

การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติ $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มี ZnS ใน
ปริมาณสูง



นาย สภากรณ์ ศรีสมุทร
นาย อติศร เลิศไชย

เลขหน้.....
เลขทะเบียน... 43950
วัน, เดือน, ปี... 18 ต.ค. 2545

.b.....
.i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

Preparation and Characterization of $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ Thin Films with High ZnS Content



Mr. Sapakorn Srisamut

Mr. Adisorn Lertchai

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

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติ $Cd_xZn_{1-x}S$ ที่มี ZnS ในปริมาณสูง

โดย นายสภาคกรณ์ ศรีสมุทร รหัสประจำตัว 41054068

นายอดิศร เลิศไชย รหัสประจำตัว 41054078


ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จิตินัย แก้วแดง

รศ.งามนิตย์ แก้วแดง

ดร.ชัยสิงห์ ภูรักษ์เกียรติ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้รับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

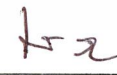
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตินัย แก้วแดง)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ งามนิตย์ แก้วแดง)



กรรมการ

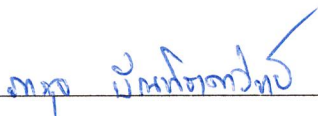
(ดร.ชัยสิงห์ ภูรักษ์เกียรติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(อาจารย์ บดินทร์ ดำรงค์ศักดิ์)

กรรมการ



(อาจารย์ ภารุจ บันทิธาดาวิทย์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติ $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มี ZnS ในปริมาณสูง
โดย นายสภาคกรณ์ ศรีสมุทร รหัสประจำตัว 41054068
นายอดิศร เลิศไชย รหัสประจำตัว 41054078
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. รุติฉินัย แก้วแดง
รศ. งามนิตย์ แก้วแดง
ดร. ชัยสิงห์ ภูรักษาเกียรติ
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้ เป็นการเตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มี ZnS ในปริมาณที่สูง จากสารละลายที่ถูกเคลือบลงบนแผ่นกระจกสไลด์ซึ่งสารตั้งต้นประกอบไปด้วย $CdSO_4$, $ZnSO_4$, $SC(NH_3)$, NH_3 และ N_2H_5OH เตรียมที่อุณหภูมิ $80^\circ C$ ใช้เวลา 60 นาทีจากนั้นนำไปแอนนัลภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ในช่วงอุณหภูมิ $100-500^\circ C$ นาน 20 นาที จากการศึกษาการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ฟิล์มบางที่มีอัตราส่วนผสม x ต่ำกว่า 0.8 และไม่ได้แอนนัลจะปรากฏพีคเนื่องจากการเลี้ยวเบนของระนาบ (111) และ (220) ของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกแต่เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิเพิ่มสูงกว่า $400^\circ C$ จำนวนพีคการเลี้ยวเบนจะเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล ส่วนขนาดของช่องว่างแถบพลังงานและค่าของความต้านทานแผ่นจะมีค่าเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่แอนนัลหรือที่อัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น สำหรับค่าความต้านทานแผ่นในกรณีที่มีการฉายแสงจากหลอดไฟที่บรรจุไอปรอทความดันสูงนั้น พบว่าความต้านทานแผ่นมีค่าลดลงเนื่องจากพลังงานแสงอยู่ในย่านอัลตราไวโอเล็ต สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนให้เคลื่อนย้ายไปยังแถบนำ อิเล็กตรอนอิสระจึงเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานแผ่นมีค่าลดลง

Special Project Title Preparation and Characterization of $Cd_{1-x}Zn_xS$ Thin Film with High ZnS Content

Name Mr. Sapakorn Srisamut
Mr. Adisorn Lertchai

Special project Advisor Assoc.Prof.Dr. Thitinai Gaewdang
Assoc.Prof Ngamnit Gaewdang
Dr. Chaisingh Poo-Rakkiat

Department Applied Physics Faculty of Science

Academic Year 2001

Abstract

In this special project, $Cd_{1-x}Zn_xS$ thin films with high ZnS content have been deposited on glass slide substrates by the chemical bath deposition technique at $80^{\circ}C$ for 60 min. The solution in the reaction bath were prepared from $CdSO_4, ZnSO_4, SC(NH_2)_2, NH_3$, and hydrazinium hydroxide. As-deposited films were thermally annealed in a controlled N_2 atmosphere with annealing temperature in the range $100-500^{\circ}C$. For the mixture ratio x below 0.8, XRD patterns of as-deposited films and of the films annealed below $400^{\circ}C$ were assigned to the (111) and (220) diffraction peaks of the cubic structure. At annealing temperature higher than $400^{\circ}C$, the number of diffraction peak increases and they correspond to the hexagonal structure. The variation of energy gap and sheet resistance of $Cd_{1-x}Zn_xS$ film as a function of annealing temperature and of the mixture ration x were also observed. The decrease in sheet resistance value under illumination by using high pressure mercury lamp is probably due to the increase in free carriers. Most of free carriers are electrons which transfer from the valence band to conduction band in consequence of absorption the ultraviolet radiation.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิตินัย แก้วแดง รองศาสตราจารย์ งามนิธย์ แก้วแดง และ ดร.ชัยสิงห์ ภูรักเกียรติ ที่เอื้ออำนวยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง ตลอดจนอุปการะทุนสนับสนุน และการให้คำแนะนำปรึกษาทางวิชาการที่ดีตลอดมา รวมไปถึงการปลูกฝังสิ่งที่ดีงามให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุพงศ์ สรวงประภา ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องซังสาร , กล้องโลหะลดสัญญาณรบกวนและอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดความต้านทานแผ่น

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์กล้องจุลทรรศน์เครื่องกวสสารละลายเคมีและตู้อบอุณหภูมิสูง

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้กล้องดิจิตอลในการถ่ายรูปและจัดสรรเงินของภาควิชาเพื่อใช้ในการจัดทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ อาจารย์ บดินทร์ ดำรงค์ศักดิ์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และคุณ ศิริพรรณ จันทราสกุล จากศูนย์วิจัยโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่อำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำในการใช้เครื่อง surface profiler ยี่ห้อ Dektak³ ที่ใช้วัดความหนาของฟิล์มบาง

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ วรรณกุลชัย รองศาสตราจารย์ อรุณี คงศักดิ์ไพศาล คุณสุนันท์ เหล่าพระจันทร์ และคุณกัญญา ศิริโกชน์ ภาควิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล แบบดับเบิลบีมียี่ห้อจัสโก้ 7600 สเปกโตรมิเตอร์ (UV-visible spectrometer JUSCO 7600)ที่มีความยาวคลื่นย่านอัลตราไวโอเล็ต และย่านตามองเห็นแสง ของฟิล์มบาง

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตะวัน สุขน้อย และ ดร. ปุณณมา วรพจน์พิศุทธิ ภาควิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ เข็ยศิริกุล ศุภยวีจัยอเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้นำหลอดประจุมาใช้ในการทดลองของโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนากร โอสดาจันทร์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุดม รอบคอบ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตลอดจนขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสรี พุฒพัฒน์ และ คุณ รวมพร ทองเรือง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศุภยวีจัยอเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และแนะนำการใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบาง

ขอขอบคุณ คุณ ธวัชชัย ขาวประเสริฐ และ คุณ จรินทร์ โพธิ์ไชยะ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ที่อาคารฝึกงาน ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องมือประดิษฐ์อุปกรณ์ในการทดลองของโครงการพิเศษ

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้อุปการะทุนสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 โครงสร้างผลึก	4
2. โครงสร้างผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS)	4
2.1 โครงสร้างผลึกแบบคิวบิกหรือโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์	4
2.2 โครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล หรือโครงสร้างผลึกแบบ เวิร์ทไซต์	5
2.3 ดัชนีมิลเลอร์	8
2.4 ความไม่สมบูรณ์และสิ่งแปลกปลอมในของแข็งในโครงสร้างผลึกจริง	10
2.5 สิ่งแปลกปลอมในผลึก	11
2.6 ชนิดของผลึกของแข็ง	11
2.7 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	12
2.7.1 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	12
2.8 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก	13
2.8.1 ผลึกแบบซิงค์เบลนด์ซึ่งจัดอยู่ในระบบของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก	13
2.8.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซต์ซึ่งจัดอยู่ในระบบของโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล	13

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ	14
3.1 การเกิดสีของผลึก	14
3.2 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำและ กระบวนการดูดกลืนแสงของอิลีกตรอน	15
3.3 โครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์	18
3.4 ทฤษฎีการดูดกลืนแสง	20
3.5 การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ CdS	22
3.6 การวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ	23
บทที่ 4 สมบัติทางไฟฟ้า	25
4.1 สภาพนำไฟฟ้าเนื่องจากอิลีกตรอนและโฮล	25
4.2 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า	26
4.2.1 วิธีวัดโดยตรง	26
4.2.2 วิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสองขั้ว	27
4.2.3 วิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสี่ขั้วเชิงเส้น	27
4.2.4 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีแวนเดอร์เพาว์	29
บทที่ 5 การเตรียมฟิล์มบาง แคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์ โดยวิธีการเคลือบด้วย การอบสารละลายเคมี	32
5.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยา	32
5.2 การเกิดฟิล์มบางของ Cd_xZn_xS บนกระจกสไลด์	33
บทที่ 6 วิธีการทดลอง	34
6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์	34
6.2 การเตรียมแผ่นรองรับหรือแผ่นกระจกสไลด์	37
6.3 วิธีการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์	37

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.3.1 ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่อัตราส่วนผสมต่างๆที่เตรียมได้	39
6.3.2 ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เมื่อแอนนีกัลที่อุณหภูมิต่างๆ	41
6.4 ผลการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์	42
6.5 ผลการศึกษาการส่งผ่านแสงเพื่อคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน	46
6.6 วิธีการทดลองและผลการทดลองวัดค่าความต้านทานแผ่น	54
6.6.1 วิธีการทดลอง	54
6.6.2 ผลการทดลองวัดค่าความต้านทาน	54
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	60
ปัญหาและข้อเสนอนแนะ	62
ภาคผนวก	64
ประวัติผู้เขียน	69
เอกสารอ้างอิง	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงปริมาณสารตั้งต้นทั้งหมดตามเงื่อนไขต่างๆ	36
ตารางที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นขณะที่ไม่มีการแอนนีกัล	42
ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีกัลและมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ $100-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศของ ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	51
ตารางที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าช่องว่างแถบพลังงาน(หน่วยเป็น eV) ของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ที่อัตราส่วนผสมของ Zn ค่าต่างๆ และที่อุณหภูมิแอนนีกัลต่างๆ	52
ตารางที่ 6.5 แสดงค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ $x = 0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 1.0$ ที่ไม่ได้แอนนีกัลและที่แอนนีกัลที่อุณหภูมิต่างๆภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาทีทั้งกรณีไม่ฉายแสงและฉายแสง	59

