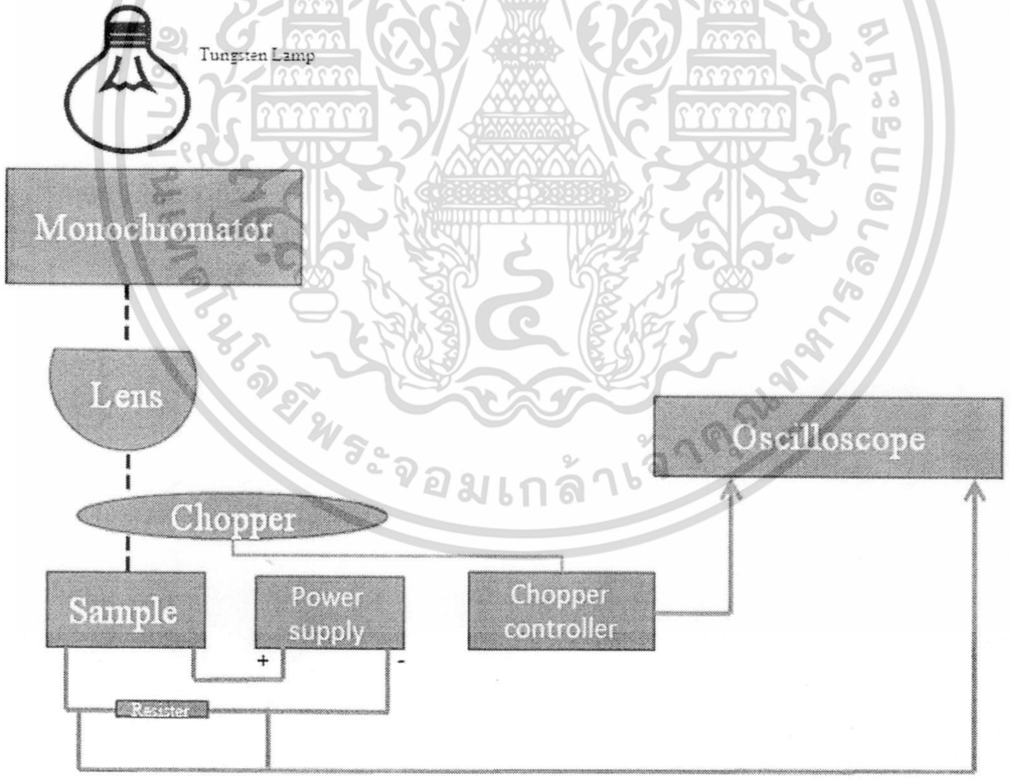
รูปที่ 3.11 ระบบวัดการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่น(Wavelength response) ของตัวตรวจวัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.3 การศึกษาเวลาการตอบสนองต่อแสงของตัวตรวจวัดแสง

การศึกษาเวลาการตอบสนองต่อแสงของอุปกรณ์ เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงตัวอุปกรณ์มีความเร็วมากหรือช้าในการตอบสนองต่อแสง เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้องซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ ป้อนพัลส์แสงแบบสี่เหลี่ยม (square wave) โดยอาศัย Optical Chopper แล้วฉายแสงลงบนชิ้นงานซึ่งต่ออยู่กับแหล่งจ่ายแรงดัน และความต้านทานโหลด ($R_L = 1M\Omega$) แล้ววัดสัญญาณอินพุท และเอาท์พุทด้วยออสซิลโลสโคปจากนั้นนำสัญญาณเอาท์พุทที่วัดได้มาเปรียบเทียบ เพื่อหาค่าช่วงเวลาขาขึ้น τ_r (rise time) และช่วงเวลาขาลง τ_f (fall time) ซึ่งสามารถหาความถี่คัทออฟ (f_C) ได้ โดยคำนวณจากสมการที่ (3.1) และระบบการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3.12

$$\tau = 0.35/f_C \qquad (3.1)$$



รูปที่ 3.12 ระบบวัดเวลาการตอบสนองต่อแสงของตัวตรวจวัดทางแสง

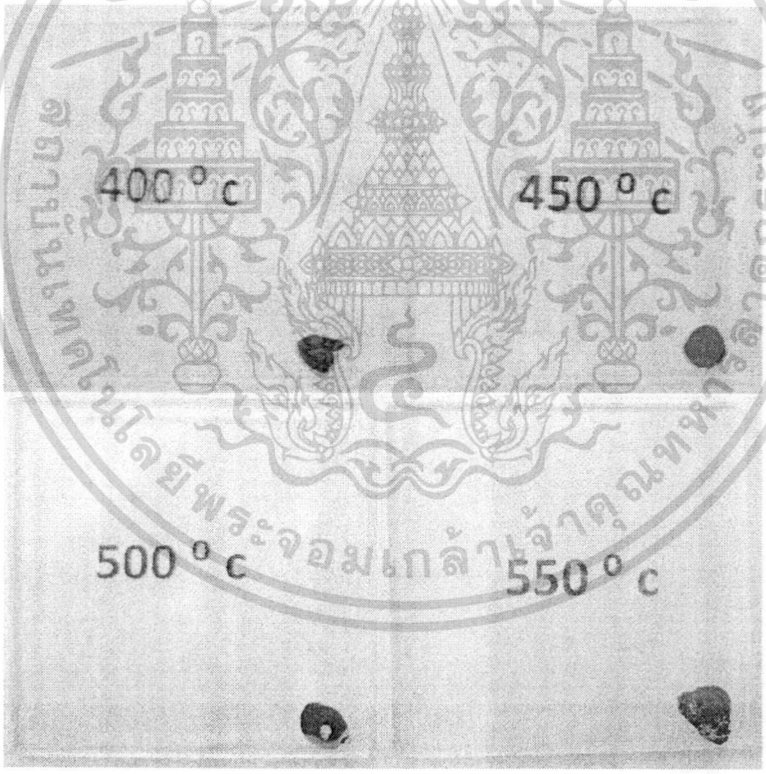
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการแอนนีล

รูปที่ 4.1 แสดงภาพฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ซึ่งใช้เทคนิคหมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 ^{o}C 450 ^{o}C 500 ^{o}C และ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ สังเกตเห็นว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความโปร่งใสสูงและฟิล์มบางสามารถยึดเกาะบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตได้ดี

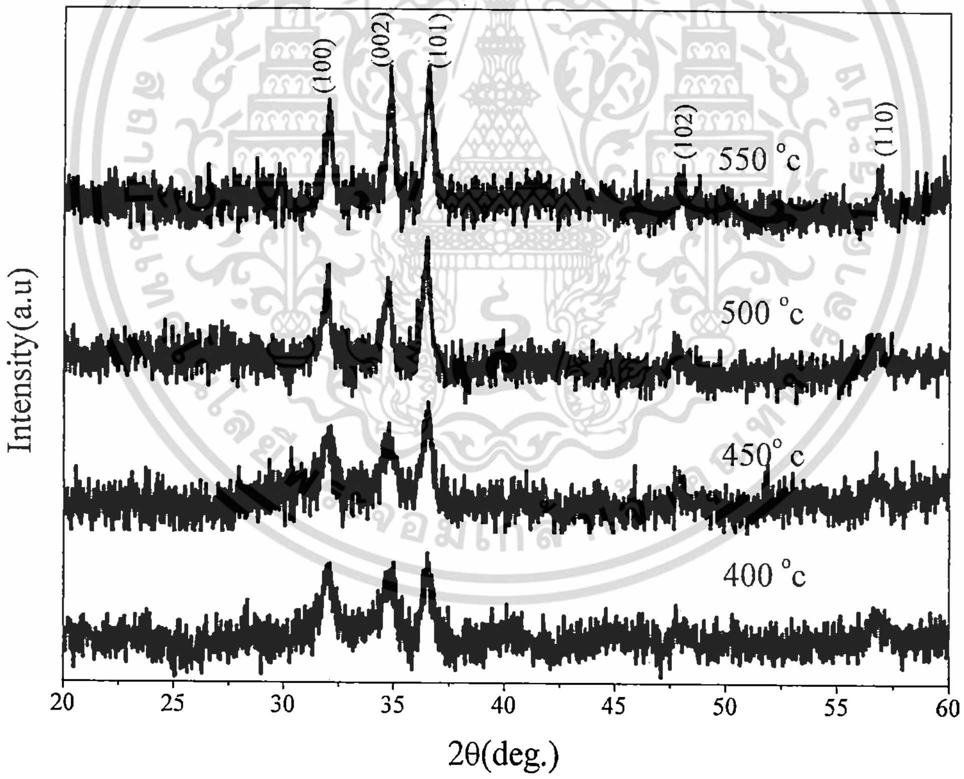


รูปที่ 4.1 รูปถ่ายฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

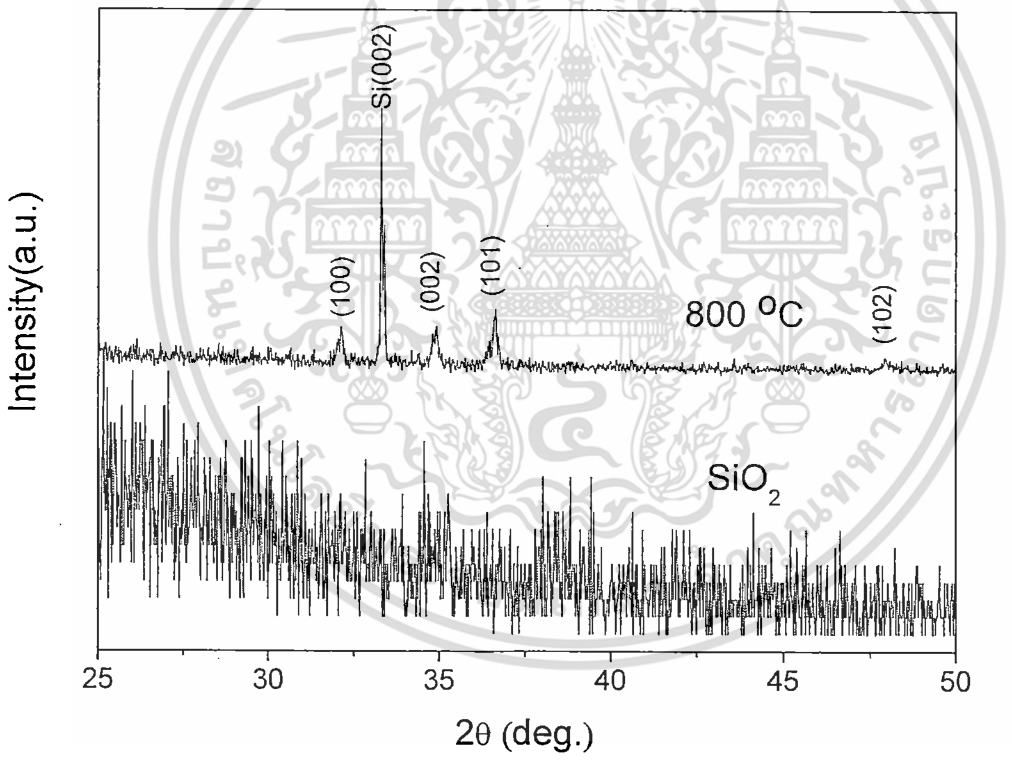
รูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลและใช้เทคนิคหมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C 450 °C 500 °Cและ 550 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ จากผลการวัดสัญญาณการเลี้ยวเบนพบว่ามีระนาบผลึกเหมือนกันที่ตำแหน่ง 2θ = 31.8° 34.5° 36.2° 47.5° และ 56.7° ซึ่งตรงกับโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ลักษณะแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ไซด์ (Hexagonal wurtzite) เป็นระนาบของ (100) (002) (101) (102) และ (110)[3] ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิการแอนนีลทำให้การก่อตัวเป็นโครงร่างผลึกที่ใหญ่ขึ้นและก่อตัวเป็นผลึกดีขึ้น สังเกตจากสัญญาณการเลี้ยวเบนที่จะมีความแคบและความเข้มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถนำผลการวิเคราะห์นี้ไปคำนวณหาขนาดผลึกได้จากสมการของ Scherrer ซึ่งได้ผลการคำนวณดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 ผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลและใช้เทคนิคหมุนเคลือบบนฐานรองรับซิลิกอน/ซิลิกอนไดออกไซด์ 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 800 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ ผลการวัดสัญญาณการเลี้ยวเบนมีระนาบผลึกที่ตำแหน่ง 2θ = 31.8° 34.5° 36.2° และ47.5° ซึ่งตรงกับโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ลักษณะแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ไซด์ (Hexagonal wurtzite) เป็นระนาบของ (100) (002) (101) และ (102) ตามลำดับ และมีสัญญาณการเลี้ยวเบนมีระนาบผลึกที่ตำแหน่ง 2θ = 33.1°ซึ่งตรงกับโครงสร้างของซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) ที่ระนาบ (002)[11] การที่ไม่พบโครงสร้างของแมกนีเซียมออกไซด์เนื่องจากปริมาณของแมกนีเซียมในฟิล์มบางมีปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้เกิดสัญญาณการเลี้ยวเบนมีระนาบผลึกที่ตำแหน่ง 2θ = 43.0° ซึ่งตรงกับโครงสร้างของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ที่ระนาบ (002)ได้[3]

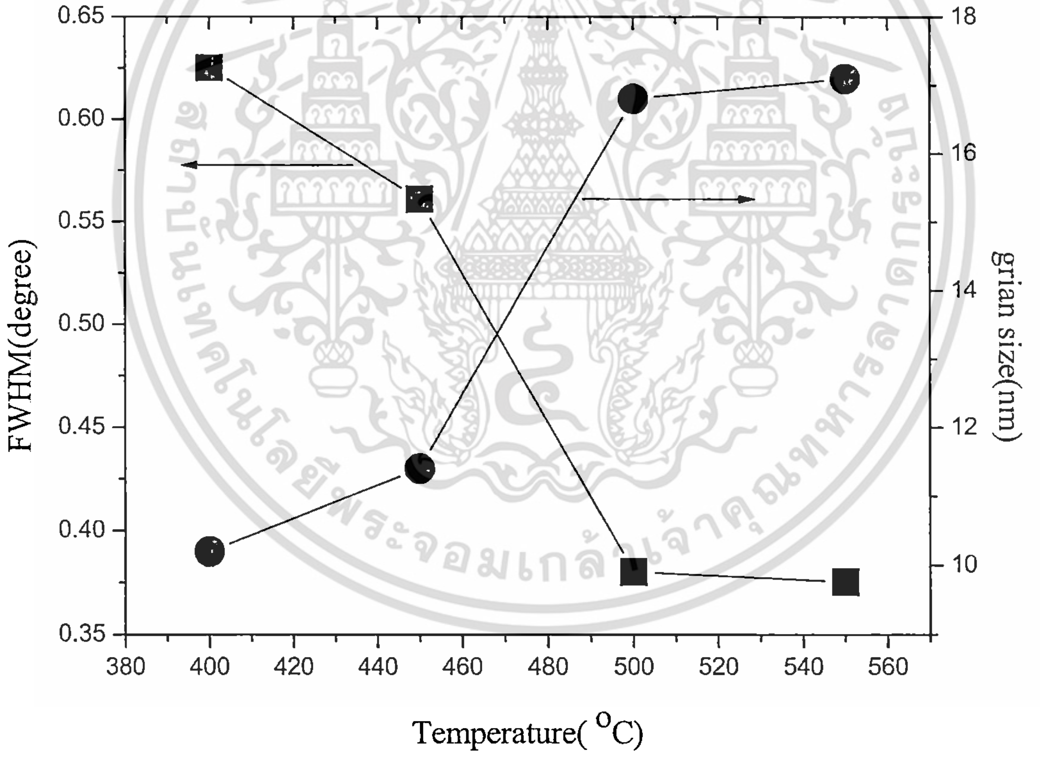


รูปที่ 4.3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับซิลิกอนไดออกไซด์และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 800 ^{o}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20%