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างแบบเพชร	5
รูปที่ 2.2 แสดงพันธะ เตตระฮีดรอน ซึ่งเป็นแบบปิรามิดรูปทรงเหลี่ยมสี่หน้า	5
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์	5
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างผลึกแบบ เวอร์ทไซต์	6
รูปที่ 2.5 แสดงการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอนในโครงสร้างผลึกแบบเวอร์ทไซต์	7
รูปที่ 2.6 แสดงการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอนในโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์	7
รูปที่ 2.7 แสดงดัชนีมิลเลอร์ของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก	8
รูปที่ 2.8 แสดงดัชนีมิลเลอร์ของโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลโคสสแพค	9
รูปที่ 2.9 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบแวนเดอวาล์วและเฟรนเคิล	10
รูปที่ 2.10 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากระนาบผลึกตามเงื่อนไขของแบรกก์	12
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน และการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ (T=0 K) (ก) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง (ข) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง	16
รูปที่ 3.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ (T=0 K) (ก) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง (ข) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีที่เกิดกระบวนการสร้างโฟนอน	17
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์โดยไม่คิดการคัปปลิง ระหว่างสปิน-ออร์บิต	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มี โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซด์ที่ไม่คิดการคัปปลิง ระหว่างสปิน- ออร์บิท	20
รูปที่ 4.1 แสดงการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีปลายแหลมสองขั้ว	27
รูปที่ 4.2 แสดงการวัดความต้านทานแผ่นแบบสี่ขั้วเชิงเส้นของฟิล์มบาง	27
รูปที่ 4.3 แสดงขนาดของฟิล์มยาว l กว้าง w หนา d	28
รูปที่ 4.4 แสดงการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีแวนเดอร์เพาว์ (ก) แสดงตำแหน่งของจุดสัมผัสบนชิ้นสารตัวอย่าง (ข) การเพิ่มความยาวของเส้นรอบรูปเพื่อลดความคลาดเคลื่อน ในการวัด	29
รูปที่ 4.5 แสดงค่าแฟกเตอร์ค่าแก้ไขของการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธี แวนเดอร์เพาว์	31
รูปที่ 5.1 แสดงกลไกในการเกิดผลึกเป็นฟิล์มบางของ MS (เมื่อ $M=Cd$ และ/ หรือ Zn บนแผ่นรองรับ)	33
รูปที่ 6.1 ภาพแสดงอุปกรณ์การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีออบสาลละลายเคมี	35
รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะฟิล์มบางที่เตรียมได้จากอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ x ค่าต่างๆ	40
รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะของฟิล์มบางที่อัตราส่วนผสมของ Zn ที่ $x=0.2, 0.7, 1.0$ ที่แอนนีสอุณหภูมิต่างๆภายใต้บรรยากาศของก๊าซ ไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	41
รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ x ค่าต่างๆของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่ ผ่านการจุ่ม 6 ครั้ง เมื่อไม่มี การแอนนีส	42
รูปที่ 6.5 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ มีอัตราส่วน ผสมของ Zn ที่ x ค่าต่างๆในกรณีที่ไม่มีแอนนีส	44

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6.6 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn คือที่ $x=0.2$ ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีกัลและการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ $100-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	45
รูปที่ 6.7 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn คือที่ $x=0.7$ ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีกัลและการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ $100-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	45
รูปที่ 6.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เมื่ออัตราส่วนของ Zn ที่ $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 1.0$ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล	46
รูปที่ 6.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงมีเท่ากับ $300-1100\text{ nm}$ ของฟิล์มบางของ Zn ที่ $x=0.7$ ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีกัลและการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ $100-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	47
รูปที่ 6.10 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับพลังงานโฟตอน ($h\nu$) ของบางที่ $x=0.7$ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล	48
รูปที่ 6.11 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ พลังงานโฟตอน ($h\nu$) ของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	48
รูปที่ 6.12 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ พลังงานโฟตอน ($h\nu$) ของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	49

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6.13 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ พลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางที่ $x = 0.7$ เมื่อมีการแอนนีกที่อุณหภูมิ 300°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	49
รูปที่ 6.14 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ พลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางที่ $x = 0.7$ เมื่อมีการแอนนีกที่อุณหภูมิ 400°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	50
รูปที่ 6.15 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ พลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางที่ $x = 0.7$ เมื่อมีการแอนนีกที่อุณหภูมิ 500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	50
รูปที่ 6.16 กราฟแสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบางที่ $x = 0.7$ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิแอนนีก	51
รูปที่ 6.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) กับ อัตราส่วนผสม (x) ของ Zn ค่าต่างๆของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ เมื่อไม่มีการแอนนีก	53
รูปที่ 6.18 แสดงการวัดหาความต้านทานแผ่นโดยวิธีสองขั้ว	54
รูปที่ 6.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอัตราส่วนผสมของ Zn ที่มี x ค่าต่างๆของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ เมื่อไม่มีการแอนนีกขณะไม่มีการฉายแสงและฉายแสง	57
รูปที่ 6.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนีก $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ $x = 0.7$ ที่เตรียมได้ เมื่อมีการแอนนีกที่อุณหภูมิ $100-500^\circ\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที ขณะไม่มีการฉายแสง และมีการฉายแสง	58

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย โดยที่สิ่งประดิษฐ์ เหล่านี้สร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสารชนิดนี้ มีคุณสมบัติเฉพาะที่สำคัญที่สุด คือ สามารถควบคุมความหนาแน่น และชนิดของพาหะที่นำไฟฟ้าได้ แสดงผลตอบสนองเชิงไฟฟ้า เมื่อมีแสงตกกระทบ ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก(photoelectric effect) หรือ เมื่อมีพลังงานความร้อนตกกระทบซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก(thermoelectric effect) แสดงสมบัติเชิงไฟฟ้า ในช่วงกลางระหว่างฉนวนและโลหะ จากสมบัติเหล่านี้ทำให้เรานำมาสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำมากมาย เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ วงจรรวม ตัวตรวจจับแสงและเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

เซลล์แสงอาทิตย์ ถือเป็นแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic effects) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแห่งใหม่ ที่ได้รับความสนใจอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างแบบ ซาลโคไพไรท์ (chalcopyrite structure) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง $Cu(In, Ga)Se_2$ ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดฟิล์มบางที่อยู่ในรูปของรอยต่ออวิวิธพันธ์ (heterojunction) ของสาร $MgF_2/ZnO/CdS/Cu(In, Ga)Se_2/Mo/Sodalime\ glass$ ซึ่งให้ประสิทธิภาพ สูงถึง 17.7%[1]

ฟิล์มบาง CdS และฟิล์มบาง ZnS เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง (direct band gap) และมีช่องว่างแถบพลังงานค่อนข้างกว้าง โดย CdS มีค่าช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 2.40 eV ส่วน ZnS มีค่าช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 3.70 eV รวมทั้งสภาพนำไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปมาก เมื่อมีแสงตกกระทบ ดังนั้นฟิล์มบาง CdS และฟิล์มบาง ZnS จึงเหมาะที่จะนำมาทำเป็น บัฟเฟอร์ (buffer) ที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ฟิล์มบาง CdS และ ZnS จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบซิงค์เบลนด์ (zincblende) ซึ่งจัดอยู่ในโครงสร้างผลึกระบบคิวบิกหรือเวิร์ทไซท์ (wurtzite) ซึ่งจัดอยู่ในโครงสร้างผลึกระบบเฮกซะโกนอล จากการศึกษาทำให้ทราบว่าอะตอมของ Zn สามารถเข้าไปแทนที่อะตอมของ Cd ในโครงผลึกได้และเกิดเป็นสารละลายของแข็ง (solid solution) $Cd_{1-x}Zn_xS$ โดยที่ $0 \leq x \leq 1$ สารละลายของแข็ง $Cd_{1-x}Zn_xS$ นี้จะมีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรงและมีช่องว่างแถบพลังงานอยู่ในช่วง 2.4 – 3.7 eV [2]

การเตรียมฟิล์มบางของ CdS หรือ ZnS มีได้หลายวิธีเช่น การระเหยสารในระบบสุญญากาศ (thermal evaporation) , สเป็ตเตอริง (sputtering) สเปรย์ไพโรไลซิส (spraypyrolysis) แต่การเตรียมฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ โดยวิธีออบสารละลายเคมี [3] นั้นเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในสารละลายที่ประกอบด้วย Cd^{2+} , Zn^{2+} และ S^{2-} ซึ่ง Cd^{2+} และ Zn^{2+} อาจได้จากเกลืออะซีเตต ($Cd(CH_3COO)_2$, $Zn(CH_3COO)_2$) เกลือคลอไรด์ ($CdCl_2$, $ZnCl_2$) เกลือไฮโดรไซด์ (CdI_2 , $ZnCl_2$) หรือเกลือซัลเฟต ($CdSO_4$, $ZnSO_4$) เป็นต้น ส่วน S^{2-} ได้มาจากการแตกตัวของไทโอยูเรีย ($SC(NH_2)_2$) โดยมี NH_3 เป็นตัวแทนความซับซ้อน (complexing agent) นอกจากนั้นยังมีไฮดราซีนไฮดรอกไซด์ (hydrazine hydroxide, N_2H_5OH) เป็นตัวแทนความซับซ้อนเพิ่มขึ้นมาเพื่อช่วยทำให้อัตราการเคลือบ ZnS เพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ โดยใช้เทคนิคการเคลือบฟิล์มด้วยการอบสารละลายเคมี และนำไปแอนนัลที่อุณหภูมิ $100-500^{\circ}C$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์
- 2) เพื่อศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบางที่เตรียมได้ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์
- 3) ศึกษาคุณสมบัติของการส่งผ่านแสง (optical transmission) ของฟิล์มบางเพื่อศึกษาลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงาน และคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน
- 4) วัดความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางด้วยวิธี 2 ขั้ว

ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ค้นคว้าและศึกษาข้อมูลต่างๆ ตลอดจนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีออบสารละลาย พร้อมทั้งจัดหาวัสดุ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในโครงการพิเศษ
2. ทำการเคลือบฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ บนกระจกสไลด์โดยการให้ x เท่ากับ 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 1 จากนั้นจึงนำไปแอนนัลที่อุณหภูมิ $100-500^{\circ}C$ ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที
3. ศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบางด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์
4. ศึกษาคุณสมบัติของการส่งผ่านแสงฟิล์มบางเพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานและคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน
5. วัดความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางด้วยวิธี 2 ขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

โครงสร้างผลึก

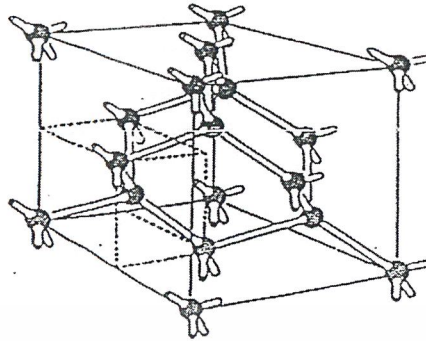
บทนี้จะกล่าวถึง โครงสร้างผลึก ของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์ สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ในโครงผลึก ซึ่งการมีโครงสร้างที่แตกต่างกันนี้เองจึงทำให้สารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น การนำไฟฟ้า การดูดกลืนแสง และความแข็ง เป็นต้น

2. โครงสร้างผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) [4-7]

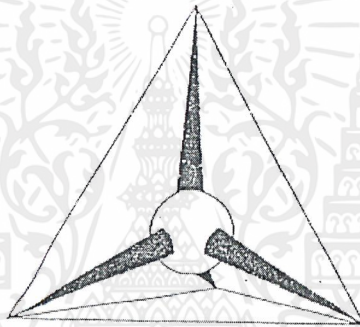
โครงสร้างผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ จะมีลักษณะโครงสร้าง 2 แบบ ด้วยกันคือ โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์(zincblende) ซึ่งจัดอยู่ในโครงผลึกแบบคิวบิกซิงค์ซัลไฟด์ (cubic zinc sulfide structure) และโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ (wurtzite) ซึ่งจัดอยู่ในโครงผลึกแบบเฮกซะโกนอลซิงค์ซัลไฟด์ (hexagonal zinc sulfide structure)

2.1 โครงสร้างผลึกแบบคิวบิกหรือโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์

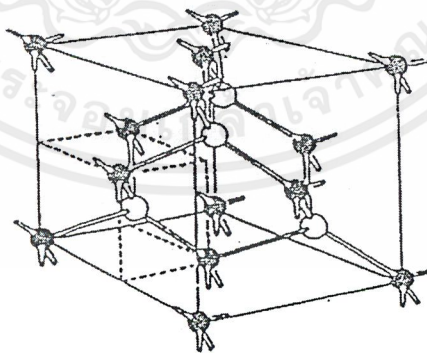
โครงสร้างผลึกแบบนี้มีลักษณะคล้ายโครงสร้างแบบเพชรดังรูปที่ 2.1 เกิดจากการนำโครงสร้างผลึกแบบเฟสเซนเตอร์คิวบิก (face-centered cubic) สองโครงสร้างมาซ้อนเหลื่อมกันเป็นระยะ $\frac{1}{4}$ ตามแนวเส้นทะแยงมุมของลูกบาศก์ โดยมีพันธะระหว่างอะตอมเป็นแบบ พันธะเตตระฮีดรอน (tetrahedral bond) ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งโครงสร้างผลึกแบบเพชรจะประกอบด้วยอะตอมของธาตุเพียงชนิดเดียว โดยที่หนึ่งหน่วยเซลล์จะมี 8 อะตอม มีโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ (coordination number) เท่ากับ 4 ซึ่งมีความแข็งแรงและมีจุดหลอมเหลวสูงมาก ส่วนโครงสร้างแบบซิงค์เบลนด์ดังรูปที่ 2.3 จะมีความแตกต่างกับโครงสร้างผลึกแบบเพชร คือเป็นโครงสร้างผลึกที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุ 2 ชนิด แต่ละชนิดจะมี 4 อะตอม โดยอะตอมแรกคืออะตอมของ Zn อยู่ที่ตำแหน่ง (000), $(0 \frac{1}{2} \frac{1}{2})$, $(\frac{1}{2} 0 \frac{1}{2})$, $(\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0)$ และอะตอมที่สองคืออะตอมของ S อยู่ที่ตำแหน่ง $(\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4})$, $(\frac{1}{4} \frac{3}{4} \frac{3}{4})$, $(\frac{3}{4} \frac{1}{4} \frac{3}{4})$, $(\frac{3}{4} \frac{3}{4} \frac{1}{4})$ จึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าและมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าโครงสร้างผลึก แบบนี้ ได้แก่ ZnS, CuCl, AgI, InAs, SiC และ CdS เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างแบบเพชร



รูปที่ 2.2 แสดงพันธะ เตตระฮีดรอน ซึ่งเป็นแบบปิรามิดรูปทรงเหลี่ยมสี่หน้า

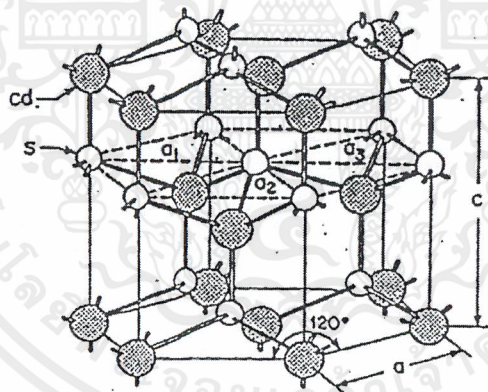


รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์

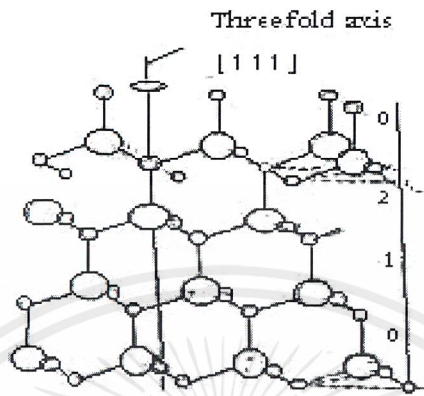
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลซิงค์ซัลไฟด์ หรือ โครงสร้างผลึกแบบ เวิร์ทไซต์ [4-7]

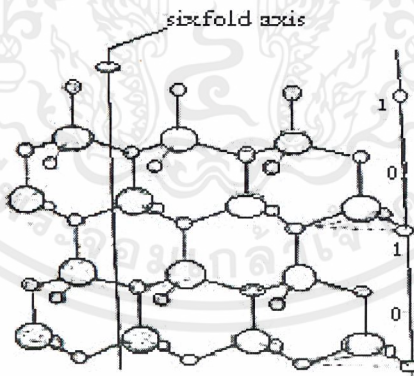
โครงสร้างผลึกแบบ เวิร์ทไซต์ เป็นดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจัดอยู่ในระบบของโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล ซึ่งเกิดจากการนำโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลโคลสแพค(hexagonal closed-packed) ที่มีอะตอมต่างชนิดกันวางซ้อนเหลื่อมกันเป็นระยะ $5/8$ ตามแนวแกนซี (c-axis) โดยที่หนึ่งหน่วยเซลล์จะมี 8 อะตอม มีโคออร์ดิเนชันนับเบอร์เท่ากับ 4 มีพันธะเคมีของโมเลกุล ระหว่างอะตอม เป็นแบบพันธะเตตระฮีดรอน ดังนั้นจึงมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอนของอะตอมคล้ายโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ แต่จะมีความแตกต่างกันคือ การจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอนในโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซต์ มีการจัดเรียงเป็นแบบ 0101 ดังรูปที่ 2.5 ส่วนการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอนในโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ มีการจัดเรียงเป็นแบบ 012012 ดังรูปที่ 2.6 สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ได้แก่ CdS, ZnS เป็นต้น



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างผลึกแบบ เวิร์ทไซต์



รูปที่ 2.5 แสดงการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระอีตรอนในโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์



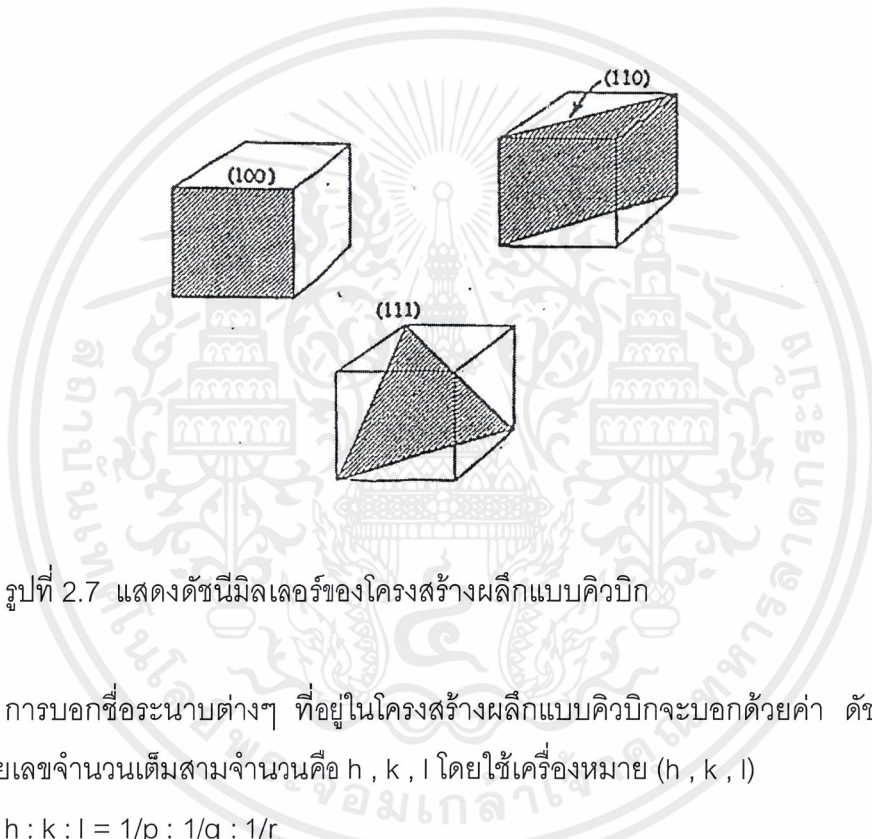
รูปที่ 2.6 แสดงการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระอีตรอนในโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ดัชนีมิลเลอร์ [4,7]