รูปที่ 4.4 แสดงผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เคลือบบนกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 ^{o}C 450 ^{o}C 500 ^{o}C และ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ โดยใช้ผลของสัญญาณการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ที่ระนาบ (002) ในการคำนวณหาค่าความกว้างที่มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด (full width at half maximum: FWHM) และใช้สมการที่ 2.15 คำนวณค่าขนาดผลึก พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความกว้างที่มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของความสูงสุดจะมีค่าลดลงจาก 0.63^{o} ที่อุณหภูมิ 400 ^{o}C เป็น 0.37^{o} ที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C และผลึกจะมีขนาดเพิ่มขึ้นจาก 10 นาโนเมตรที่อุณหภูมิ 400 ^{o}C เป็น 17 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C ซึ่งทำให้ทราบว่าค่าขนาดผลึกของฟิล์มบางที่เตรียมได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแอนนีลสูงขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความเครียดระหว่างฟิล์มบางกับฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตลดลงและค่าความไม่เหมาะสมของผลึก(Lattice mismatch) ลดลง จึงทำให้ขานดผลึกใหญ่ขึ้น[14]



รูปที่ 4.4 กราฟการคำนวณหาค่าความกว้างที่มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดที่ระนาบ (002) กับขนาดผลึกของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่แอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

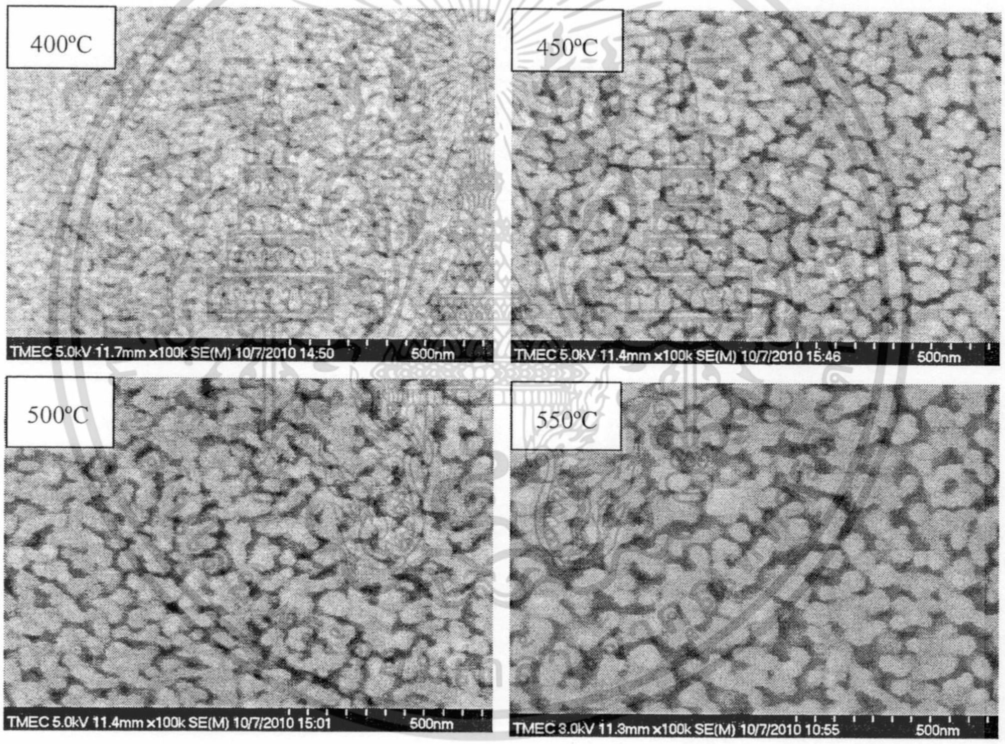
4.1.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด

รูปที่ 4.5 แสดงภาพตัดขวางของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ซึ่งใช้เทคนิคหมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ พบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความหนาสม่ำเสมอประมาณ 450 นาโนเมตรและมีพื้นผิวที่ราบเรียบอย่างสม่ำเสมอ

รูปที่ 4.5 ภาพตัดขวางของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยวิธีโดยสารละลายโซลเจล ซึ่งใช้เทคนิคหมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงพื้นผิวของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ซึ่งใช้เทคนิคหมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 ^{o}C 450 ^{o}C 500 ^{o}C และ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ สังเกตเห็นว่าพื้นผิวของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% มีเม็ดผลึกขนาดเล็กจำนวนมากจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นและมีพื้นผิวที่ราบเรียบอย่างสม่ำเสมอ เมื่ออุณหภูมิในการแอนนีลเพิ่มขึ้นทำให้เม็ดผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีการก่อตัวเป็นผลึกได้ดีขึ้นด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ด้วยและแสดงถึงความสามารถในการยึดติดกับฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตได้ดีขึ้น ซึ่งขนาดของเม็ดผลึกจะสอดคล้องกับผลของการวัดจากการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (รูปที่ 4.2)

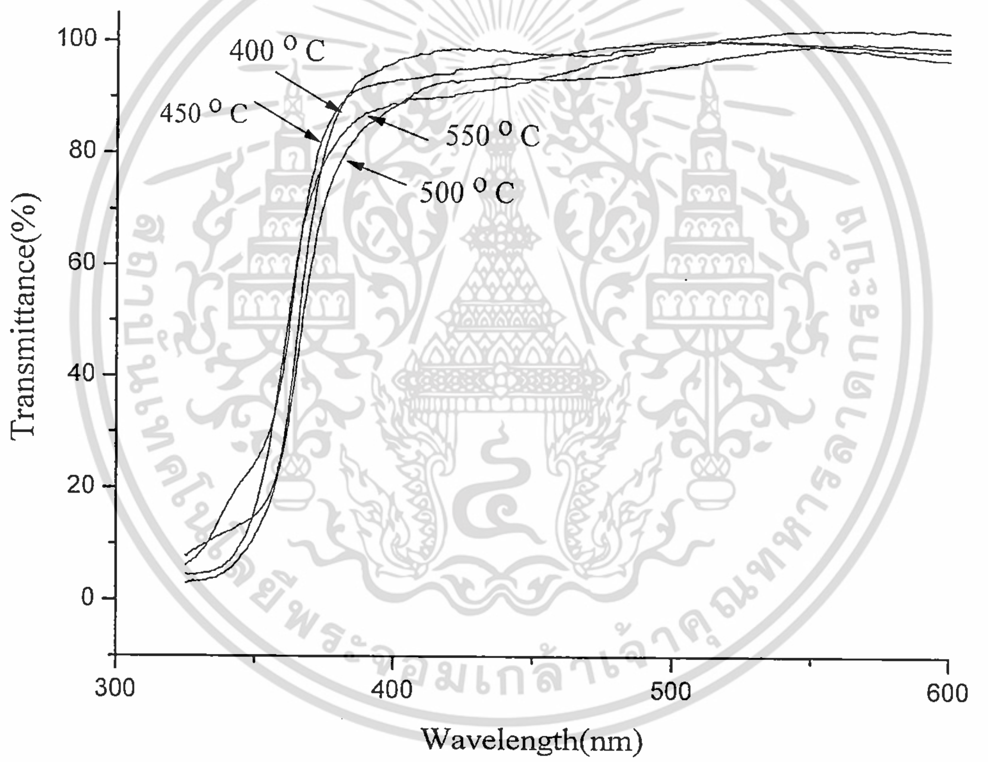


รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

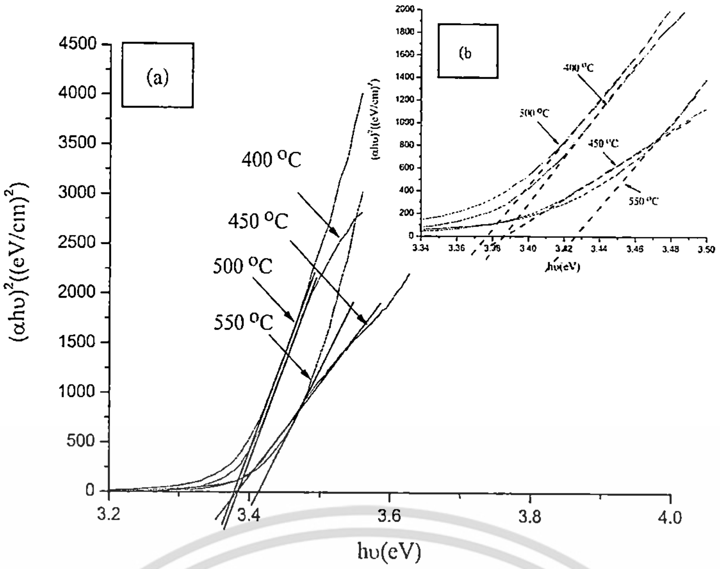
4.1.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเทคนิควัดการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20%

รูปที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ซึ่งใช้เทคนิคหมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 ^{o}C 450 ^{o}C 500 ^{o}C และ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ สังเกตเห็นว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความโปร่งใสสูงประมาณ 90% ในย่านแสงตามองเห็น มีขอบการดูดกลืนชันมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิแอนนีลสูงขึ้น แสดงถึงการก่อตัวเป็นผลึกที่ดีขึ้นและเลื่อนไปในย่านความยาวคลื่นสั้นลงได้เล็กน้อย โดยค่าการทะลุผ่านของฟิล์มบางนี้สามารถนำไปคำนวณค่าแถบพลังงานต้องห้ามได้ด้วยสมการที่ 2.6 ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงของฟิล์บาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

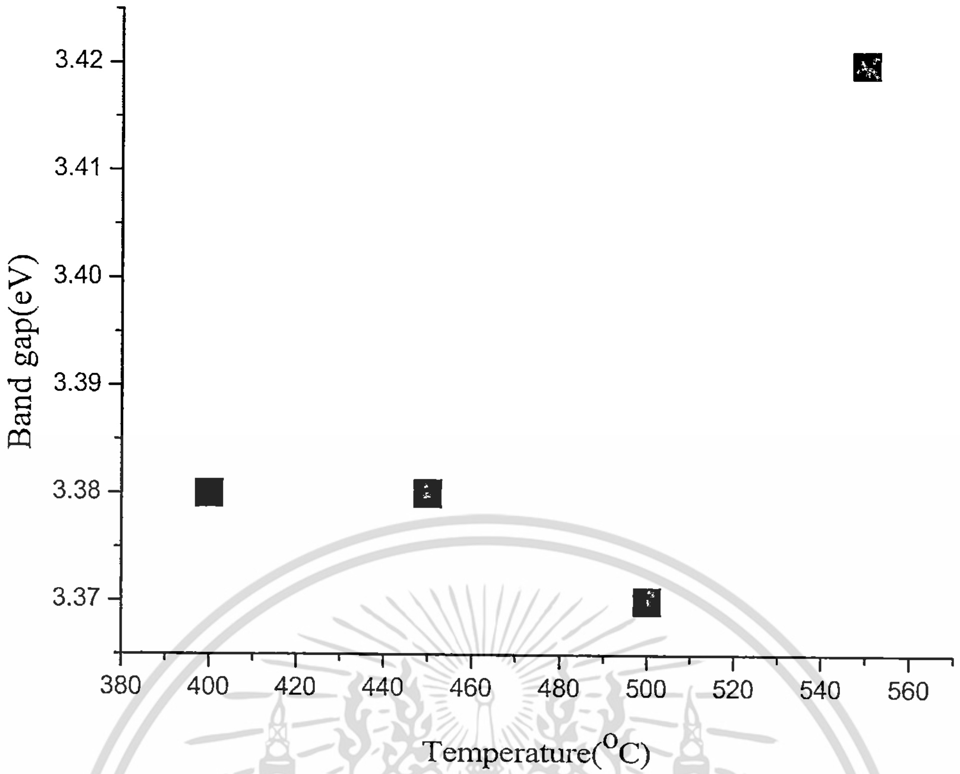


รูปที่ 4.8 ผลการคำนวณหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกันรูป 4.8 (a) รูปที่ 4.8 (b) เป็นภาพขยายค่าแถบพลังงานต้องห้าม

รูปที่ 4.8 แสดงผลการคำนวณค่าแถบพลังงานต้องห้ามที่คำนวณจากค่าการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C 450 °C 500 °C และ 550 °C ซึ่งจะอ่านค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางได้ที่จุดตัดในแนวแกน X พบว่ามีค่าแถบพลังงานต้องห้ามใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.8 (a) ส่วนรูปที่ 4.8 (b) คือภาพขยายค่าแถบพลังงานต้องห้ามของรูป 4.8 (a) และนำค่าแถบพลังงานต้องห้ามที่ได้ไปเขียนกราฟให้สังเกตได้ง่ายขึ้นในรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.9 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากการหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามจากกราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยวิธีโดยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C 450 °C และ500 °C พบว่าค่าแถบพลังงานต้องห้ามที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 3.37-3.38 อิเล็กตรอนโวลต์ เมื่อแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 °C พบว่ามีค่าแถบพลังงานต้องห้ามมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 3.42 อิเล็กตรอนโวลต์ เนื่องมาจากการก่อตัวเป็นผลึกที่อุณหภูมิ400 °C 450 °Cและ500 °C ยังไม่ดีจึงทำให้มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามไม่มาก แต่เมื่อแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 °C ผลึกจะมีการก่อตัวเป็นผลึกได้ดีขึ้นจึงทำให้ค่าแถบพลังงานต้องห้ามมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด[3] ซึ่งทำให้ทราบว่าค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางที่เตรียมได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแอนนีลสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



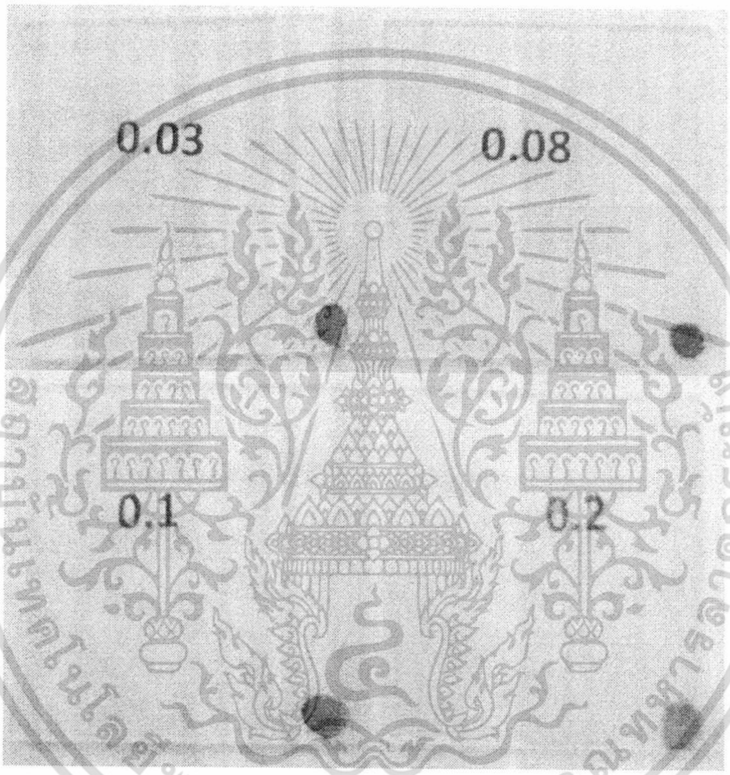
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ของแถบพลังงานกับอุณหภูมิแอนนีลของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิต่างกัน