การบอกชื่อระนาบต่างๆ ที่อยู่ภายในโครงสร้างผลึกนั้น จะบอกเป็นค่าดัชนีมิลเลอร์ดังรูปที่ 2.7 ค่าดัชนีมิลเลอร์หาได้จากเลขจำนวนเต็มทีน้อยที่สุดของส่วนกลับของระยะที่ระนาบที่พิจารณาตัดแกนผลึกที่มีอัตราส่วนเท่ากัน ผู้เสนอคือนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษชื่อมิลเลอร์ (Miller) โดยแยกการพิจารณา ดัชนีมิลเลอร์เป็น 2 ประเภทดังนี้คือ

- 1) ดัชนีมิลเลอร์ของระนาบที่อยู่ภายในโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก[4,7]



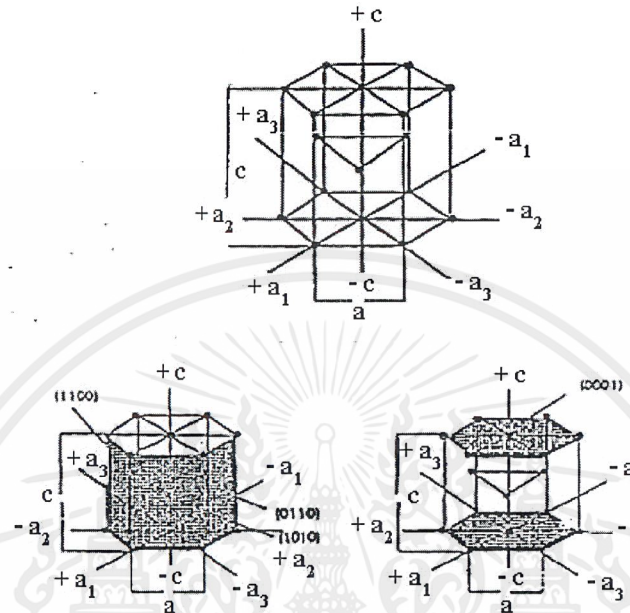
รูปที่ 2.7 แสดงดัชนีมิลเลอร์ของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก

การบอกชื่อระนาบต่างๆ ที่อยู่ภายในโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกจะบอกด้วยค่า ดัชนีมิลเลอร์ที่แทนด้วยเลขจำนวนเต็มสามจำนวนคือ h, k, l โดยใช้เครื่องหมาย (h, k, l)

$$h : k : l = 1/p : 1/q : 1/r$$

เมื่อ p, q และ r คือ จุดตัดแกนซึ่งหมายถึงตำแหน่งที่ระนาบตัดแกนผลึก a, b, c ตามลำดับนั้นคือ h, k, l จะเป็นเลขจำนวนเต็มทีน้อยที่สุดของส่วนกลับของระยะตัดแกนผลึก a, b, c ตามลำดับ ซึ่งก็คือ ดัชนีมิลเลอร์

ดัชนีมิลเลอร์ของระนาบที่อยู่ภายในโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล



รูปที่ 2.8 แสดงดัชนีมิลเลอร์ของโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลนอลโคสสแพค

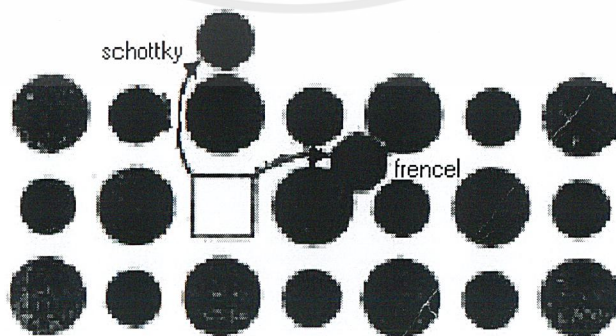
ในโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล ดัชนีที่ใช้เรียกระนาบคือ ดัชนีมิลเลอร์ บราเวใช้สัญลักษณ์ h, k, l , ซึ่งเป็นค่าที่หาได้จากเลขจำนวนเต็มทีน้อยที่สุดของส่วนกลับของระยะที่ระนาบที่พิจารณาตัดแกน a_1, a_2, a_3 และ c ที่มีอัตราส่วนเท่ากันตามลำดับ ดังรูปที่ 2.8 โครงสร้างของหน่วยเซลล์ประกอบด้วย ระนาบ 2 แบบ คือกรณีที่ 1) ระนาบฐานมี 2 ระนาบคือระนาบฐานบนและระนาบฐานล่าง แกน a_1, a_2, a_3 เป็นแกนที่อยู่ในระนาบฐานทำมุม 120° ซึ่งกันและกัน และระยะตัดแกน $a_1 = a_2 = a_3 = \infty$ และแกนที่ 4 คือแกน c เป็นแกนที่ตั้งฉากกับระนาบฐานทั้ง 2 ซึ่งตัดแกน c ห่างกันเป็นระยะ 1 หน่วย ส่วนกลับของระยะตัดแกนทั้ง 4 จึงเท่ากับ $0, 0, 0, 1$ ดังนั้น ดัชนีมิลเลอร์บราเวก็คือกรณีที่ 2) ระนาบปริซึมมี 6 ระนาบหรือหน้าระนาบปริซึมทุกระบบในเซลล์หน่วยสามารถแทนด้วยดัชนีเดียวกันคือ (1010) ในการเรียกชื่อ ระนาบอาจระบุด้วย (hkl) ก็ได้คืออาศัยเพียง h, k, l โดยที่ $h+k = l$ แต่การระบุด้วย $(hkil)$ จะแสดงให้เห็นความสมมาตรในหน่วยเซลล์ได้ชัดเจนกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความไม่สมบูรณ์และสิ่งแปลกปลอมในของแข็งในโครงสร้างผลึกจริง [4,7]

ผลึกจริงเป็นผลึกที่ไม่สมบูรณ์หรือเป็นผลึกที่มีข้อบกพร่องของโครงสร้าง (defect crystal) เกิดขึ้น ทำให้คุณสมบัติการสมมาตรเกิดขึ้นในช่วงระยะสั้นๆ เมื่อเทียบกับค่าคงที่โครงสร้างผลึก คือมีการจัดเรียงตัวของอะตอมแบบออร์เดอร์ระยะสั้น หรือแบบดิสออร์เดอร์ ซึ่งจะมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงฟิสิกส์ต่างๆ ในผลึกจริงจะมีข้อบกพร่องของโครงสร้างผลึกหลายชนิด เช่น ข้อบกพร่องของผลึกแบบจุด (point defect) ได้แก่ ข้อบกพร่องผลึกแบบแวนแคนซี (vacancy defect) คือข้อบกพร่องของผลึกแบบมีอะตอมหรือไอออนหลุดหายไปจากโครงสร้าง ข้อบกพร่องผลึกแบบซับสติติวชันนัล (substitutional defect) คือข้อบกพร่องผลึกแบบมีการแทนที่อะตอมในโครงสร้างผลึกเดิม ข้อบกพร่องผลึกแบบอินเทอร์สติเชียล (interstitial defect) คือข้อบกพร่องผลึกการที่มีอะตอมไปแทรกอยู่ในบริเวณที่ควรจะเป็นที่ว่างของโครงสร้างผลึก เป็นต้น ข้อบกพร่องแบบเชิงเส้น (line defect) เช่น สลิป (slip) คือข้อบกพร่องผลึกที่มีระนาบของอะตอมเลื่อนไถลไป ข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบขอบ (edge dislocation) คือข้อบกพร่องผลึกที่มีระนาบสลิปตั้งฉากกับทิศทางของการไถลของสลิป ข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบสกรู (screw dislocation) คือข้อบกพร่องผลึกแบบที่มีระนาบสลิปมีทิศทางขนานกับทิศทางการไถลของสลิป เป็นต้น

ข้อบกพร่องแบบแวนแคนซีเป็นข้อบกพร่องผลึกแบบจุด คือข้อบกพร่องแบบที่มีอะตอมหรือไอออนหลุดหายไปจากโครงสร้างผลึกแบ่งเป็นสองชนิด คือข้อบกพร่องผลึกชนิดชอตทกี (schottky defect) เป็นข้อบกพร่องผลึกแบบที่มีอะตอมหรือไอออนที่อยู่ภายในโครงสร้างผลึกหลุดหายไปอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของโครงสร้างผลึก และข้อบกพร่องชนิดเฟรนเคิล (frenkel defect) เป็นข้อบกพร่องผลึกแบบที่มีอะตอมหรือไอออนที่อยู่ภายในโครงสร้างผลึกหลุดหายไปอยู่ที่ตำแหน่งที่ควรจะเป็นที่ว่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบแวนแคนซีชนิดชอตทกีและเฟรนเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สิ่งแปลกปลอมในผลึก [4,6,7]

อะตอมต่างชนิดหรืออะตอมแปลกปลอม อาจจะเข้ามาอยู่ในโครงสร้างผลึกได้ อะตอมแปลกปลอมอาจจะไปอยู่ตรงตำแหน่งในแลตทิซพอดี ซึ่งกรณีนี้จะเรียกว่า อะตอมแปลกปลอมแทนที่ (substitutional impurities) และอะตอมแปลกปลอมอาจจะอยู่แทรกระหว่างตำแหน่งปกติของแลตทิซก็ได้ซึ่งในกรณีนี้จะเรียกว่า อะตอมแปลกปลอมแทรกตัว (interstitial impurities) การควบคุมปริมาณจำนวนอะตอมแปลกปลอมได้นั้น ทำให้เราสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำไปในทางที่เราต้องการได้ เทคนิคที่จะนำอะตอมแปลกปลอมเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ เพื่อเปลี่ยนความนำไฟฟ้าเรียกว่าการโด๊ป (doping) มีวิธีที่ทั่วไปของการโด๊ปอยู่สองวิธีคือ การแพร่สารเจือ (diffusion) และไอออนอิมพลานเตชัน (ionimplantation)

2.6 ชนิดของผลึกของแข็ง [4-7]

ชนิดของของแข็งโดยทั่วไปแบ่งได้สามชนิด คือ อะมอร์ฟัส (amorphous) ผลึกหลายรูป (polycrystalline) และผลึกเดี่ยว แต่ละชนิดสามารถแจกแจงได้โดยใช้ขนาดความใหญ่ของส่วนที่เรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบภายในชั้นสาร ส่วนที่วางตัวกันอย่างเป็นระเบียบหมายถึงปริมาณสารซึ่งอะตอมหรือโมเลกุลจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นปกติ และเป็นระเบียบซ้ำๆ กันต่อๆ กันไป อะมอร์ฟัสก็จะมีส่วนความเป็นระเบียบของการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลในระยะสั้นๆ (short range) ส่วนอะตอมหรือโมเลกุลที่จัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบในระยะยาว (long range) จะเรียกว่าบริเวณผลึกเดี่ยวนั่นเอง ซึ่งจะมีขนาดและทิศของระนาบ (orientation) แตกต่างกันไป บริเวณผลึกรูปเดี่ยวหรือที่เราเรียกว่า เกรน (grain) ถูกกำหนดโดยขอบเขตของเกรนข้างเคียงซึ่งมีขนาด และระนาบที่แตกต่างกัน ข้อดีของสารผลึกเดี่ยว คือ จะมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้า เหมือนกว่าสารชนิดอื่น เพราะว่าขอบเขตของเกรน จะทำลายคุณสมบัติทางไฟฟ้าให้เลวลง

2.7 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

2.7.1 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ [4-7]

รังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง ความยาวคลื่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.05-0.25 nm เมื่อผ่านช่องว่างระหว่างอะตอมในผลึกก็จะเกิดการเลี้ยวเบนเกิดขึ้นและหลังจากผ่านโครงสร้างผลึกออกมาก็จะเกิดการแทรกสอดทั้งแบบเสริมและหักล้างดังแสดงในรูปที่ 2.10 นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษชื่อ แบริก (Bragg) ได้ตั้งกฎการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ไว้ว่า รังสีเอ็กซ์จะแทรกสอดกันแบบเสริมแบบมากที่สุด เมื่อมีการกระเจิงออกจากแต่ละระนาบด้วยระยะที่แตกต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นรังสีเอ็กซ์ และเรียกกฎนี้ว่ากฎของแบรกก์ ดังสมการ

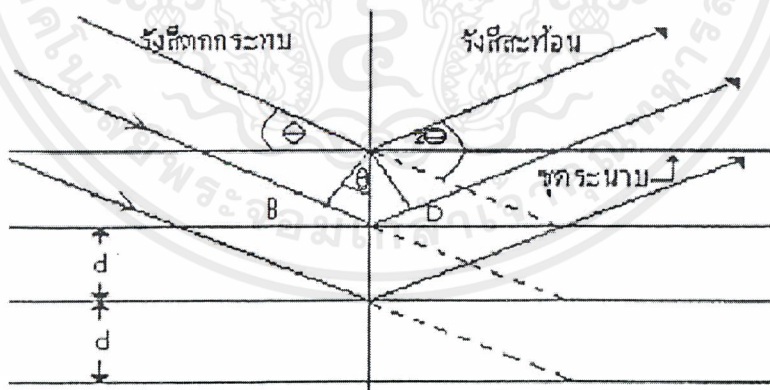
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

λ คือความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

d_{hkl} คือ ระยะระหว่างระนาบที่ขนานกัน

θ คือมุมสะท้อนจากระนาบซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ

n คืออันดับการเลี้ยวเบนมีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3...



รูปที่ 2.10 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากระนาบผลึกตามเงื่อนไขของแบรกก์

จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ระนาบต่างๆ ในผลึก แล้วเกิดการแทรกสอดแบบเสริมนั้น คือความเข้มรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนมีค่ามาก สังเกตได้จากพีค (peak) ในรีวูของการเลี้ยวเบนจะสูง สำหรับธาตุหรือสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันยอดของการเลี้ยวเบนที่เกิดจะเกิดที่มุมเลี้ยวเบนเดิมเสมอ โดยมุมเลี้ยวเบนคือมุมระหว่างรังสีสะท้อนทำกับระนาบที่ขนานกับรังสีตกกระทบซึ่งมีค่า 2θ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนกับมุมเลี้ยวเบนจะหาได้จากการวัดของหัววัดในเครื่องดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (diffractometer)

2.8 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

ข้อมูลที่ได้จากรีวการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในโครงสร้างผลึกสามารถนำไปคำนวณหาค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกได้ โดยการพิจารณาดังต่อไปนี้

2.8.1 ผลึกแบบซิงค์เบลนด์ซึ่งจัดอยู่ในระบบของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก [4-7]

โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ ซึ่งจัดอยู่ในระบบของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก โดยที่ $a=b=c$ และ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่โครงสร้างผลึก ค่าดัชนีมิลเลอร์ และระยะระหว่างระนาบที่ขนานกันดังสมการ

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

แล้วจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\lambda = \frac{2a \sin \theta}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

โดยที่ a =ค่าคงที่ของโครงสร้างผลึก

2.8.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ซึ่งจัดอยู่ในระบบของโครงสร้างผลึกแบบเอ็กซิกซะโกนอล [4-7]

โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ซึ่งจัดอยู่ในระบบโครงสร้างผลึกแบบเอ็กซิกซะโกนอล โดยมีค่าต่างๆ $a=b \neq c$, $\alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ

ในการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำ จะทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงานและขนาดของช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (energy gap: E_g) โดยที่ในบทนี้จะกล่าวถึง ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างของแถบพลังงานของ CdS กระบวนการดูดกลืนแสงของอิเล็กตรอน ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของการดูดกลืนแสง การวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (absorption coefficient) ของสารกึ่งตัวนำ และยังสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง กับ ขนาดช่องว่างของแถบพลังงาน (E_g) ได้

3.1 การเกิดสีของผลึก [4,7]

ลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงานจะเป็นจำแนกสารชนิดต่างๆที่เป็นอินทรินสิก (intrinsic) ว่าเป็นฉนวน สารกึ่งตัวนำหรือตัวนำ โดยทั่วไปแล้วลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงานจะประกอบไปด้วย แถบวาเลนซ์ (valence band) แถบนำ (conduction band) และบริเวณที่อยู่ระหว่างแถบวาเลนซ์กับแถบนำที่เรียกว่า บริเวณต้องห้าม (forbidden gap หรือ forbidden region หรือ forbidden band) ซึ่งความกว้างของบริเวณนั้นเรียกว่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ซึ่งสามารถนำมาจำแนกสารได้อย่างเช่น ฉนวนจะมี $E_g > 3 \text{ eV}$ และสารกึ่งตัวนำจะมี $E_g < 3 \text{ eV}$ และตัวนำจะไม่มี E_g เพราะแถบวาเลนซ์กับแถบนำซ้อนกันพอดี

นอกจากนี้ E_g ยังเป็นตัวกำหนดสมบัติทางฟิสิกส์อีกอย่างเช่น สีของผลึกด้วยโดยเกิดจากการที่เราฉายแสงที่มีพลังงานโฟตอนน้อยกว่าหรือเท่ากับ E_g ($h\omega \leq E_g$) จะทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถดูดกลืนแสงช่วงนั้นได้ ทำให้ทะลุผ่าน (transmitted) ออกจากผลึกทำให้เราสามารถมองเห็นผลึกนั้นๆมีสีตามความยาวคลื่นของโฟตอนที่มีการทะลุผ่าน (transmitted) ออกมาและเมื่อมีการฉายแสงที่มีพลังงานโฟตอนมากกว่า อิเล็กตรอนจะดูดกลืนโฟตอนที่มีความยาวคลื่นสอดคล้องกับค่าต่างๆไปแล้ว ปล่อยพลังงานโฟตอนที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ E_g ($h\omega \leq E_g$) ออกมา ดังนั้นถ้าเราพิจารณาฟิล์มที่มีความหนา d โดยฉายแสงตกกระทบฟิล์มที่มีความเข้มแสง เป็น I_0 แล้ววัดความเข้มแสงที่ทะลุผ่าน เป็น I_t ก็จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

(absorption coefficient : α) ได้จากสมการ 3.1 และเรายังสามารถหาค่า E_g ได้จากกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง กับ พลังงานโฟตอนได้ ซึ่งจะนำไปหาถึงชนิดของลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานได้อีกด้วย

$$I_t = I_i e^{-\alpha d} \quad (3.1)$$

เมื่อ I_t คือ ปริมาณความเข้มแสงที่ถูกส่งผ่านออกมาของสารตัวอย่าง

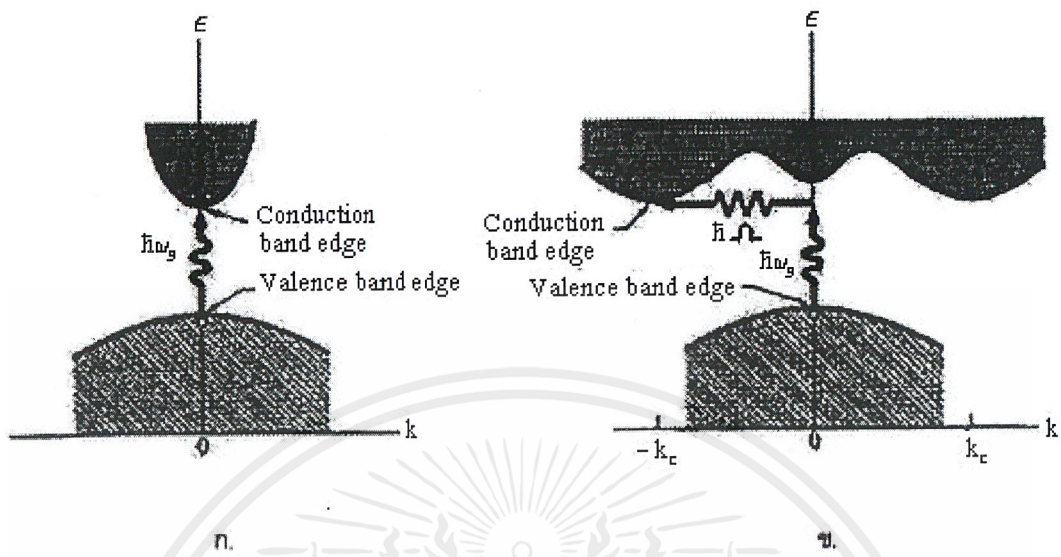
I_i คือ ปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบของสารตัวอย่าง

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

d คือ ความหนาของสารตัวอย่าง

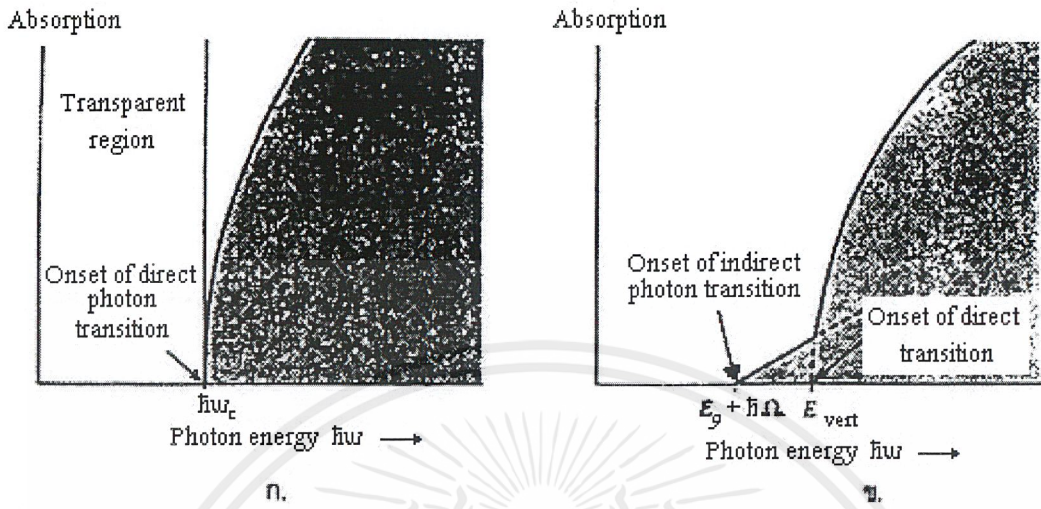
3.2 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำและกระบวนการดูดกลืนแสงของอิเล็กทรอนิกส์ [4,7]