งานวิจัยตอนต้นนี้ได้ทำการปลูกฟิล์มบาง ZnO:Mg ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการแอนนีล ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิผลกระทบต่อทางโครงสร้าง ทางพื้นผิว และทางแสง กล่าวคือ เมื่อทำการแอนนีลที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลกระทบต่อผลึกดังนี้ ผลึกจะมีขนาดใหญ่ขึ้น แสดงถึงการก่อตัวเป็นผลึกได้ดีขึ้นและยังส่งผลไปถึงค่าแถบพลังงานต้องห้ามที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย และพื้นผิวมีความราบเรียบอย่างสม่ำเสมอ มีขอบการดูดกลืนที่ชันขึ้นและฟิล์มบางยังสามารถยึดเกาะบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตได้ดี ดังนั้นลำดับถัดไป จะเป็นการศึกษาปลูกฟิล์มบาง ZnO:Mg ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือสารแมกนีเซียมออกไซด์ แอนนีลที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสในบรรยากาศปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียม

รูปที่ 4.10 แสดงภาพฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ สังเกตเห็นว่าฟิล์มที่เตรียมได้มีความโปร่งใสสูงและฟิล์มบางสามารถยึดเกาะบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตได้ดีเช่นกัน

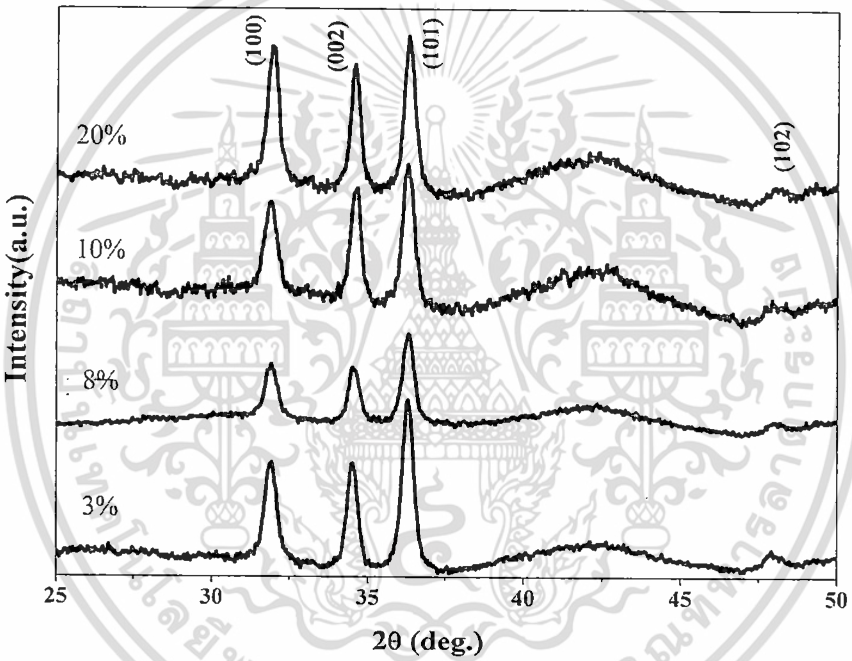


รูปที่ 4.10 รูปถ่ายฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและแอนนีลที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 550 ^{O}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

รูปที่ 4.11 แสดงผลการวัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ จากผลการวัดสัญญาณเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง 2θ = 31.8° 34.5° 36.2° และ 47.5° เป็นระนาบ (100) (002) (101) และ (102) ของโครงสร้างซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ตามลำดับ ลักษณะแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ไซด์ (Hexagonal wurtzite)และสามารถนำผลการวิเคราะห์นี้ไปคำนวณหาขนาดผลึกได้จากสมการของ Scherrer ซึ่งได้ผลการคำนวณดังรูปที่ 4.12

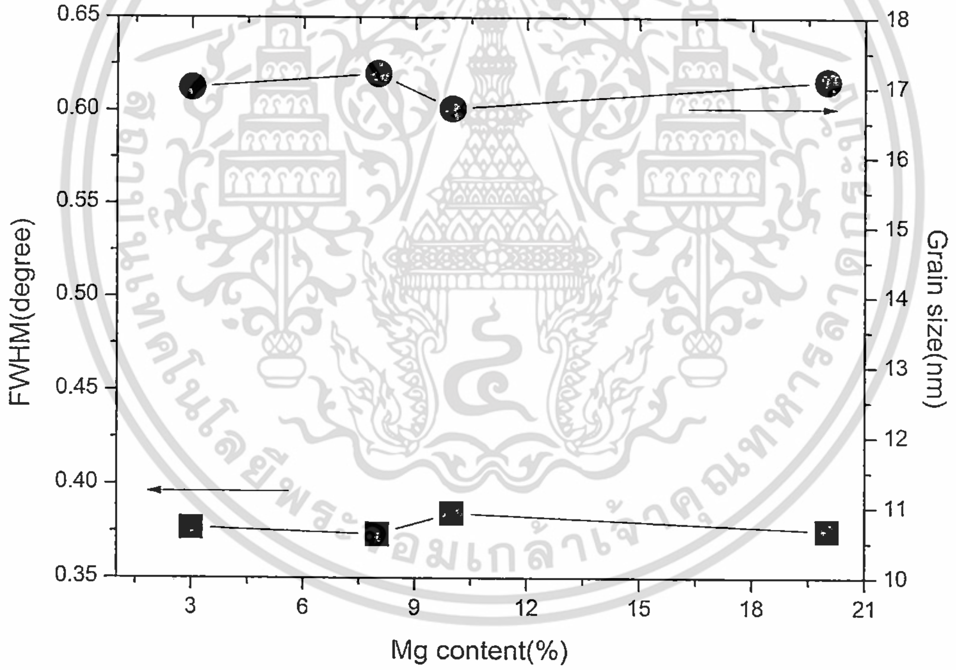


รูปที่ 4.11 ผลการวัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (XRD) ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20%

รูปที่ 4.12 แสดงผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ โดยใช้ผลวัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ที่ระนาบ (002) คำนวณหาค่าความกว้างที่มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของความสูงสุด (full width at half maximum: FWHM) และใช้สมการที่ 2.15 คำนวณค่าขนาดผลึก พบว่าเมื่อเพิ่มการเพิ่มปริมาณแมกนีเซียม ค่าความกว้างที่มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของความสูงสุดจะมีค่าดังนี้ 0.38^{o} 0.384^{o} 0.374^{o} และ 0.382^{o} และผลึกจะมีขนาดดังนี้ 16.85 16.7 17.2 และ 16.8 นาโนเมตร ที่มีแมกนีเซียม 3% 8% 10% และ 20% ตามลำดับ สังเกตเห็นได้ว่าขนาดผลึกมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมไม่มีผลกระทบต่อขนาดของผลึกของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่เตรียมได้

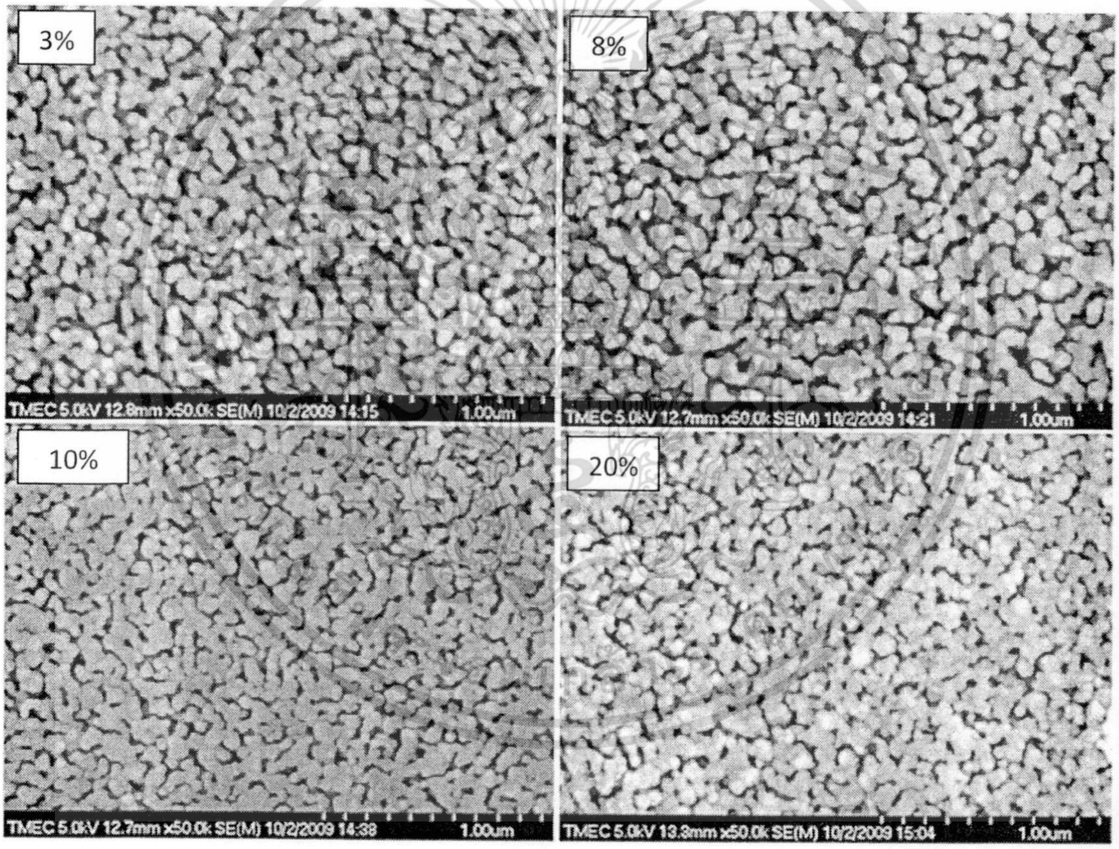


รูปที่ 4.12 ผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด

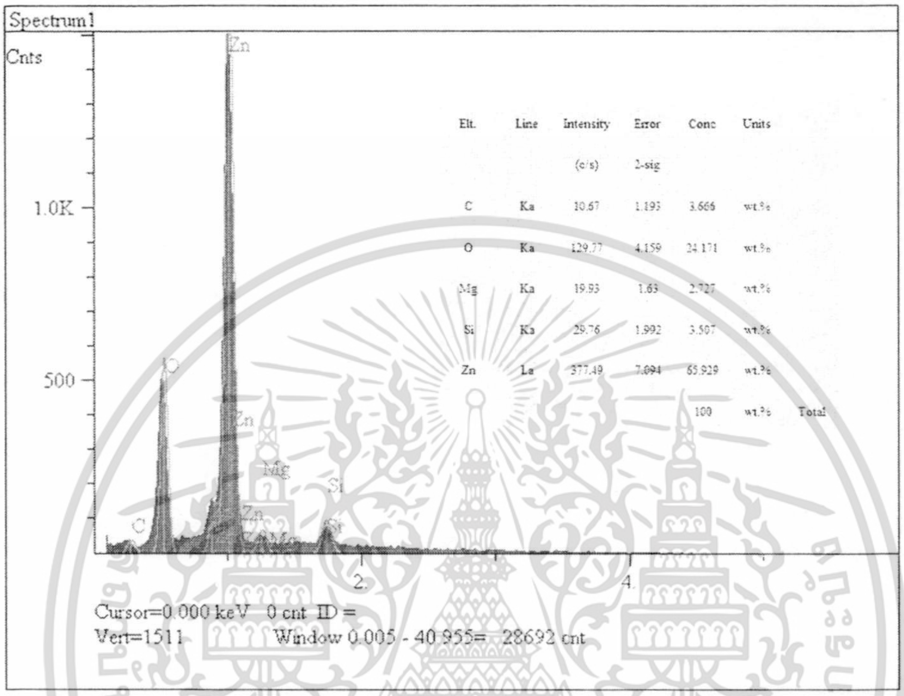
รูปที่ 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์ทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด ของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้ง และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ สังเกตเห็นว่าพื้นผิวของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% มีเม็ดผลึกเล็กจำนวนมากจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นและที่พื้นผิวของฟิล์มบางมีความราบเรียบอย่างสม่ำเสมอ เมื่อปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้การจัดเรียงตัวของผลึกหนาแน่นมากขึ้นและผลึกจะมีขนาดที่ใกล้เคียงกันจะสอดคล้องกับผลการคำนวณขนาดผลึก (รูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20% ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 3% ด้วยเทคนิค Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และตารางที่ 1 แสดงค่าปริมาณธาตุที่มีอยู่ในของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกันด้วยเทคนิค EDS ทำให้ทราบปริมาณส่วนประกอบของธาตุแมกนีเซียมและซิงค์ที่มีอยู่ในฟิล์มบาง



รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 3% ด้วยเทคนิค EDS

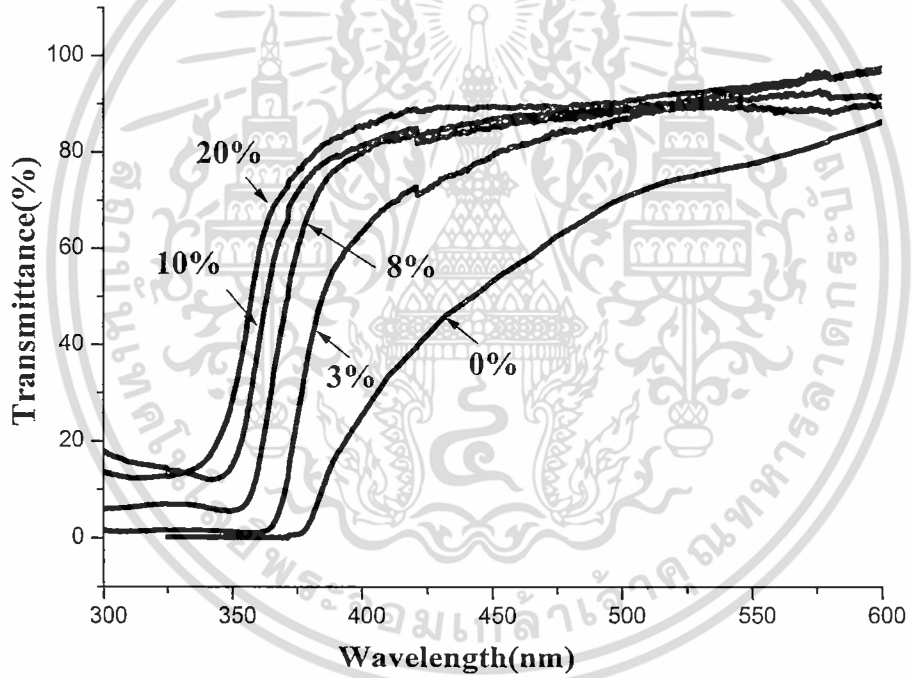
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าปริมาณธาตุของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20%

ELEMENT	Mg content			
	3% (wt%)	8% (wt%)	10% (wt%)	20% (wt%)
O	24.171	23.35	24.529	24.112
Mg	2.727	3.947	4.773	7.003
Zn	65.929	66.637	63.998	61.086
Mg/Zn	0.039	0.055	0.069	0.102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

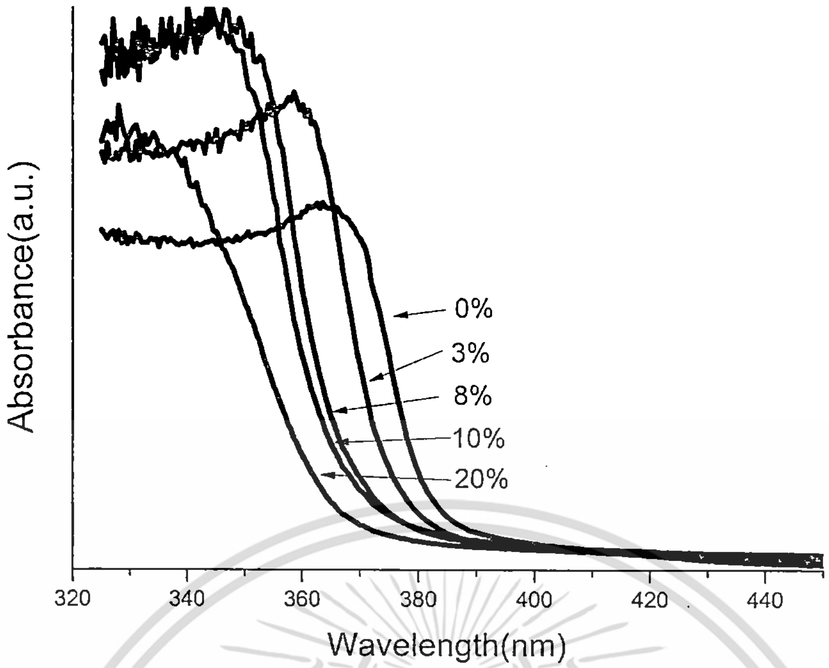
4.2.4. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเทคนิควัดการทะลุผ่านทางแสงและการดูดกลืนทางแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 3% 8% 10%และ 20%

รูปที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 0% 3% 8% 10%และ 20% สังเกตเห็นว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความโปร่งใสสูงประมาณ 80% ในย่านแสงที่ตามองเห็นเมื่อมีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มบางมีขอบการดูดกลืนแสงเลื่อนไปในย่านความยาวคลื่นที่สั้นลงโดยที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 0% 3% 8% 10%และ 20% จะมีขอบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นประมาณ 375 360 355 345 และ 340 นาโนเมตร ตามลำดับ ดังนั้นการเจือธาตุแมกนีเซียมเข้าไปในซิงค์ออกไซด์ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงได้ดีขึ้น โดยค่าการทะลุผ่านของฟิล์มบางนี้สามารถนำไปคำนวณค่าแถบพลังงานต้องห้ามได้ด้วยสมการที่ 2.6 ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 0% 3% 8% 10%และ 20% แอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

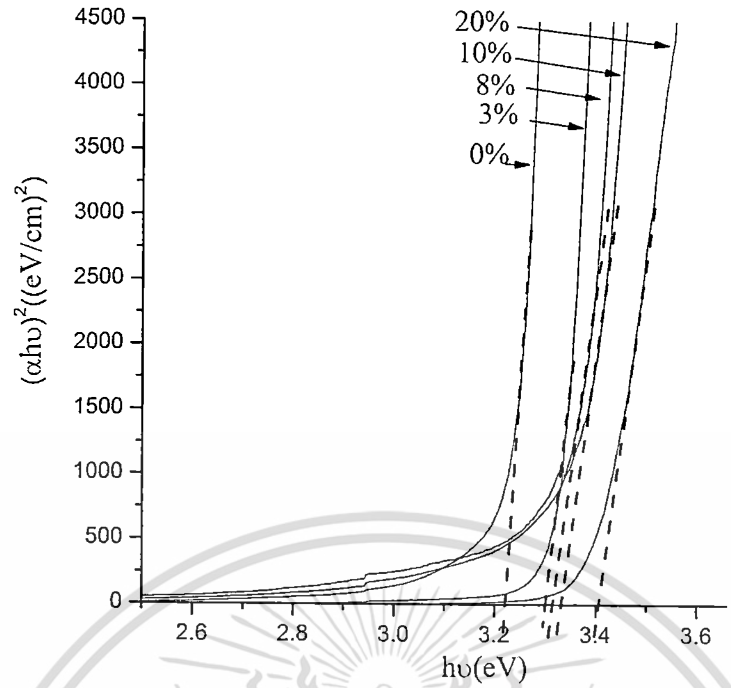


รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนทางแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 0% 3% 8% 10%และ 20% แอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C

รูปที่ 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 0% 3% 8% 10%และ 20% พบว่าเมื่อมีปริมาณแมกนีเซียม เพิ่มขึ้นทำให้สามารถขอบการดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่นสั้นลง ดังนั้นการเจือธาตุแมกนีเซียมเข้าไปในซิงค์ออกไซด์ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงได้ดีขึ้นจะสอดคล้องกับผลการทะลุผ่านทางแสง (รูปที่ 4.15)

รูปที่ 4.17 แสดงผลการคำนวณค่าแถบพลังงานต้องห้ามจากค่าการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 0% 3% 8% 10%และ 20% ซึ่งจะอ่านค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางได้ที่จุดตัดในแนวแกน X มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามประมาณ 3.23 eV, 3.30 eV, 3.32 eV, 3.34 eV และ 3.40 eV ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นค่าแถบพลังงานต้องห้ามจะเพิ่มขึ้นด้วยและนำค่าแถบพลังงานต้องห้ามที่ได้ไปเขียนกราฟให้สังเกตได้ง่ายขึ้นรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

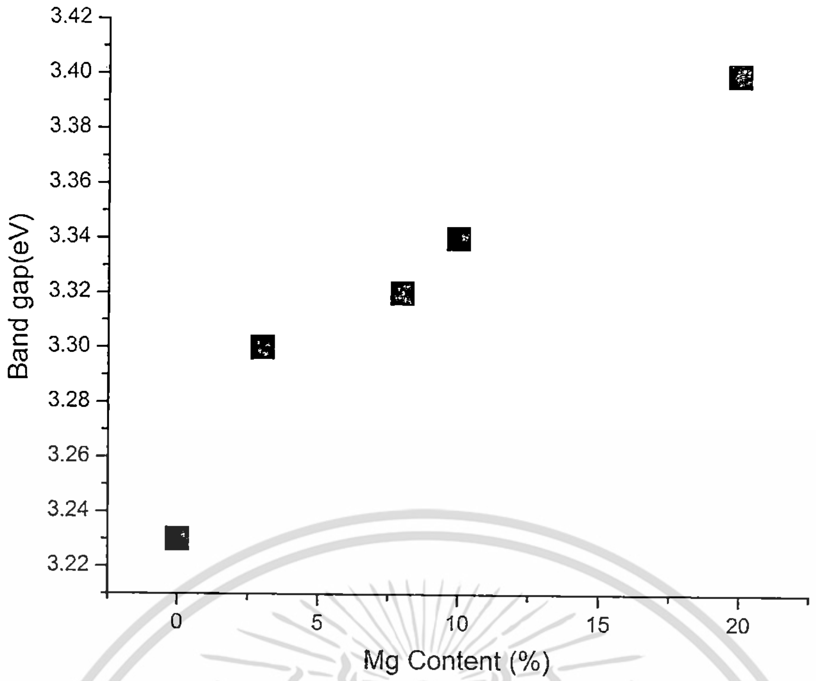


รูปที่ 4.17 ผลจากการคำนวณหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 0% 3% 8% 10%และ 20%

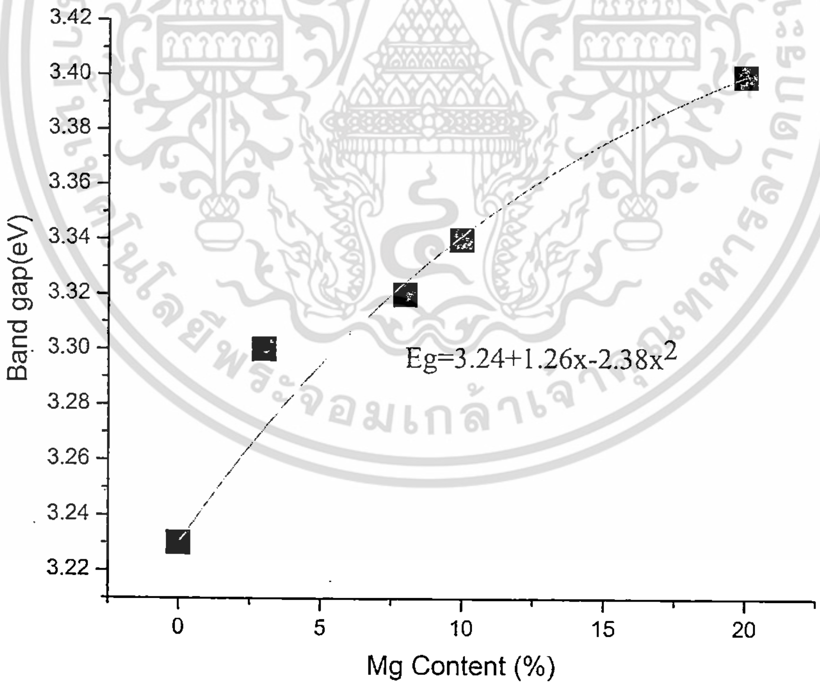
รูปที่ 4.18 แสดงผลที่ได้จากการหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามจากกราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 0% 3% 8% 10%และ 20% จะเห็นว่าเมื่อนำมาวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างของแถบพลังงานต้องห้ามกับปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ ค่าแถบพลังงานต้องห้ามจะแปรผันตามค่าปริมาณแมกนีเซียมคือ เมื่อปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มมากขึ้น ค่าช่องว่างของแถบพลังงานต้องห้ามก็จะมากขึ้นด้วยและแสดงเส้นแนวโน้มของกราฟความสัมพันธ์ของสมการพาราโบลิกด้วย Vigard's Law [4,9] ดังรูปที่ 4.19 ซึ่งมีสมการคือ

$$E_g = 3.24 + 1.26x - 2.38x^2 \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของแถบพลังงานต้องห้ามกับปริมาณแมกนีเซียมของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 0% 3% 8% 10%และ 20% แอนนีลที่อุณหภูมิ 550 °C



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแถบพลังงานต้องห้ามของแต่ละปริมาณแมกนีเซียม และแสดงสมการพาราโบลิคของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่างกัน 0% 3% 8% 10% และ 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองปลูกฟิล์มบาง ZnO:Mg ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือสารแมกนีเซียมพบว่าเมื่อมีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นจะสามารถเลื่อนขอบการดูดกลืนไปย่านความยาวคลื่นที่สั้นลงได้ประมาณ 350นาโนเมตร จึงทำให้มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามเพิ่มมากขึ้นอยู่ระหว่าง 3.23-3.40 eV แต่การเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมก็มีขีดจำกัดอยู่ค่าหนึ่งเนื่องด้วยเทคนิคในการปลูกฟิล์มบางจึงทำให้ต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์มบาง ZnO:Mg ด้วยธาตุที่เหมาะสมอาทิ เช่น ไนโตรเจน หรือ อะลูมิเนียม

4.3 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน (N-doped ZnO:Mg: NMZO) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือธาตุไนโตรเจน

รูปที่ 4.20 แสดงภาพฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 5% และ 10% เตรียมด้วยวิธีโดยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ สังเกตเห็นว่าฟิล์มที่เตรียมได้มีความโปร่งใสมากกว่าฟิล์มบาง ZnO: Mg มากขึ้น และฟิล์มบางสามารถยึดเกาะบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตได้ดีเช่นกัน

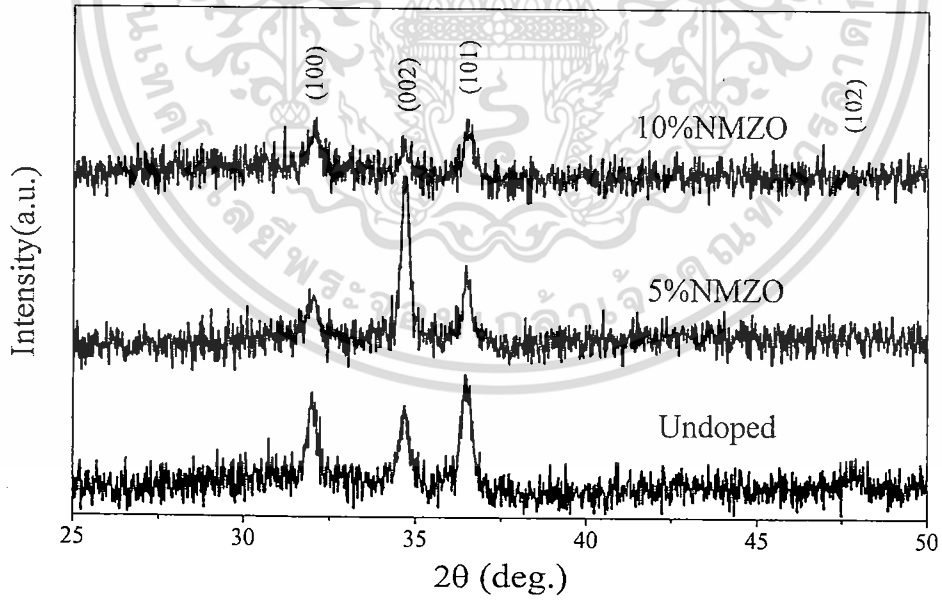
รูปที่ 4.20 รูปถ่ายภาพฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

รูปที่ 4.21 แสดงผลการวัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ จากผลการวัดสัญญาณของการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง 2θ = 31.8° 34.5° 36.2° และ 47.5° เป็นระนาบ (100) (002) (101) และ (102) ของโครงสร้างซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ตามลำดับ ลักษณะแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ไซด์ (Hexagonal wurtzite) เหมือนกับฟิล์มบาง ZnO: Mg เมื่อเจือสารไนโตรเจนเข้าไป 5% การก่อตัวเป็นผลึกจะดีขึ้นในแนวระนาบ (002) หรือแนวแกนซี เมื่อเจือไนโตรเจน 10% พบว่าการก่อตัวเป็นผลึกจะไม่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำผลการวิเคราะห์นี้ไปคำนวณหาขนาดผลึกได้จากสมการที่ Scherrer (2.15) และคำนวณหาค่าการก่อตัวแนวแกนซี (C-Orientation Preferation : $i_{(002)}$) ดังสมการ 4.2

$$i_{(002)} = \frac{I_{(002)}}{I_{(100)} + I_{(002)} + I_{(101)}} \qquad (4.2)$$



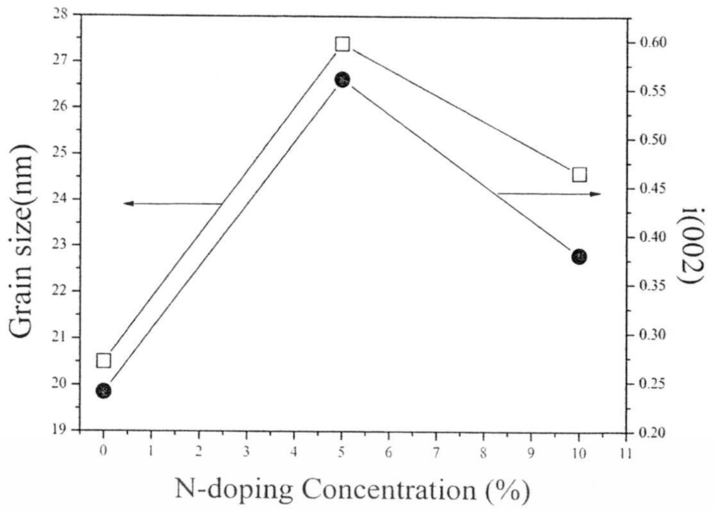
รูปที่ 4.21 แสดงผลการวัดเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ Undoped(0%) 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกและค่าการก่อตัวแนวแกนซี (C-Orientation Preferation: i(002)) ของฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10%