โดยทั่วไปโครงสร้างของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำจะจำแนกออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบตรง (direct band gap) และแบบเฉียง (indirect band gap) ดังรูปที่ 3.1 (ก)และ(ข) ซึ่งลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงานแบบตรง คือ โครงสร้างที่มีแถบพลังงานต่ำสุดของแถบนำตรงกับค่าสูงสุดของแถบวาเลนซ์ ที่ตำแหน่งของเวกเตอร์คลื่น (wave vector : k) ค่าเดียวกัน โดยถ้าอิเล็กทรอนิกส์ได้รับแถบพลังงานเท่ากับช่องว่างแถบพลังงาน ($\hbar \omega_g = E_g$) อิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานโฟตอนและอยู่ในสภาวะกระตุ้นก็จะย้ายจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังแถบนำ กลายเป็นอิเล็กทรอนิกส์และโฮลอิสระ โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานให้แก่โครงสร้างผลึก คือไม่มีการสร้างและการทำลายล้างอิเล็กทรอนิกส์ (phonon creation or phonon annihilation) ส่วนในลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง คือ จุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์จะไม่ตรงกับจุดต่ำสุดของแถบนำ และจะไม่อยู่ในตำแหน่งเวกเตอร์เดียวกัน ดังนั้นจึงเกิดกระบวนการการสร้างโฟนอน ($\hbar \omega_g = E_g + \hbar \Omega$) เมื่อรับพลังงานโฟตอนที่มีค่ามากกว่าช่องว่างแถบพลังงาน และเกิดกระบวนการทำลายล้างโฟนอน ($\hbar \omega_g = E_g - \hbar \Omega$) เมื่อรับพลังงานโฟตอนที่มีค่าน้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงาน โดยที่ Ω คือ ค่าความถี่เชิงมุมของพลังงานโฟนอน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนั้นก็คือ การที่อิเล็กทรอนิกส์จะอยู่ในสภาวะกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำ จะมีการปล่อยโฟนอนออกมาที่มีความถี่เชิงมุม Ω ที่มีเวกเตอร์คลื่น $K \cong k_c$ ออกมา จึงเกิดการสร้างโฟนอน ($\hbar \omega_g = E_g$) และเกิดการสร้างอิเล็กทรอนิกส์และโฮลอิสระ ดังรูป 3.1 (ข)



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน และการย้ายสถานะพลังงานของ
 อิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ($T=0\text{ K}$)
 . (ก) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง
 . (ข) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง

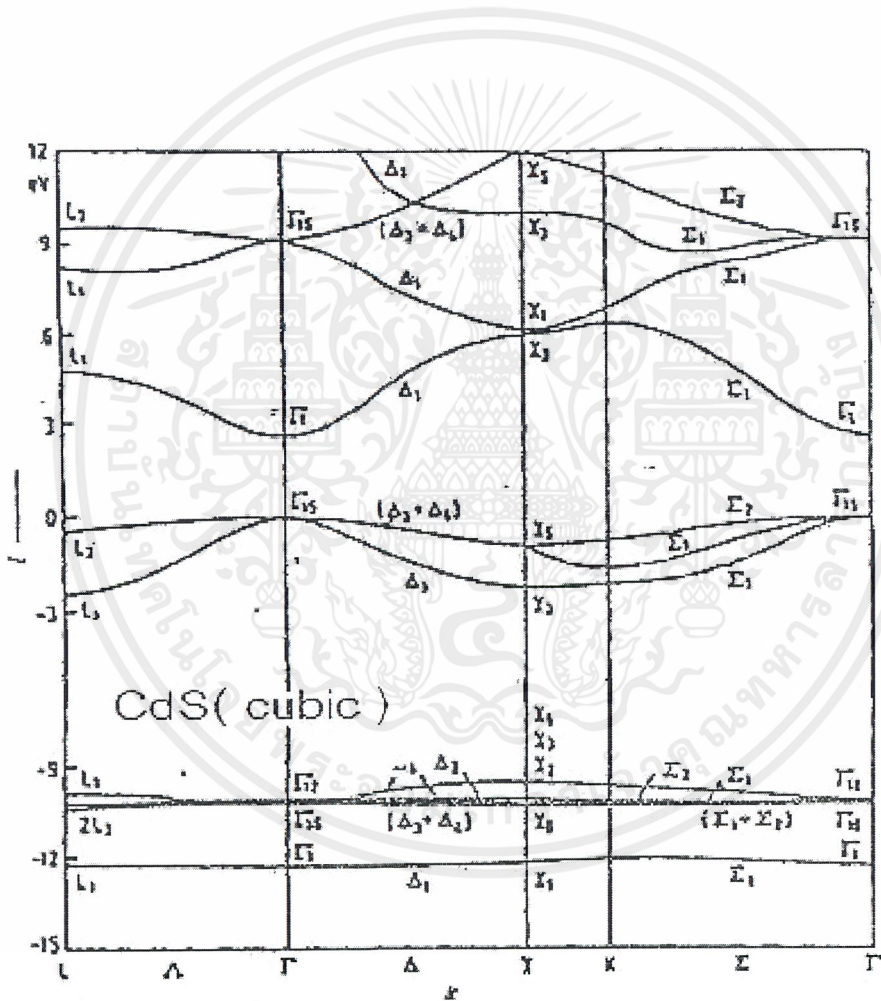
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ($T=0\text{ K}$)
 (ก) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง
 (ข) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีที่เกิดกระบวนการสร้างโฟนอน

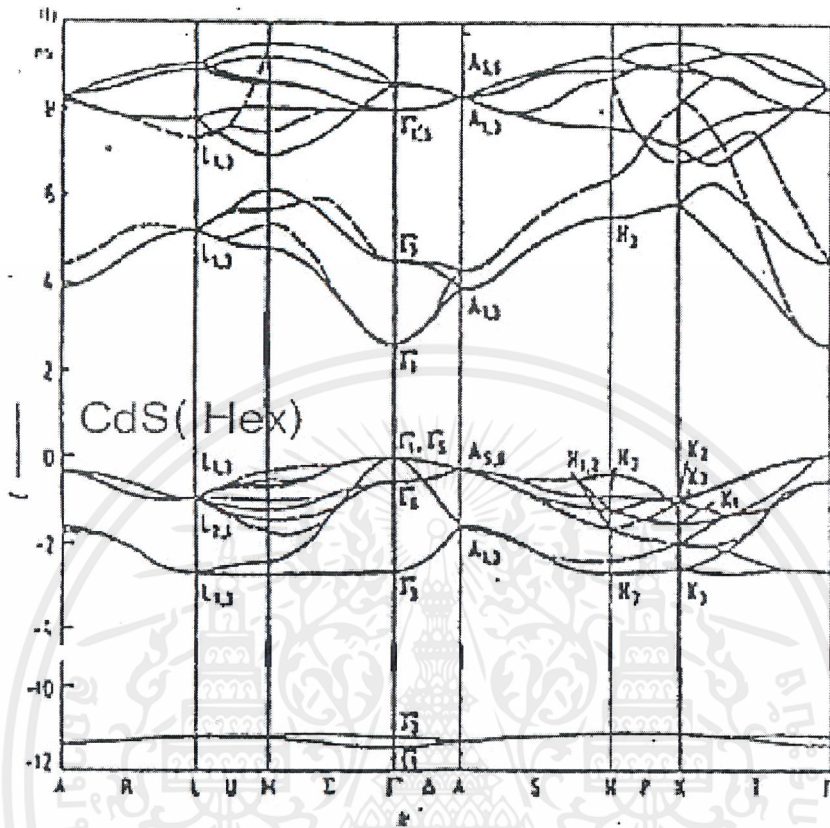
3.3 โครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์ [4,8]

CdS มีลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง คือ มีการย้าย (transition) สถานะพลังงานของอิเล็กตรอนจากตำแหน่งสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปจุดต่ำสุดของแถบนำ ซึ่งจะอยู่ที่เวกเตอร์คลื่น (wavevector : k) ค่าเดียวกันหรือที่ตำแหน่ง Γ ของบริลลันโซนของโครงสร้างผลึกทั้งแบบซิงค์เบลนด์และเวิร์ทไฮท์ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 โดยที่มีค่าแถบพลังงาน 2.50 และ 2.505 eV ตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ โดยไม่คิดการคัปปลิง ระหว่างสปิน-ออร์บิต (spin-orbit coupling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเวริทไซต์ โดยไม่คิดการคัปปลิง ระหว่างสปิน-ออร์บิต (spin-orbit coupling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ทฤษฎีการดูดกลืนแสง[8,9]

เมื่อเราพิจารณาถึงค่าพลังงานที่เปลี่ยนไปจากการที่เปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ชั้นบนสุด เปลี่ยนสถานะพลังงานไปอยู่ในระดับแถบนำ จะทำให้รู้ค่าช่องว่างพลังงานได้ การดูดกลืนแสงสามารถวิเคราะห์ จากสมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ เมื่อพิจารณาให้แสงเป็นคลื่นระนาบเคลื่อนที่ไปตัวกลาง ที่มีค่าสภาพซึมซาบของสนามแม่เหล็ก(μ) = 1 จะได้สมการคลื่นแสงเป็น

$$E = E_0 \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)] \quad (3.2)$$

$$E = E_0 \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)] \quad (3.3)$$

โดยที่ E คือ สนามไฟฟ้าที่มีแอมพลิจูด E_0

H คือ สนามไฟฟ้าที่มีแอมพลิจูด H_0

$k = k_1 + ik_2$ เป็นเวกเตอร์คลื่น

โดย k_1 คือเวกเตอร์จริงและ k_2 คือเวกเตอร์จินตภาพ หรือ $k \cdot k = \mu_0 \epsilon_0 \epsilon \omega^2 = \epsilon \omega^2 / c^2$