รูปที่ 4.22 แสดงผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกจากสมการของ Scherrer (2.15) และคำนวณหาค่าการก่อตัวแนวแกนซี (C-Orientation Preferation : $i_{(002)}$) จากสมการที่ (4.1) ของฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ โดยใช้ผลวัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ที่ระนาบ (002) พบว่าผลึกจะมีขนาด 20.5 27.4 และ 24.6 นาโนเมตร ของปริมาณการเจือไนโตรเจนมีค่า 0% 5% และ 10% ตามลำดับ สังเกตเห็นว่าขนาดผลึกที่เจือไนโตรเจน 5% มีขนาดผลึกใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดผลึกที่ยังไม่ได้เจือ แต่เมื่อเจือไนโตรเจน 10% มีขนาดผลึกเล็กลง นอกจากนี้ผลการคำนวณหาค่า $i_{(002)}$ เป็น 0.24 0.56 และ 0.38 ของปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% ตามลำดับ สังเกตเห็นว่าค่า $i_{(002)}$ ของสัญญาณของการเลี้ยวเบนที่เจือไนโตรเจน 5% มีความหนาเข้มขึ้นแต่พอเจือไนโตรเจน 10% มีเข้มน้อยลง จากผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกและค่าความเข้มของสัญญาณเลี้ยวเบนจะเป็นการยืนยันได้ว่าผลึกมีการก่อตัวเป็นผลึกได้ดีขึ้นในระนาบ (002) ที่ทำการเจือไนโตรเจน 5% เมื่อเจือไนโตรเจน 10% การก่อตัวเป็นผลึกได้ไม่ดีเท่ากับการเจือไนโตรเจน 5% ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง NMZO ซึ่งผลการคำนวณหาค่าขนาดผลึกและค่าการก่อตัวแนวแกนซี (C-Orientation Preferation : $i_{(002)}$) แสดงได้ดังรูปที่ 4.22 จากบทความวิจัยของ w.w. Liu และคณะ [15] พบว่าเมื่อทำการปลูกชั้น Zn_2N_3 ที่เป็นฟิล์มบางที่มีความหนาไม่มากนักจะพบว่าเมื่อทำการปลูกฟิล์มบางลงไปทับจะทำให้การก่อตัวเป็นผลึกได้ดีขึ้นในแนวแกนซี ดังนั้นจึงคิดว่าฟิล์มบางในงานวิจัยนี้เมื่อทำการเจือไนโตรเจนในปริมาณที่เหมาะสมจึงทำเกิดชั้น Zn_2N_3 ที่เป็นฟิล์มที่มีความหนาที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความไม่เหมาะสมของผลึก (Lattice mismatch) ลดลง จึงทำให้การก่อตัวเป็นผลึกได้ดีในแนวแกนซี แสดงรูปดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



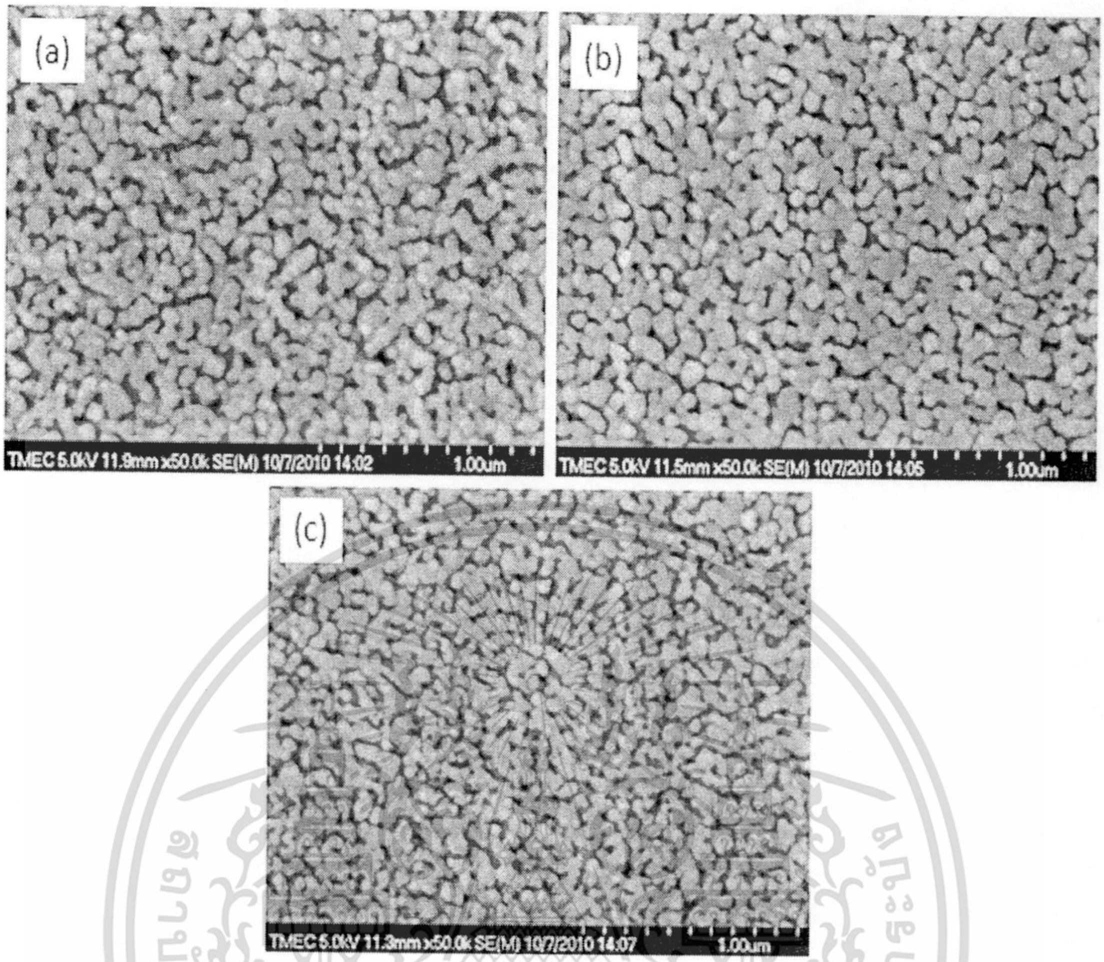
รูปที่ 4.22 ผลการคำนวณหาขนาดผลึกและค่า $i_{(002)}$ ของฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C

รูปที่ 4.23 รูปจำลองการก่อตัวเป็นผลึกได้ดีขึ้นในแนวแกนซี เมื่อมีชั้น Zn_3N_2 ที่เหมาะสม

4.3.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด

รูปที่ 4.24 แสดงผลการวิเคราะห์ทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้ง และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ พบว่าพื้นผิวของฟิล์มบางมีการก่อตัวเป็นผลึกได้ดี มีเม็ดผลึกขนาดเล็กจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นและที่พื้นผิวของฟิล์มบางมีความราบเรียบอย่างสม่ำเสมอแสดงให้เห็นดังรูป (a) ส่วนรูป (b) คือฟิล์มบาง NMZO ที่เจือไนโตรเจน 5% พบว่าเมื่อทำการเจือไนโตรเจน 5% ทำให้การจัดเรียงตัวของผลึกมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้นและมีขนาดผลึกใหญ่ขึ้นในแนวแกนซี ส่วนรูป (c) คือ ฟิล์มบาง NMZO ที่เจือไนโตรเจน 10% พบว่าการจัดเรียงตัวของผลึกมีความหนาแน่นลดลงและมีขนาดผลึกเล็กลงกว่าการเจือไนโตรเจือ 5% จะสอดคล้องกับผลการคำนวณขนาดผลึกและค่าการก่อตัวแนวแกนซี (C-Orientation Preferation : $i_{(002)}$) (รูปที่ 4.21)

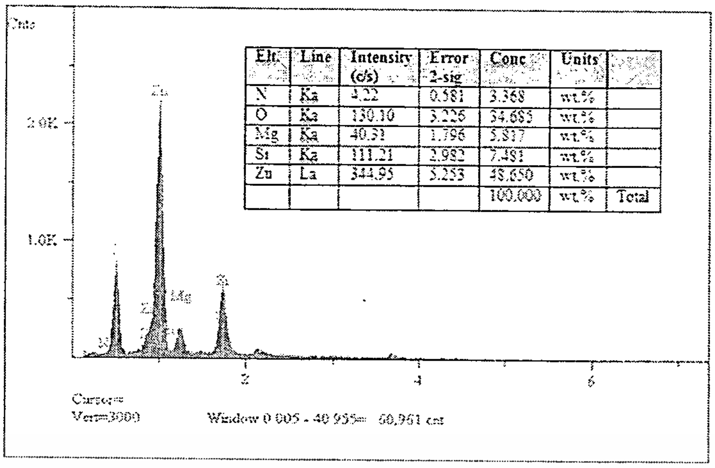
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% โดยที่ (a) undoped (0%) (b) 5% และ (c) 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C

รูปที่ 4.25 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของฟิล์มบาง NMZO ที่เจือไนโตรเจน 5% ด้วยเทคนิค Energy Dispersive Spectrometry (EDS) พบว่าฟิล์มบาง NMZO มีส่วนประกอบของธาตุแมกนีเซียม ซิงค์และไนโตรเจน อยู่ในฟิล์มบาง NMZO จริง ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในฟิล์มบาง NMZO ประมาณ 3.368 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

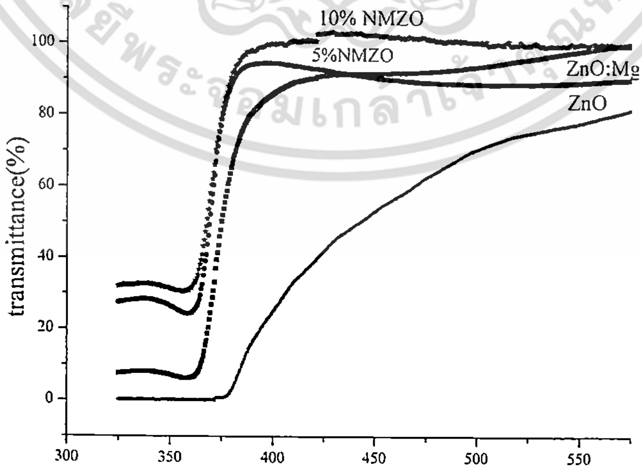


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
N	Ka	4.22	0.581	3.368	wt.%	
O	Ka	130.10	3.226	34.685	wt.%	
Mg	Ka	40.31	1.796	5.817	wt.%	
Si	Ka	111.21	2.982	7.481	wt.%	
Zn	La	344.95	5.253	48.650	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของฟิล์มบาง NMZO ที่เจือไนโตรเจน 5% ด้วยเทคนิค EDS

4.3.4. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเทคนิคการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบาง NMZO

รูปที่ 4.26 แสดงผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบาง ZnO และฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% พบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความโปร่งใสมากกว่าฟิล์มบางที่ยังไม่เจือไนโตรเจนในย่านแสงตามองเห็น และฟิล์มบางที่เจือไนโตรเจนมีขอบการดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่นสั้นลงเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มบาง ZnO:Mg ดังนั้นการเจือธาตุไนโตรเจนเข้าไปในสารละลายโซลเจลซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมทำให้ประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงในย่านรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดีมากขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณแมกนีเซียม นอกจากนี้ยังสามารถนำผลการวิเคราะห์ค่าการทะลุผ่านทางแสงไปคำนวณหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามได้ด้วยสมการที่ 2.6 จะแสดงดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg และฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบาง NMZO ที่ ปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% และ20% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10%

N-doping concentration	**Optical band gap (eV)**		
	0%	3%	20%
0%	3.23	3.32	3.45
5%	3.27	3.34	3.48
10%	3.29	3.36	3.53

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการคำนวณแถบพลังงานต้องห้ามที่คำนวณมาจากการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มบาง ZnO และฟิล์มบาง NMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% และ20% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% พบว่าค่าแถบพลังงานต้องห้ามจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเจือไนโตรเจนซึ่งค่าแถบพลังงานต้องห้ามจะอยู่ในช่วงประมาณ 3.23 ถึง 3.53 eV เนื่องจากมีฟิล์มบางมีพาหะมากขึ้น (Carrier concentration) จึงทำให้มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามมากขึ้นจากผลกระทบของ Burstein Moss [16]

จากผลการทดลองปลูกฟิล์มบางZnO:Mg ที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจน (*NMZO*) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือธาตุไนโตรเจน 5% และ 10% จะพบว่าธาตุไนโตรเจนทำให้ฟิล์มบางมีความโปร่งใสมากขึ้นและสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงในย่านรังสีอัลตราไวโอเลตที่พลังงานโฟตอนสูงขึ้นได้ดีกว่าฟิล์มบาง ZnO:Mg โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณแมกนีเซียม นอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงแล้ว ยังทำให้การก่อตัวเป็นผลึกได้ดีขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม ที่เจือด้วยธาตุอะลูมิเนียม (A-doped ZnO:Mg: AlMZO) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือธาตุอะลูมิเนียม

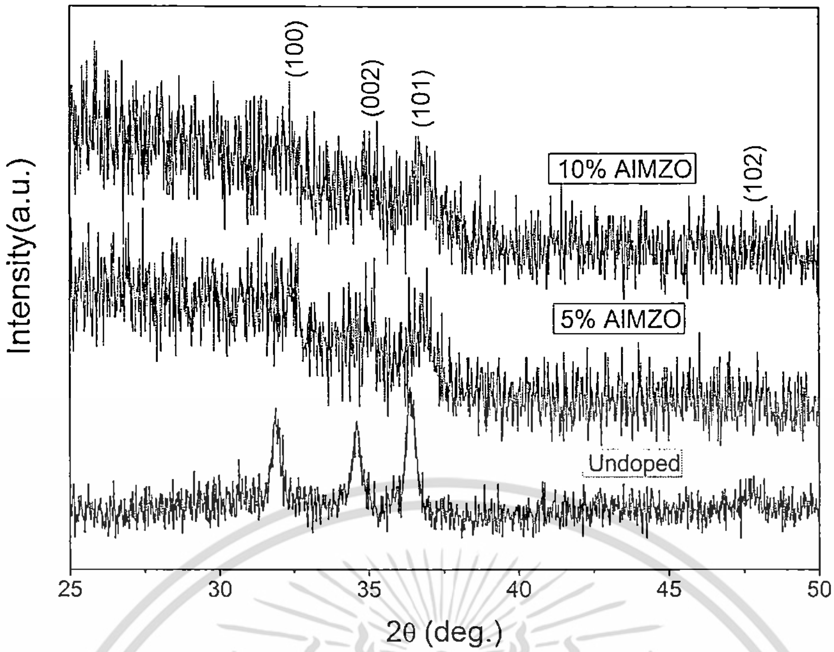
รูปที่ 4.27 แสดงภาพฟิล์มบาง AlMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% และมีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน คือ 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ สังเกตเห็นว่าฟิล์มที่เตรียมได้มีความโปร่งใสมากกว่าฟิล์มบาง ZnO: Mg และฟิล์มบางสามารถยึดเกาะบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตได้ดีขึ้นเช่นกัน

รูปที่ 4.27 รูปถ่ายภาพฟิล์มบาง AlMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% และมีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน คือ 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้ง และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{O}C

4.4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

รูปที่ 4.28 แสดงผลการวัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง AlMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% และมีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้งและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{O}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ จากผลการวัดสัญญาณของการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง 2θ = 31.8° 34.5° 36.2° และ 47.5° ซึ่งเป็นระนาบ (100) (002) (101) และ (102)ของโครงสร้างซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ตามลำดับ ลักษณะแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ไซด์ (Hexagonal wurtzite)นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการเจืออะลูมิเนียมเข้าไปแล้วทำให้การฟิล์มบางมีความเป็นผลึกน้อยลงตามปริมาณการเจืออะลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นโดยสังเกตได้จากสัญญาณการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์[12]ทั้งนั้นจึงไม่สามารถคำนวณหาขนาดผลึกได้จากผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