โดยที่ \mathcal{E} คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

c คือ ค่าความเร็วคงที่

ω คือ ความถี่เชิงมุม

t คือ เวลา

ซึ่งในการเคลื่อนที่ของแสงในตัวกลางจะไม่เหมือนในอากาศ คือ ในตัวกลางจะได้รับอิทธิพลจากการเรียงตัวกันของอะตอมหรือโมเลกุล ซึ่งจะมีแรงทางไฟฟ้าเป็นผลมาจากการกระจายความหนาแน่นของประจุในอะตอมที่ สร้างพันธะยึดเหนี่ยวกันไว้อยู่ภายในสารที่ทำให้ตัวกลางทั่วไปมีค่าดัชนีหักเหต่าง ๆ กัน ดังนั้นเมื่อแสงเคลื่อนที่เข้าไปในตัวกลาง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็ว และความยาวคลื่นขึ้น นอกจากนี้ความหนาแน่นของตัวกลางก็ยังมีผลทำให้ความเข้มของแสงที่ผ่าน(transmission) ออกมาจากตัวกลางลดน้อยลงไปด้วย พิจารณาให้ดัชนีหักเหจริงในตัวกลาง (n) มีค่าตามสมการ

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.4)$$

เมื่อ c = ความเร็วแสงในสุญญากาศ = 3×10^8 m/s

v = ความเร็วแสงในตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีหักเหเชิงซ้อนมีค่าตามสมการ

$$N = n - ik \quad (3.5)$$

n = ดัชนีหักเหจริง

k = สัมประสิทธิ์การสูญเสีย

สำหรับคลื่นเอกพันธ์ จะได้

$$|k_1| = n\omega / c$$

$$|k_2| = k\omega / c \quad (3.6)$$

แทนสมการ (3.5) ลงในสมการ (3.1) จะได้สนามไฟฟ้าในทิศทาง x เป็น

$$E_x = E_0 \exp [i\omega(n\pi/c - t)] \exp(\omega kx/c) \quad (3.7)$$

E_x คือ สนามไฟฟ้าในทิศทาง x

E_0 คือ สนามไฟฟ้าค่าสูงสุด

จากสมการที่ (3.7) แสดงถึงคลื่นแสงเดินทางผ่านตัวกลางในทิศทาง x ด้วยความเร็ว $v = c/n$ ซึ่ง E จะลดลงด้วยปริมาณ $\exp(-\omega kx/c)$ และความเข้มของการแผ่รังสีจะมีค่าเปลี่ยนแปลงดังสมการ

$$I \propto EE^* \quad (3.8)$$

ดังนั้นจะได้

$$I \propto E_0^2 \exp(-2\pi kx/c)$$

หรือ

$$I \propto I_0 \exp(-4\pi kx/\lambda)$$

$$I \propto I_0 \exp(-\alpha x)$$

$\alpha = 4\pi k / \lambda$	คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง (cm^{-1})
l	คือ ความเข้มของแสงที่ตำแหน่ง x
I_0	คือ ความเข้มแสงตกกระทบบ (W / cm^2)
λ	คือ ความยาวคลื่นแสงในสุญญากาศ

จากสมการที่(3.9) เขียนได้ใหม่เป็น

$$\alpha = -\frac{1}{I} \left(\frac{dI}{dx} \right) \quad (3.10)$$

สมการที่(3.10)คือ อัตราการลดลงของความเข้มแสงต่อหน่วยระยะทาง

3.5 การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ CdS[4,8,9]

สารกึ่งตัวนำCdSมีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอนที่มีค่าเท่ากับขนาดช่องว่างแถบพลังงานอิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานโฟตอนทำให้อิเล็กตรอนอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นแล้วย้ายจากสถานะจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำ ซึ่งจะยังแบ่งได้อีก 2ประเภท คือ การย้ายสถานะพลังงานแบบยินยอม(allowed transition) และแบบต้องห้าม(forbidden transition) โดยค่าจะขึ้นอยู่กับค่าออฟดิคอลเมตริกอิลิเมนต์ (optical matrix element) โดยถ้าประมาณครั้งแรกเป็นศูนย์จะเป็นการย้ายสถานะพลังงานแบบต้องห้าม ถ้าไม่เป็นศูนย์จะเป็นการย้ายแบบยินยอม ซึ่งเราจะสามารถหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเนื่องจากการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนทั้งแบบยินยอมและแบบต้องห้ามได้ดังนี้คือ

การย้ายสถานะแบบยินยอม

$$(\alpha h \nu) = \frac{2c_h}{n} \left(\frac{2\mu}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} |H_{c\nu}(0)|^2 (h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} = A(h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย้ายสถานะแบบต้องห้าม

$$(\alpha h\nu) = \frac{2\alpha_1}{n} \left(\frac{2\mu}{h} \right)^{\frac{5}{2}} |H_{cv}(k)|_{k=0}^2 (h\nu - E_g)^{\frac{3}{2}} \equiv A (h\nu - E_g)^{\frac{3}{2}} \quad (3.12)$$

โดยที่ μ คือ มวลลดทอน

H_{cv} คือ ค่าออปติคอลลเมตริกอิสิเมนต์ ระหว่างแถบวาเลนซ์ และแถบการนำ

E_g คือ ช่องว่างแถบพลังงาน

$h\nu$ คือ พลังงานโฟตอน

3.6 การวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ[7-9]

ซึ่งเราหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสารกึ่งตัวนำจากการวัดแสงที่ทะลุผ่าน (transmission: T) โดยให้แสงที่ตกกระทบเป็น (I_i) ในสารที่มีความหนา d และแสงส่งผ่านออกมาเป็น (I_t) ในฟังก์ชันกับความยาว (λ) ค่าสะท้อนและการส่งผ่านของแสงจะหาได้จากสมการดังนี้

$$T = I_t/I_i = (1 - R)^2 e^{-\alpha d} / (1 + R^2 e^{-2\alpha d}) \quad (3.13)$$

$$R = I_r/I_i = [(n-1)^2 + k^2] / [(n+1)^2 + k^2] \quad (3.14)$$

I_t คือ ความเข้มแสงที่ส่งผ่าน

I_i คือ ความเข้มแสงที่ตกกระทบ

d คือ ความหนาของสารตัวอย่าง

I_r คือ ความเข้มแสงที่สะท้อน

n คือ ดัชนีหักเห

k คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสีย(extrinsic coefficient)

สารตัวอย่าง มีความหนามากพอที่ $R^2 e^{-2\alpha d}$ มีค่าน้อยกว่า 1 มากดังนั้นจึงเขียนสมการที่ (3.13) ได้ใหม่ได้เป็น

$$T = I_t/I_i = (1 - R)^2 e^{-\alpha d} \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- T คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน
 R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน
 α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

ในการทดลองการดูดกลืนแสงนั้น การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การสะท้อนจะเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากในช่วงความยาวคลื่นที่เราสนใจ ดังนั้นจะประมาณได้ว่าเทอม $(1 - R)^2$ มีค่าคงที่ และสมการที่ (3.15) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln(I_i/I_t) \quad (3.16)$$

ค่าคงที่ในสมการที่(3.16) มีผลมาจากความเข้มแสงที่สะท้อนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยดังนั้นจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนที่สูงเกินจริง เราจึงต้องนำค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงพื้นหลัง (α_0) มาลบออกจากค่า α จึงจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนที่ถูกต้อง เพื่อให้ง่ายในการปฏิบัติเราจะหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนได้ในสมการที่ (3.1) และ(3.16) และยังสามารถหาค่า E_g ได้จากสมการที่ (3.11) หรือ (3.12) หรือทำการได้โดยการการลากเส้นโดยประมาณกราฟระหว่าง α^2 กับ $h\nu$ ตรงส่วนของกราฟที่มาตัดกับแกนพลังงานโฟตอน $h\nu$ จุดตัดนั้นจะเป็นค่า E_g นั้นเองและลักษณะของกราฟจะแสดงให้เห็นว่าสารกึ่งตัวนำมีโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงหรือเฉียง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ก,ข

บทที่ 4

สมบัติทางไฟฟ้า

สมบัติการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจะอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีแถบพลังงาน ในสารกึ่งตัวนำจะประกอบไปด้วย แถบวาเลนซ์ แถบพลังงานต้องห้าม แถบการนำ ซึ่งการนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำจะเกิดจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮล คือเมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากแถบวาเลนซ์จะกระโดดขึ้นไปในแถบนำไฟฟ้า แล้วก็จะเกิดโฮลในแถบวาเลนซ์ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะขึ้นกับความหนาแน่นและความคล่องตัวของอิเล็กตรอนในแถบการนำกับโฮลในแถบวาเลนซ์

4.1 สภาพนำไฟฟ้าเนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮล[4,7,8]

เมื่อใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปในสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนำจะได้รับแรงกระตุ้นจากสนามไฟฟ้า เกิดการเคลื่อนที่กลายเป็นกระแสไฟฟ้า จากกฎของโอห์ม จะได้ว่าสภาพนำไฟฟ้า (electrical conductivity: σ) คืออัตราส่วนของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (current density: J) ต่อสนามไฟฟ้า (electric field: E) ที่ใส่เข้าไปจะได้ว่า

$$\sigma = J/E \quad (4.1)$$

โดยที่ $J = nqv_d \quad (4.2)$

เมื่อ n คือ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

q คือ ประจุของอิเล็กตรอน

v_d คือ ความเร็วลอยเลื่อน(drift velocity) ของอิเล็กตรอน

จาก $\mu = v_d / E$ ดังนั้นสภาพนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำเนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮลในแถบวาเลนซ์คือ

$$\sigma = nq\mu_n + nq\mu_p \quad (4.3)$$

โดยที่ μ_n และ μ_p คือสภาพคล่องตัวได้(mobility)ของอิเล็กตรอน และ โฮลตามลำดับ และจากความสัมพันธ์สภาพนำไฟฟ้ากับสภาพต้านทานไฟฟ้า(electrical resistivity: ρ)มีค่าเป็น $\sigma = 1/\rho$ ดังนั้นสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าตามสมการดังนี้

$$\rho = 1/q(\mu_n n + \mu_p p) \quad (4.4)$$

4.2 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า[4,10]

ในการวัดหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งต้องต่ออุปกรณ์เข้ากับชิ้นงานโดยตรง กับไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน เช่น วิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสองขั้ว (two point probe method), วิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสี่ขั้วเชิงเส้น(linear four-point probe method)และวิธีแวนเดอร์เพาว์(Van Der Pauw method) เป็นต้น