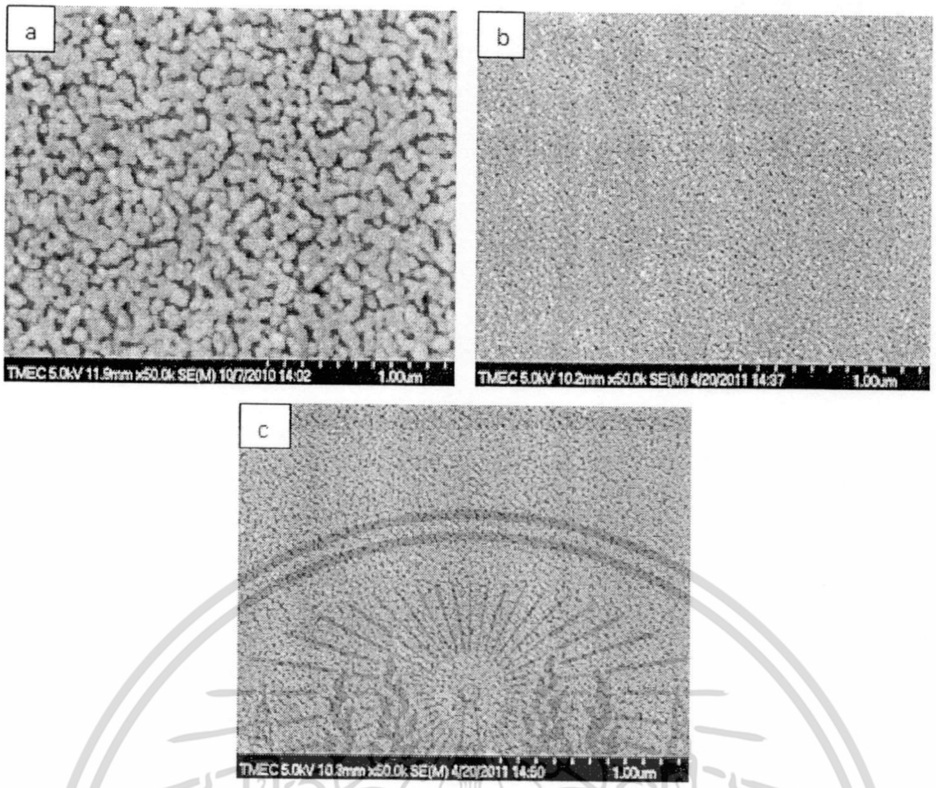


รูปที่ 4.28 แสดงผลการวัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง AlMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% และมีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C

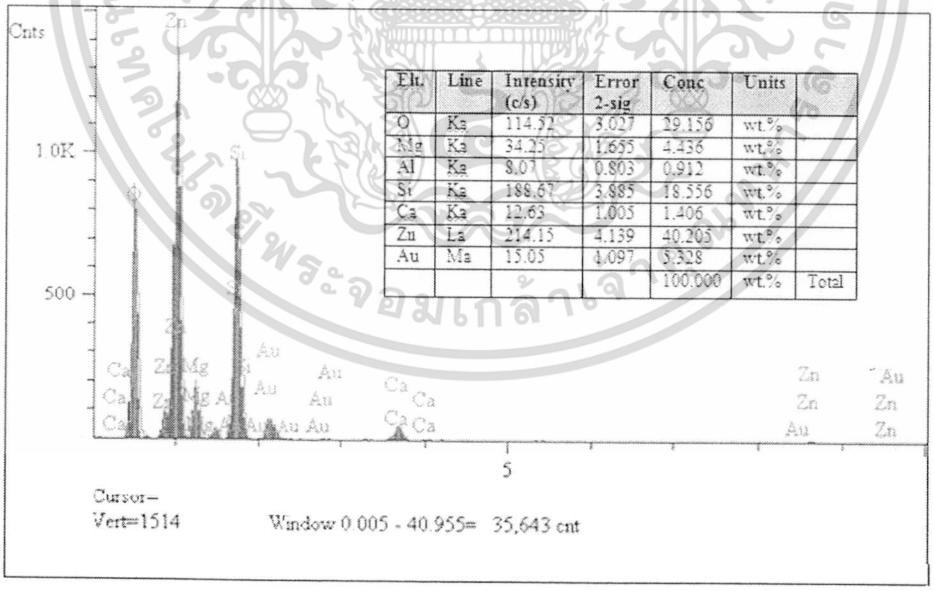
4.4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด

รูปที่ 4.29 แสดงผลการวิเคราะห์ทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของฟิล์มบาง AlMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% และมีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต 3 ครั้ง และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ พบว่าพื้นผิวของฟิล์มบางมีการก่อตัวเป็นผลึกได้ดี มีเม็ดผลึกขนาดเล็กจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นและที่พื้นผิวของฟิล์มบางมีความราบเรียบอย่างสม่ำเสมอแสดงให้เห็นดังรูป (a) ส่วนรูป (b) คือฟิล์มบาง AlMZO ที่เจืออะลูมิเนียม 5% พบว่าเมื่อทำการเจืออะลูมิเนียม 5 % ทำให้ขนาดของผลึกเล็กลงอย่างมากมีลักษณะเป็นอสัณฐาน(Amorphous)จึงทำมีอัดตัวของผลึกกันอย่างหนาแน่นมากยิ่งขึ้น ส่วนรูป (c) คือ ฟิล์มบาง AlMZO ที่เจืออะลูมิเนียม 10% พบว่าผลึกมีมีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) เช่นกันจึงทำให้มีการจัดเรียงตัวของผลึกกันอย่างหนาแน่นมากเช่นเดียวกันกับเจืออะลูมิเนียม 5% เนื่องมาจากอะลูมิเนียมจะเข้าไปทำให้การก่อตัวเป็นผลึกได้แย่ลง[17] อุณหภูมิที่ใช้ในการแอนนีลต่ำจึงทำให้การก่อตัวเป็นผลึกเมื่อทำการเจืออะลูมิเนียมได้ไม่ดี [12]ซึ่งจากผลการวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวจะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สัญญาณของการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (รูปที่ 4.28)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์ทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราดของฟิล์มบาง AlMZO ที่มีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน คือ(a) 0% (b) 5%และ (c) 10%



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	114.52	3.027	29.156	wt.%	
Mg	Ka	34.25	1.655	4.436	wt.%	
Al	Ka	8.07	0.803	0.912	wt.%	
Si	Ka	188.67	3.885	18.556	wt.%	
Ca	Ka	12.63	1.005	1.406	wt.%	
Zn	La	214.15	4.139	40.205	wt.%	
Au	Ma	15.05	1.097	5.328	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

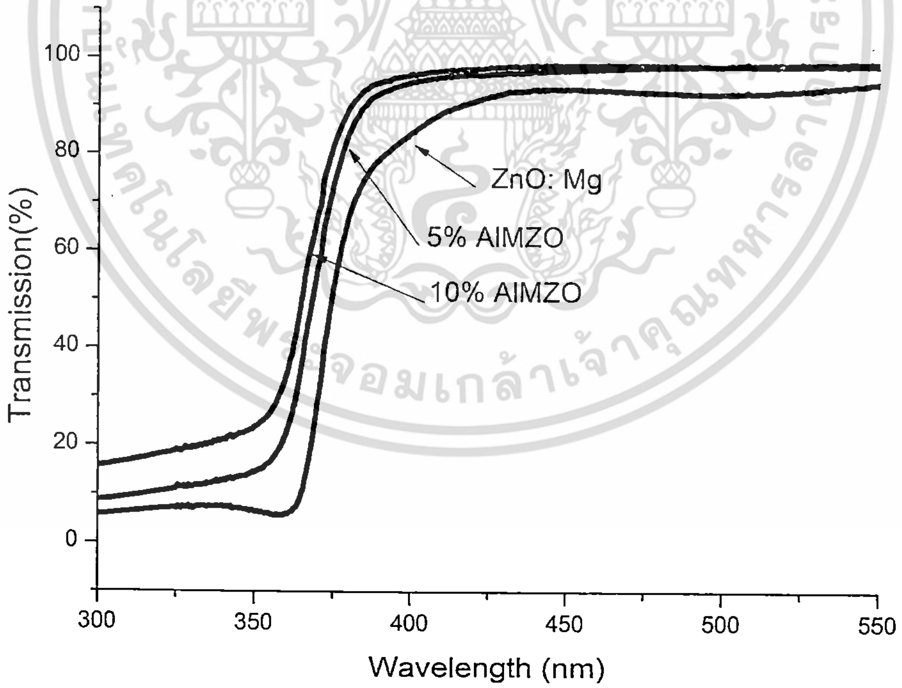
รูปที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของฟิล์มบาง AlMZO ที่เจือไนโตรเจน 5% ด้วยเทคนิค EDS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.30 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของฟิล์มบาง AlMZO ที่เจืออะลูมิเนียม 5% ด้วยเทคนิค Energy Dispersive Spectrometry (EDS) พบว่าฟิล์มบาง AlMZO มีส่วนประกอบของธาตุแมกนีเซียม ซิงค์และอะลูมิเนียม อยู่ในฟิล์มบาง AlMZO จริง ซึ่งมีปริมาณอะลูมิเนียม ที่อยู่ในฟิล์มบาง AlMZO ประมาณ 0.912 wt%

4.4.3. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องวัดการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มบาง AlMZO

รูปที่ 4.31 แสดงผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบาง AlMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% และมีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% สังเกตเห็นว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความโปร่งใสมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบฟิล์มบางที่ยังไม่เจืออะลูมิเนียมในย่านแสงตามองเห็นและเมื่อเจืออะลูมิเนียมเข้าไปในฟิล์มบาง ทำให้สามารถเลื่อนขอบการดูดกลืนในย่านความยาวคลื่นสั้นลงได้ดีกว่าฟิล์มบาง ZnO: Mg ดังนั้นการเจือธาตุอะลูมิเนียมเข้าไปในสารละลายโซลเจลซิงค์:แมกนีเซียมทำให้ประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นสั้นลงได้ดีมากขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณแมกนีเซียม นอกจากนี้ยังสามารถนำผลการวิเคราะห์ค่าการทะลุผ่านทางแสงไปคำนวณหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามได้ด้วยสมการที่ 2.6 แสดงดังตารางที่ 3



รูปที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มบาง AlMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 3% และมีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน คือ 0% 5% และ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการคำนวณแถบพลังงานต้องห้ามที่คำนวณมาจากการทะลุผ่านทางแสงของฟิล์มบาง ZnO และฟิล์มบาง AlMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 0% 3%และ 20% และมีปริมาณอะลูมิเนียมต่างกัน คือ 0% 5% และ 10% พบว่าค่าแถบพลังงานต้องห้ามมีค่าเพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณแมกนีเซียม

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบาง ZnO และฟิล์มบาง AlMZO ที่ปริมาณแมกนีเซียม 0% 3%และ 20% มีปริมาณไนโตรเจนต่างกัน คือ 0% 5% และ 10%

Al-doping Concentration	Optical band gap (eV)		
	x=0	x=0.03	x=0.2
0 %	3.23	3.32	3.45
5 %	3.3	3.35	3.54
10 %	3.32	3.37	3.53

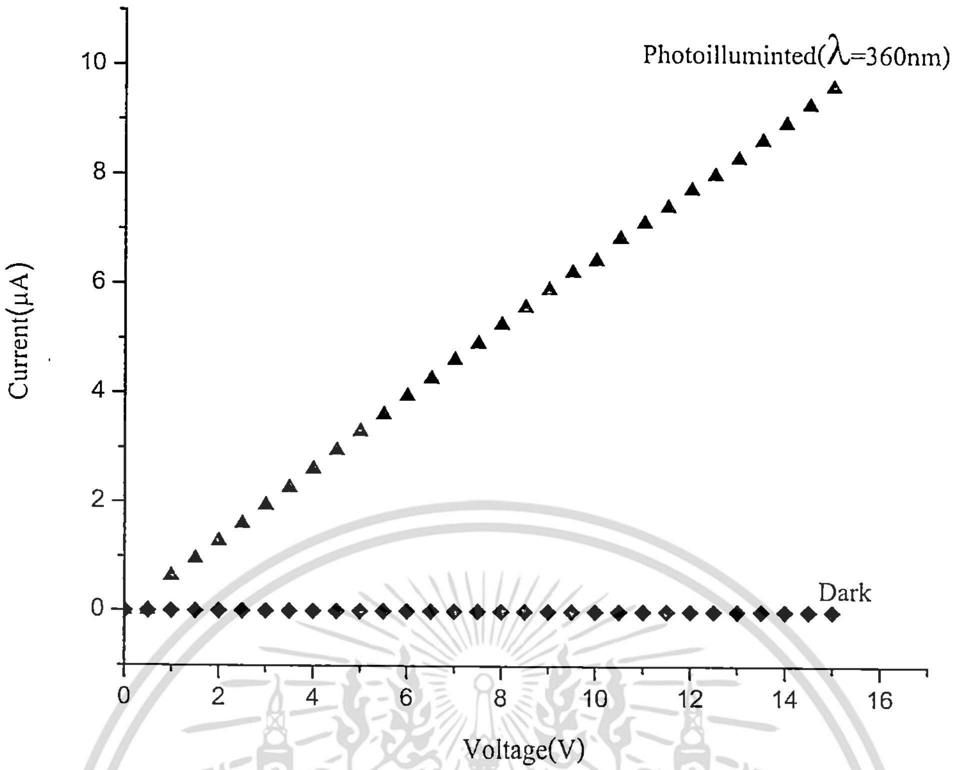
จากผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมที่เจือด้วยธาตุอะลูมิเนียม(AlMZO) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือธาตุอะลูมิเนียม 5% และ 10% จะพบว่าธาตุอะลูมิเนียมทำให้ขนาดผลึกเล็กลงเป็นอย่างมากจนมีลักษณะเป็นอสันฐาน นอกจากนี้ยังทำให้ฟิล์มบางมีความโปร่งใสมากขึ้นและสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงได้มากขึ้นกว่าฟิล์มบาง ZnO:Mg โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณแมกนีเซียม

4.5 ผลการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg NMZOและ AlMZOในย่านรังสีอัลตราไวโอเลต

4.5.1 ผลการศึกษาสมบัติกระแส-แรงดันของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20%

รูปที่ 4.32 แสดงค่าของกระแสมืดและกระแสแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ทำขั้วแบบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (MSM) ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งการวัดกระแสมืดและกระแสแสงป้อนแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ จะได้ค่ากระแสมืดประมาณ 1.05 นาโนแอมแปร์ ค่ากระแสแสงประมาณ 6.44 ไมโครแอมแปร์ เมื่อนำสัญญากระแสมืดกับสัญญากระแสแสงเปรียบเทียบกันทำให้มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N ratio) อยู่ประมาณ 10^3 เท่าและกราฟที่แสดงเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงถึงความเป็นขั้วแบบโอห์มมิค(Ohmmic)ที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

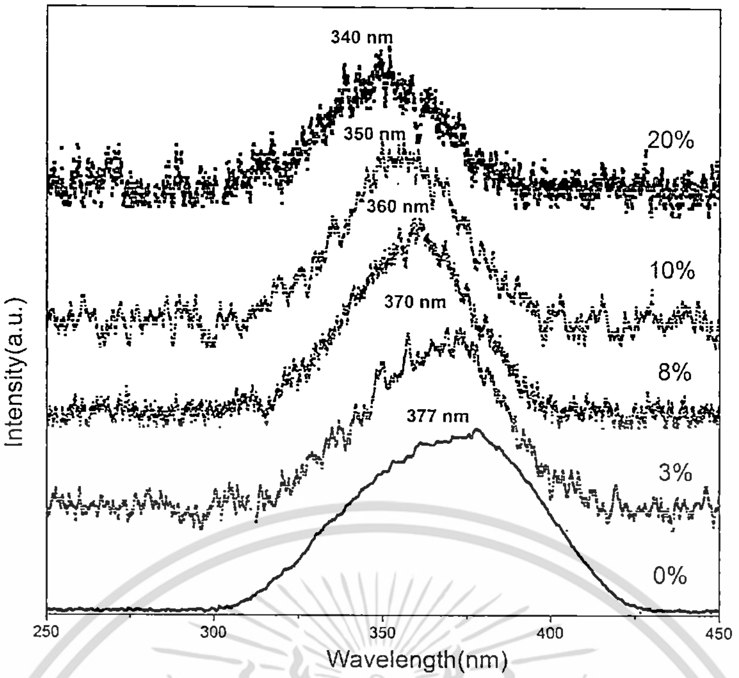


รูปที่ 4.32 กราฟของการวัดกระแสมืดและกระแสแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20%

4.5.2 ผลการศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% 8% 10% และ20%

รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% 8% 10% และ20% แอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C ป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ 3 โวลต์ พบว่าฟิล์มบางมีการตอบสนองต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 300 - 425 นาโนเมตรหรือย่านรังสีอัลตราไวโอเลต และมีสัญญาณการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง ZnO มีค่าสูงสุดประมาณ 377 นาโนเมตร สัญญาณการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% 8% 10% และ20% สูงสุดประมาณ 377 370 360 350 และ 340 นาโนเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อเพิ่มเมื่อเจือสารแมกนีเซียม จะทำให้เลื่อนค่าการตอบสนองสูงสุดต่อรังสีอัลตราไวโอเลตไปอยู่ในช่วงความยาวคลื่นสั้นลงได้ในย่านรังสีอัลตราไวโอเลตและทำให้ได้สัญญาณช่วงที่แคบขึ้น ซึ่งผลการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตจะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงและการดูดกลืนทางแสง(รูปที่ 4.15 และ 4.16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

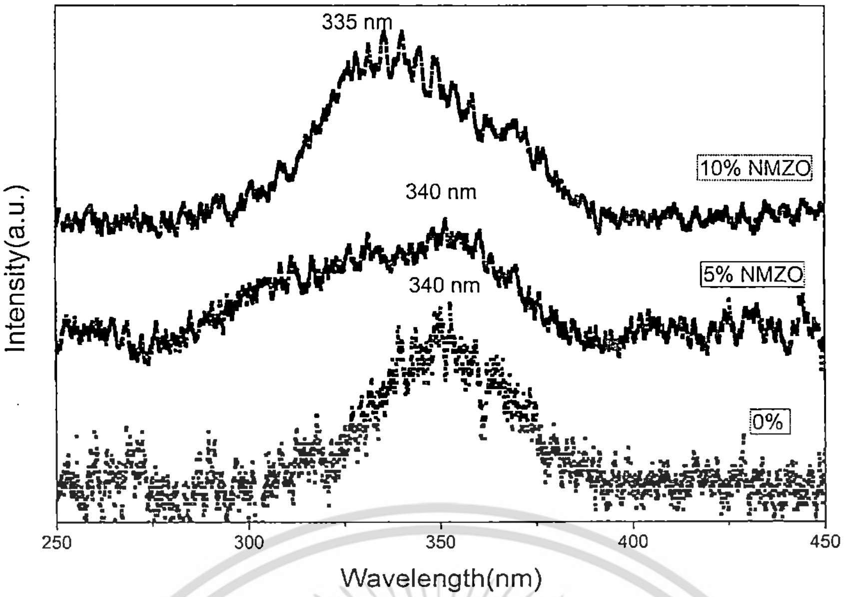


รูปที่ 4.33 การเปรียบเทียบค่าการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม (a) 0% (b)3% (c)8% (e)10% และ(f)20% แอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C

4.5.3 ผลการศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง NMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกันคือ 5% และ 10%

รูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง NMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกันคือ 5% และ 10% ป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ 3 โวลต์ พบว่าสัญญาณการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% สูงสุดประมาณ 340 นาโนเมตร และมีช่วงการตอบสนองประมาณ 325-400 นาโนเมตรหรือย่านรังสีอัลตราไวโอเลต ส่วนสัญญาณการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง NMZO ที่เจือ 5% สูงสุดประมาณ 340 นาโนเมตรแต่จะและมีช่วงการตอบสนองกว้างขึ้นประมาณ 275-400 นาโนเมตร เมื่อทำการเจือไนโตรเจน 10% ทำให้เลื่อนสัญญาณการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง NMZO สูงสุดประมาณ 335 นาโนเมตรและและมีช่วงการตอบสนองประมาณ 300-400 นาโนเมตรจะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อเพิ่มเมื่อเจือไนโตรเจนจะทำให้ค่าการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตเลื่อนไปอยู่ในช่วงความยาวคลื่นสั้นได้และทำให้ได้สัญญาณช่วงที่กว้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

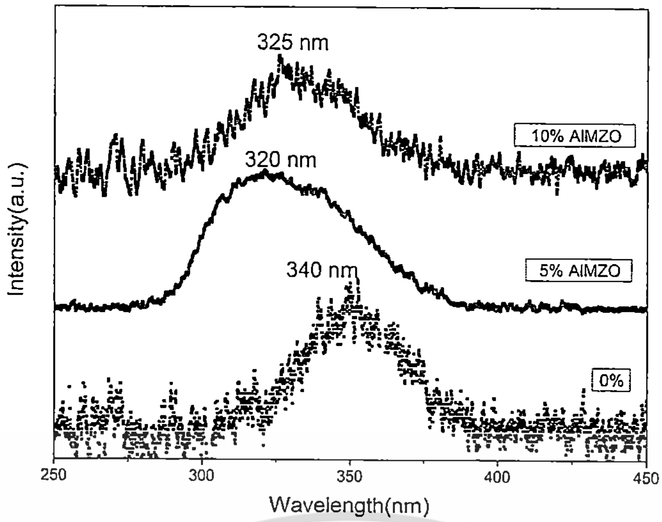


รูปที่ 4.34 ผลการค่าการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง NMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกันคือ 0% 5% และ 10% ป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ 3 โวลต์

4.5.4 ผลการศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง AlMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจืออะลูมิเนียมต่างกันคือ 5% และ 10%

รูปที่ 4.35 แสดงการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง AlMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจืออะลูมิเนียมต่างกันคือ 5% และ 10% ป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ 3 โวลต์ พบว่าสัญญาณการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และสูงสุดประมาณ 340 นาโนเมตร และมีช่วงการตอบสนองอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 325-400 นาโนเมตรหรือย่านรังสีอัลตราไวโอเลต เมื่อทำการเจืออะลูมิเนียม 5% ทำให้เลื่อนสัญญาณการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง AlMZO สูงสุดได้ประมาณ 320 นาโนเมตรและเลื่อนขอบขาขึ้นถึงขอบขาลงจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นไปอยู่ในช่วงประมาณ 270-375 นาโนเมตร ส่วนสัญญาณการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง AlMZO ที่เจือ 10% จะเลื่อนกับไปทางด้านความยาวคลื่นยาวขึ้นเล็กน้อย ซึ่งจุดสูงสุดประมาณ 325 นาโนเมตรแต่จะมีขอบขาขึ้นถึงขอบขาลงจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 300-375 นาโนเมตร จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อเจืออะลูมิเนียม 5% จะทำให้ค่าการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง ZnO:Mg ดีขึ้น และเมื่อเจืออะลูมิเนียม 10% สัญญาณการตอบสนองจะไม่ดีขึ้น ทำให้ทราบถึงปริมาณการเจืออะลูมิเนียมที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพของฟิล์มบาง ZnO:Mg ต่อการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

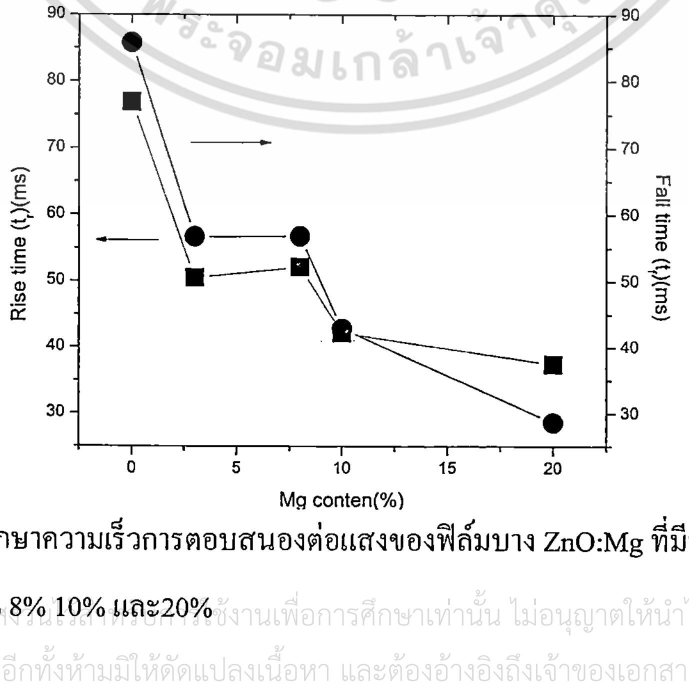


รูปที่ 4.35 ผลการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางAlMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจืออะลูมิเนียมต่างกันคือ 0% 5% และ 10% ป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ 3 โวลต์

4.5.5 ผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% 8% 10% และ20%

4.5.5 ผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% 8% 10% และ20%

รูปที่ 4.36 แสดงผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% 8% 10% และ20% มีเวลาการตอบสนองขาขึ้นต่อแสงเป็น 76.857 50.167 52.167 42.188 และ37.427 ms และมีเวลาการตอบสนองขาลงต่อแสงเป็น 85.767 56.683 56.798 42.872 และ 28.626 ms ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมมากขึ้นจะทำให้เวลาการตอบสนองขาขึ้นต่อแสงและมีเวลาการตอบสนองขาลงต่อแสงดียิ่งขึ้น

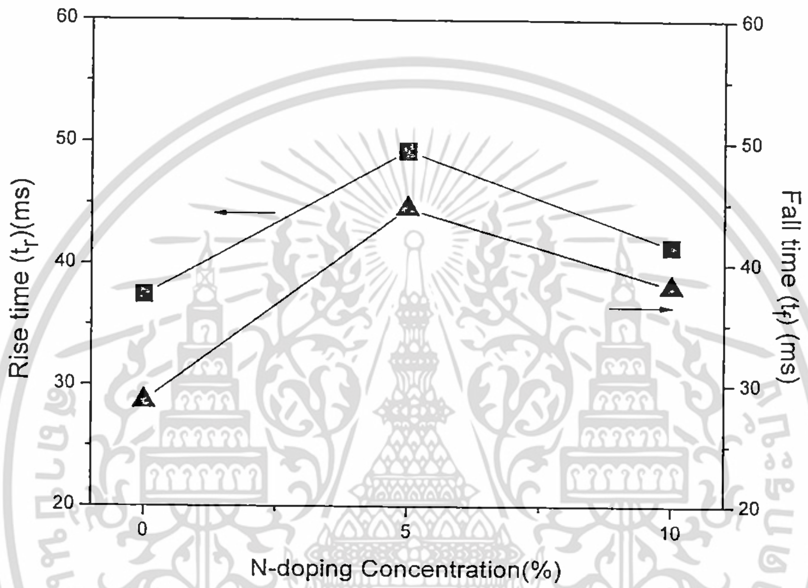


รูปที่ 4.36 ผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 0% 3% 8% 10% และ20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.6 ผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง NMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกันคือ 5 % และ 10 %

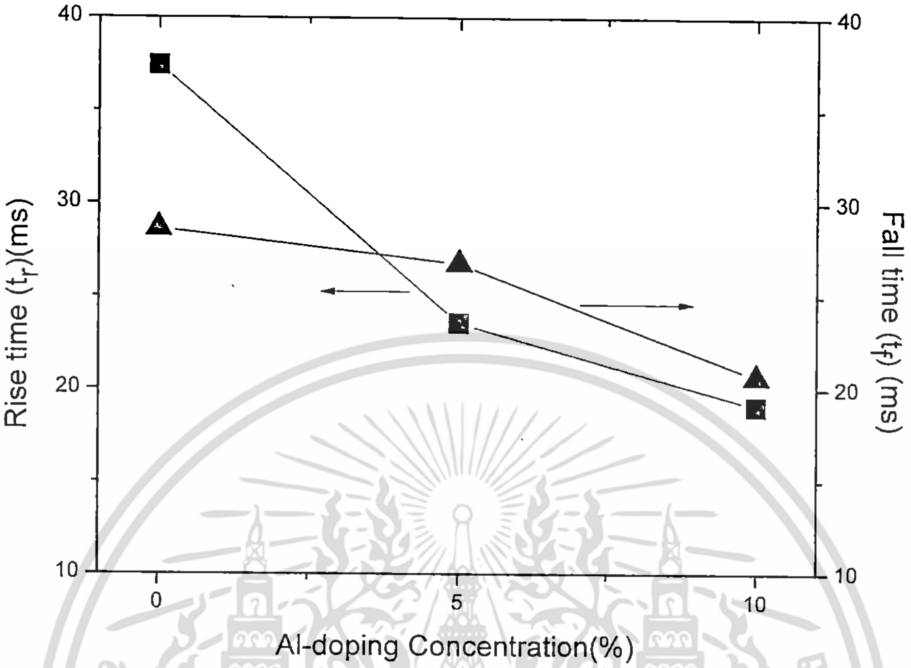
รูปที่ 4.37 แสดงผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง NMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกันคือ 5% และ 10% มีเวลาการตอบสนองขาขึ้นต่อแสงเป็น 37.427 49.28 และ 41.445 ms และมีเวลาการตอบสนองขาลงต่อแสงเป็น 28.626 44.591 และ 38.11 ms ตามลำดับ



รูปที่ 4.37 ผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง NMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกันคือ 0% 5% และ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.7 ผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง AlMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจือไนโตรเจนต่างกันคือ 5 % และ 10 %



รูปที่ 4.38 ผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบางAlMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจืออะลูมิเนียมต่างกันคือ 5% และ 10%

รูปที่ 4.38 แสดงผลการศึกษาความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบางAlMZO ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% และมีปริมาณการเจืออะลูมิเนียมต่างกันคือ 5% และ 10% มีเวลาการตอบสนองขาขึ้นต่อแสงเป็น 37.427 23.567 และ 19.066 ms และมีเวลาการตอบสนองขาลงต่อแสงเป็น 28.626 26.753และ 20.658 ms ตามลำดับ พบว่าเมื่อทำการเจืออะลูมิเนียมทำให้ฟิล์มบางมีการตอบสนองต่อแสงได้เร็วขึ้น เนื่องมาจากธาตุอะลูมิเนียมจะลดค่าความต้านทานเชิงแผ่นในฟิล์มบางจึงทำให้ฟิล์มบางที่เจืออะลูมิเนียมมีการตอบสนองต่อแสงได้เร็วขึ้น[17]

จากผลการวิเคราะห์การตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg NMZOและ AlMZOในย่านรังสีอัลตราไวโอเลต พบว่าสัญญากระแสมืดกับสัญญากระแสแสงเปรียบเทียบกันทำให้มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N ratio) อยู่ประมาณ 10^3 เท่าแสดงถึงการตอบสนองต่อแสงได้ดีและยังเป็นขั้วแบบโอห์มมิค (Ohmmic) ที่ดี นอกจากนี้จากผลการศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆและความเร็วการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง ZnO:Mg NMZOและ AlMZO พบว่าการเจือไนโตรเจนหรืออะลูมิเนียมจะทำให้ประสิทธิภาพของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์:แมกนีเซียมในการตอบสนองต่อแสงดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ภายใต้เงื่อนไขต่างกันดังนี้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการแอนนีล เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือสารแมกนีเซียมออกไซด์ และศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพต่อการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบาง ZnO:Mg ด้วยการเจือด้วยธาตุไนโตรเจนและเจือด้วยธาตุอะลูมิเนียม ที่เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ด้วยเทคนิคหมุนเคลือบลงบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต เนื่องจากกระบวนการเตรียมและการปลูกนี้เป็นวิธีการที่ง่าย มีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ราคาถูก สามารถทำในระบบเปิด และสามารถควบคุมปริมาณการเจือสารได้ จากนั้นนำฟิล์มบางที่ปลูกได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้าง สมบัติทางพื้นผิว สมบัติทางแสง และวัดการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลต ซึ่งสรุปได้ดังนี้

5.1.2 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการแอนนีล

งานวิจัยนี้ได้ทำการปลูกฟิล์มบาง ZnO:Mg ที่มีปริมาณแมกนีเซียม 20% ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการแอนนีล เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ซึ่งใช้เทคนิคหมุนเคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 ^{o}C 450 ^{o}C 500 ^{o}C และ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ ฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความโปร่งใสและมีความหนาประมาณ 450 นาโนเมตร จากผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการแอลนีลทำให้ทราบว่าอุณหภูมิมีผลกระทบต่อสมบัติทางโครงสร้างของฟิล์มบางสมบัติทางพื้นผิวและสมบัติทางแสงกล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิในการแอนนีลสูงขึ้นทำให้ผลึกใหญ่ขึ้นจาก 10 นาโนเมตรที่อุณหภูมิ 400 ^{o}C จนถึง 17 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C ส่งผลทำให้ค่าแถบพลังงานต้องห้ามเพิ่มขึ้นจาก 3.37-3.42 อิเล็กตรอนโวลต์และฟิล์มบางที่เตรียมได้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อตัวเป็นผลึกที่ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิแอนนีลสูงขึ้นดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกอุณหภูมิการแอนนีลที่ 550 ^{o}C ในการทำงานวิจัยขั้นต่อไป

5.1.3 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียม

งานวิจัยนี้ได้ทำการปลูกฟิล์มบาง ZnO :Mg ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมที่ต่างกัน คือ 0% 3% 8% 10%และ 20% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจล ที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกต และทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ ฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความโปร่งใสและสัญญาณเลี้ยวเบนจะพบโครงสร้างซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ลักษณะแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ไซด์ (Hexagonal wurtzite)เท่านั้น เนื่องมาจากโครงสร้างของแมกนีเซียมออกไซด์มีลักษณะแบบ คิวบิก (cubic) จะต้องมีปริมาณในฟิล์มมากกว่า 0.5 และต้องทำการแอนนีลมากกว่าอุณหภูมิ 600 ^{o}C ขึ้นไปถึงจะทำให้เกิดการก่อตัวเป็นผลึกแมกนีเซียมออกไซด์ที่ดีได้ [3]ดังนั้นฟิล์มบางที่เตรียมได้จึงพบสัญญาณเลี้ยวเบนที่เป็นโครงสร้างซิงค์ออกไซด์เท่านั้น อย่างไรก็ตามเมื่อมีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มบางมีขอบการดูดกลืนแสงเลื่อนไปในย่านความยาวคลื่นที่สั้นลงและมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามที่เพิ่มขึ้นในช่วง 3.23-3.40 อิเล็กตรอนโวลต์ จากค่าแถบพลังงานต้องห้ามสามารถนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการพาราโบลิก ด้วย Vigard's Law [4,9] คือ $E_g = 3.24 + 1.26x - 2.38x^2$ เพื่อแสดงถึงค่าแถบพลังงานต้องห้ามที่แปรผันตามค่าปริมาณแมกนีเซียม(x) นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาการตอบสนองต่อแสงในย่านอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางที่เปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมทำขั้วแบบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ พบว่าอัตราส่วนของสัญญาณกระแสมืดกับสัญญาณกระแสแสงมีค่าประมาณ 10^3 เท่า แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองต่อแสงที่ดีของฟิล์มบางที่เตรียมได้ เมื่อวัดการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ พบว่ามีช่วงการตอบสนองประมาณ 300 - 450 นาโนเมตรและมีสัญญาณสูงสุดที่สามารถตอบสนองได้ประมาณ 377 370 360 350 และ 340 นาโนเมตร ที่ x = 0.0 0.03 0.08 0.1และ 0.2 ตามลำดับ และเมื่อการวัดความเร็วในการตอบสนองต่อแสงพบว่ามีการตอบสนองที่ดีขึ้นเมื่อมีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมมากขึ้นทำให้ประสิทธิในการดูดกลืนแสงในย่านอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นสั้นลงได้ดีขึ้นและยังมีการตอบสนองต่อแสงได้ความเร็วขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจนภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือธาตุไนโตรเจน

งานวิจัยนี้ได้ทำการปลูกฟิล์มบาง ZnO :Mg ที่เจือด้วยธาตุไนโตรเจนที่มีปริมาณไนโตรเจนคือ 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ ฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความโปร่งใสสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มบางที่ทำการเจือไนโตรเจนมีการก่อตัวเป็นผลึกได้ดีในแนวแกนซี เมื่อคำนวณหาค่าความเข้ม $i_{(002)}$ สัญญาณของการเลี้ยวเบนมีค่าประมาณ 0.24-0.56 และมีขนาดผลึกอยู่ระหว่าง 20.5- 27.4 นาโนเมตร เมื่อมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มบางมีขอบการดูดกลืนแสงเลื่อนไปในย่านความยาวคลื่นที่สั้นลงและมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามที่เพิ่มขึ้นในช่วง 3.23-3.53 eV อิเล็กตรอนโวลต์ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาการตอบสนองต่อแสงในย่านอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางที่เปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมทำขั้วแบบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ เมื่อวัดการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ พบว่ามีช่วงการตอบสนองประมาณ 250-400 นาโนเมตรและมีสัญญาณสูงสุดที่สามารถตอบสนองได้ประมาณ 340 และ 335 นาโนเมตร ที่ 5%และ 10% ตามลำดับ และเมื่อวัดความเร็วในการตอบสนองต่อแสงพบว่ามีความเร็วในการตอบสนองช้าลงเมื่อมีการเจือไนโตรเจน แต่อย่างไรก็ตามฟิล์มบางที่เจือไนโตรเจนที่เตรียมได้มีการก่อตัวเป็นผลึกได้ดีในแนวแกนซีและสามารถดูดกลืนแสงในย่านอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นสั้นลงได้โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณแมกนีเซียม

5.1.5 ผลการทดลองปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์: แมกนีเซียม (ZnO:Mg) ที่เจือด้วยธาตุอะลูมิเนียมภายใต้ เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการเจือธาตุอะลูมิเนียม

งานวิจัยนี้ได้ทำการปลูกฟิล์มบาง ZnO :Mg ที่เจือด้วยธาตุอะลูมิเนียมที่มีปริมาณอะลูมิเนียมคือ 5% และ 10% เตรียมด้วยสารละลายโซลเจลที่เคลือบบนฐานรองรับกระจกโบโรซิลิเกตและทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติ ฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความโปร่งใสสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการเจืออะลูมิเนียมมีความเป็นผลึกน้อยลงตามปริมาณการเจืออะลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นโดยสังเกตได้จากสัญญาณการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เมื่อมีปริมาณอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มบางมีขอบการดูดกลืนแสงเลื่อนไปในย่านความยาวคลื่นที่สั้นลงและมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามที่เพิ่มขึ้นในช่วง 3.23-3.54 eV อิเล็กตรอนโวลต์ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองต่อแสงในย่านอัลตราไวโอเลตของฟิล์มบางที่เปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมทำขั้วแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ เมื่อวัดการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ พบว่ามีช่วงการตอบสนองประมาณ 270-375 นาโนเมตรและมีสัญญาณสูงสุดที่สามารถตอบสนองได้ประมาณ 320 และ 325 นาโนเมตร ที่ 5% และ 10% ตามลำดับ และเมื่อวัดความเร็วในการตอบสนองต่อแสงพบว่ามีความเร็วมากขึ้นในการตอบสนองเมื่อมีการเจืออะลูมิเนียม จากงานวิจัยทำให้ทราบว่าการเจืออะลูมิเนียมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงในย่านอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นสั้นลงได้โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมและยังทำให้มีการตอบสนองต่อแสงที่ดีขึ้น

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

1.ศึกษาการปลูกฟิล์มบางให้เข้าใจเพื่อช่วยลดขั้นตอนการทดลอง

2.ศึกษาสมบัติของสารเคมีอย่างครบถ้วนให้เข้าใจก่อนทำการทดลอง

3.ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกฟิล์มบางเพื่อลดการเกิด defect

4.สารละลายโซลเจลที่เตรียมต้องมีความหนืดที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ฟิล์มบางที่มีประสิทธิภาพที่ดี

5.ความหนาของฟิล์มบางควรมีความหนาที่เหมาะสม ถ้าหนาไปจะทำให้ฟิล์มบางมีรอยแตกได้

6.การเก็บฟิล์มบางที่เตรียมได้ต้องเก็บเป็นระบบเพื่อกันการสลับกันของฟิล์มบาง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. อุปกรณ์ในเตรียมสารละลายโซลเจลต้องมีความสะอาดและมีฝุ่นละอองน้อยที่สุด เพื่อลดการปนเปื้อนและเพิ่มประสิทธิภาพของฟิล์มบางได้

2.สารละลายโซลเจลที่เตรียมได้ไม่ควรถูกน้ำหยดลงไปเพราะจะทำให้สารละลายโซลเจลเสีย

3.สารละลายโซลเจลที่เตรียมได้ควรทำการหมุนเคลือบให้เป็นฟิล์มบางเลย ไม่ควรเก็บไว้นานจนเกินไป

4.ขณะทำการทดลองควรป้องกันตัวเองทุกครั้ง ด้วยการสวมถุงมือ ใส่หน้ากาก เพื่อป้องกันสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย

5.ขณะทำการปลูกฟิล์มด้วยเทคนิคหมุนเคลือบในแต่ละรอบควรทำสะอาดเครื่องหมุนเคลือบเสมอ

6.ในการคำนวณประมาณสารเคมีที่นำมาทดลองควรเป็นตามที่คำนวณได้หากมีการคลาดเคลื่อนมากอาจส่งผลให้ฟิล์มออกมามีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Z. Jun, W. Sen, T. Peng and X. Jincheng, "Luminescence properties of nanostructure MgZnO prepared by thermal oxidation", **J Alloys Comp**, vol. 476 (2009), pp. 60-63.

[2] C. Li, F.Y.Meng, S.Zhang, J.Q.Wang, "Effects of Mg content and B doping on structural, electrical and optical properties of$Zn_{1-x}Mg_xO$ thin films prepared by MOCVD", **J Cryst Growth**, vol. 312 (2010), pp. 1929–1934.

[3] M. Wang, E. Jung Kim, S. Kim, J.S. Chung, I-K Yoo, E.W. Shin, S.H. Hahn, C. Park, "Optical and structural properties of sol–gel prepared MgZnO alloy thin films", **Thin Solid Films**, vol. 516 (2008), pp. 1124–1129.

[4]W. Pecharapa, C. Kahattha and W. Techitdeera, "Optical properties of MgZnO alloyed films characterized by transision spectroscopy", **Proc. International workshop and symposium on science and technology** 2008 December 15 – 16, 2008 Nongkhai, Thailand.

[5] J.H. Li, Y.C. Liu, C.L. Shao, X.T. Zhang, D.Z. Shen, Y.M. Lu, J.Y. Zhang and X.W. Fan, "Effects of thermal annealing on the structural and optical properties of $Mg_xZn_{1-x}O$ nanocrystals", **J Colloid and Interf Sci**, vol. 283(2005), pp. 513.

[6] R.N. Gayen, S.N. Das, S. Dalui, R. Bhar and A.K. Pal, "Zinc magnesium oxide nanofibers on glass substrate by solution growth technique", **J Crystal Growth**, vol. 310 (2008), pp. 4073-4080.

[7] T. Minemoto, T. Negami, S. Nishiwaki, H. Takakura, Y. Hamakawa, "Preparation of ZnMgO films by radio frequency magnetron sputtering", **Thin Solid Films**, vol. 372 (2000), pp. 173-176.

[8] H. Wang, K.P. Yan, J. Xie and M. Duan, "Fabrication of ZnO colloidal photonic crystal by spin-coating method", **Mat Sci Semicon Proc**, vol. 11(2008), pp. 44.

[9] H. Nian, S.H. Hahn, K.K. Koo, E.W. Shin, E.J. Kim, "Sol–gel derived N-doped ZnO thin films", **Mater Lett**, vol. 63 (2009), pp. 2246–2248.

[10]Z.Q. Xu, H. Deng, J. Xie, Y. Li, X.T. Zu, " Ultraviolet photoconductive detector based on Al doped ZnO films prepared by sol–gel method", **Appl Surf Sci,** 253 (2006), 476–479.

[11] P. Yua, H.Z. Wua, T.N. Xua, D.J. Qiua, G.J. Huc, N. Daic, "Cubic phase $Mg_xZn_{1-x}O$ thin films for optical waveguides", **J Crystal Growth**, vol. 310 (2008), pp. 336–340.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] A. Verma, F. khan, D. Kumar, M. Kar, B.c. Chakravarty, S.N. Singth, M. Husain, “Sol-gel derived aluminum doped zinc oxide for application as anti-reflection coating in terrestrial silicon cells”, **Thin Solid Films**, vol. 518 (2010), pp. 2649-2653.

[13] ธเนศ โชะเหม. “การออกแบบและการสร้างตัวตรวจวัดแสงชนิด Al/n-Si/Al แบบพลานาร์” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548

[14] C-H Choi,S-H Kim, “Effects of post-annealing temperature on structural, optical,and electrical properties of ZnO and Zn1_xMgxO films by reactive RF magnetron sputtering”, **J Crystal Growth**, vol. 283 (2005), pp. 170–179.

[15] W.W. Liua, B. Yaoa, Y.F. Li, B.H. Li, Z.Z. Zhanga, C.X. Shana, J.Y. Zhanga, D.Z. Shena, X.W. Fana, “p-Type MgZnO thin films grown using N delta-doping by plasma-assisted molecular beam epitaxy”, **J Alloys Comp**, vol. 504 (2010), pp. 484–487.

[16] C. Li, F.Y. Meng, S. Zhang, J.Q. Wang, “Effects of Mg content and B doping on structural, electrical and optical properties of $Zn_{1-x}Mg_xO$ thin films prepared by MOCVD”, **J Crystal Growth**, vol. 312 (2010), pp. 1929-1934.

[17] M.H. Mamat, M.Z. Sahdan, Z. Khusaimi, A. Zain Ahmed, S. Abdullah, M. Rusop, “Influence of doping concentrations on the aluminum doped zinc oxide thin films properties for ultraviolet photoconductive sensor applications”, **Optical Materials**, vol. 32 (2010), pp. 696–699.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย กฤษณะ ช่องศรี เกิดเมื่อวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2529 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชดำริ อำเภอประเวศ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี คณะวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] K. Chongsri, S. Boonruang, W. Techitdheera and W. Pecharapa, " N-doped MgZnO alloy thin film prepared by sol-gel method ", Materials Letters 65 (2011) 1842–1845

ผลงานที่ได้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ

[1] เข้าร่วมการประชุมวิชาการระดับนานาชาติที่ MOC 2010: International Conference วันที่ 31 ตุลาคม ถึงวันที่ 3 พฤศจิกายน พศ. 2553 ณ ประเทศไต้หวัน ชื่อผลงานที่นำเสนอ Spin-Coated $Mg_xZn_{1-x}O$ Metal-Semiconductor-Metal Structured Photoconductive Detector with Tunable Ultraviolet Response

[2] เข้าร่วมการประชุมวิชาการระดับนานาชาติที่ SPC 2011: Siam Physics Congress 2011 วันที่ 23 มีนาคม ถึงวันที่ 26 มีนาคม พศ. 2554 ที่พัทยา ชื่อผลงานที่นำเสนอ Structural and Optical Properties of $Mg_xZn_{1-x}O$ alloy films prepared by Sol-gel Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้