4.2.1 วิธีวัดโดยตรง (direct method)[4,10]

วิธีนี้ใช้กับสารตัวอย่างที่มีรูปที่เป็นทรงกระบอกที่ทราบขนาดแน่นอน โดยใช้การวัดหาค่าความต้านทาน(R) ก็จะสามารหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า(ρ)จากสมการ

$$\rho = RA/I \quad (4.5)$$

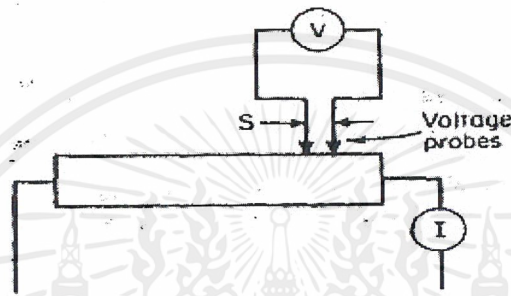
โดยที่ I คือ ความยาวของสารตัวอย่าง

A คือ พื้นที่หน้าตัดของสารตัวอย่าง

ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่หามาได้จะต้องนำมารวมกับความต้านทานรอยต่อ(contact resistance) ระหว่างขั้วตัวนำกับขั้วที่สัมผัสด้วย ซึ่งเราสามารถผลของความต้านทานรอยต่อได้โดยการเขียนกราฟระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้า สภาพต้านทานไฟฟ้าจะค่อยๆลดลง ในขณะที่ความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นจนในที่สุดจะคงที่ นั่นคือ สภาพต้านทานไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำที่แท้จริง

4.2.2 วิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสองขั้ว (two point probe method) [4,10]

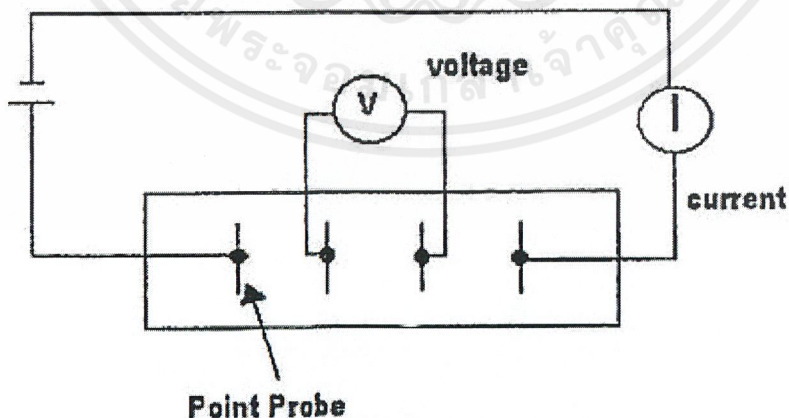
ในวิธีนี้ทำการวัดค่าได้โดยนำขั้วของโวลต์มิเตอร์สัมผัสกับสารตัวอย่างที่ตำแหน่งต่างๆ โดยให้ห่างจากรอยต่อโลหะขั้วไฟฟ้ากับสารกึ่งตัวนำพอสมควร โดยในวิธีนี้จะไม่ให้พบปัญหาในเรื่องค่าความต้านทานที่รอยต่อได้ และกระแสไฟฟ้าที่ใช้ควรมีค่าไม่สูงนัก เพื่อไม่สารกึ่งตัวนำร้อนแล้วให้ค่าสภาพต้านทานเปลี่ยนไป อีกทั้งโวลต์มิเตอร์ต้องมีค่าอิมพีแดนซ์สูง (high impedance) ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีปลายแหลมสองขั้ว

4.2.3 วิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสี่ขั้วเชิงเส้น (linear four-point probe method) [4,10]

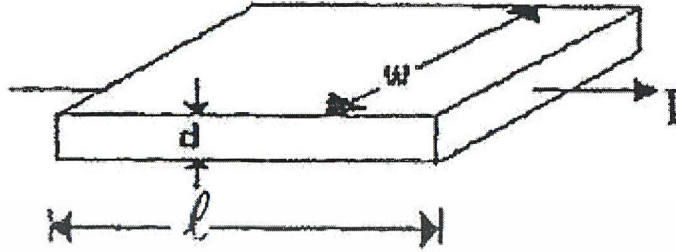
เป็นวิธีที่ใช้สำหรับการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มแบบ 4 ขั้ว โดยวัดบนผิวนำของฟิล์มที่มีรูปแบบใดก็ได้ แต่ตำแหน่งของขั้วทั้ง 4 จะต้องวางเรียงอยู่ในแนวเดียวกัน โดย 2 ขั้วนอกจ่ายกระแสไฟฟ้า และ 2 ขั้วในวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงวิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสี่ขั้วเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อฟิล์มยาว l กว้าง w และหนา d ตามรูป จากกฎของโอห์มและสมการ(4.5)จะคำนวณหาความต้านทานฟิล์มได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 แสดงขนาดของฟิล์มยาว กว้าง w หนา d

$$R = \frac{V}{I} = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{wd} \quad (4.6)$$

ในกรณีที่ฟิล์มเป็นรูปสี่เหลี่ยม ($l=w$) ดังนั้นสมการที่(4.6) จะเขียนได้ใหม่เป็น

$$R = R_s = \frac{\rho}{d} \quad \Omega / \square$$

R_s คือ ความต้านทานแผ่น (sheet resistance)

ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า

แต่ถ้า $l \neq w$ จะได้ว่า

$$R_s = R(w/l) \quad (4.7)$$

เมื่อเราพิจารณาการวัดตามรูปที่ 4.2 เราจะหาสภาพต้านทานไฟฟ้าได้จากสมการ

$$\rho = 2\pi \frac{V}{I} \left[\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_3} - \frac{1}{s_1 + s_3} - \frac{1}{s_2 + s_3} \right] \quad (4.8)$$

โดยที่ s คือ ช่องว่างระหว่างขั้ว ในขณะที่ $s_1 = s_2 = s_3$ สมการ(4.8)เขียนได้ใหม่เป็น

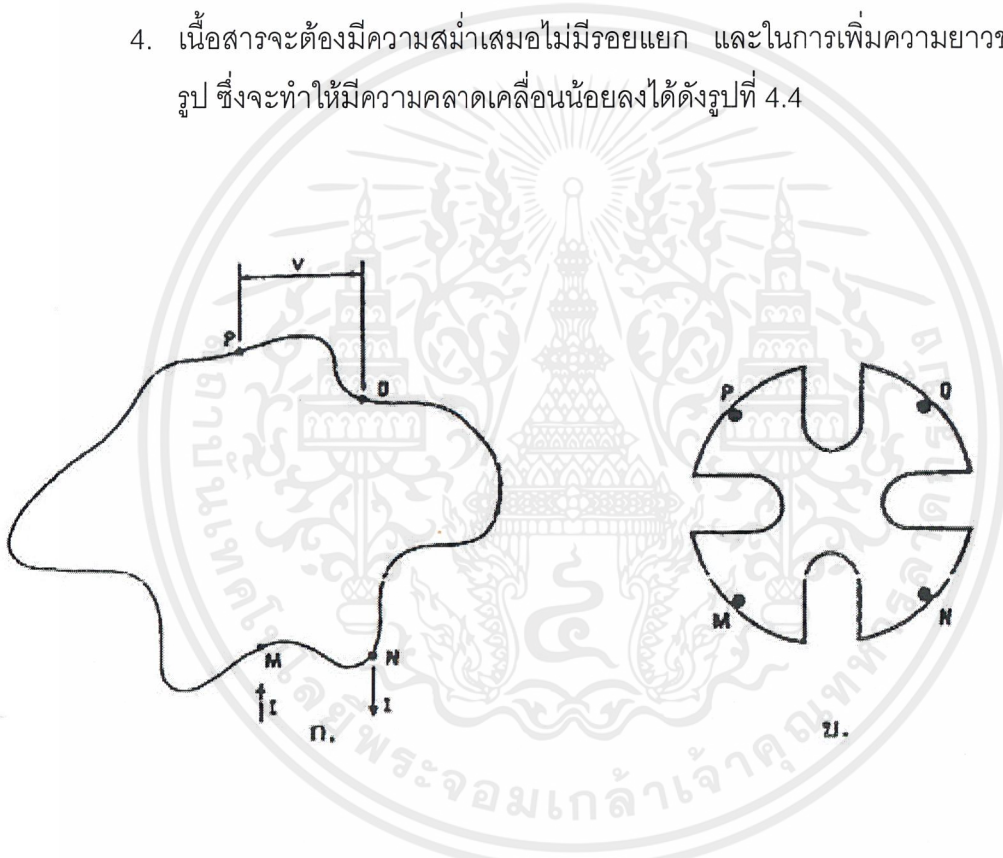
$$\rho = 2\pi sV/I \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีแวนเดอร์เพอร์ [4,10]

เป็นวิธีวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าที่สมบูรณ์ที่สุด และใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้ขั้วไฟฟ้า 4 ขั้ว ซึ่ง 2 ขั้วจะใช้วัดกระแสไฟฟ้า อีก 2 ขั้วใช้วัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ในการวัดนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง แม่นยำต้องเป็นไปตามเงื่อนไขเหล่านี้

1. จุดสัมผัสต้องมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดของเส้นรอบรูปตัวสาร
2. ขั้วสัมผัสจะต้องอยู่ขอบของสารกึ่งตัวนำ
3. สารตัวอย่างต้องมีขนาดเท่ากันขนาดเท่ากันตลอด
4. เนื้อสารจะต้องมีความสม่ำเสมอไม่มีรอยแยก และในการเพิ่มความยาวของเส้นรอบรูป ซึ่งจะทำให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีแวนเดอร์เพอร์

- (ก) แสดงตำแหน่งของจุดสัมผัสบนชิ้นสารตัวอย่าง
- (ข) การเพิ่มความยาวของเส้นรอบรูปเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการวัด

จากรูปที่ 4.4 ถ้าให้กระแสไฟฟ้า I_{MN} ผ่านเข้าทางจุด M และออกทางจุด N เราสามารถที่จะวัดความต่างศักย์ $V_{po} = V_p - V_o$ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ตามสมการ

$$R_{MN,op} = \frac{V_p - V_o}{I_{MN}} \quad (4.10)$$

ถ้าเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเข้าทางจุด N ออกจากจุด O ก็จะได้ความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกับสมการที่ (4.10) คือ

$$R_{NO,PM} = \frac{V_M - V_P}{I_{NO}} \quad (4.11)$$

ทั้งสมการที่ (4.10) และ (4.11) จะปรากฏในรูปของความสัมพันธ์ดังนี้คือ

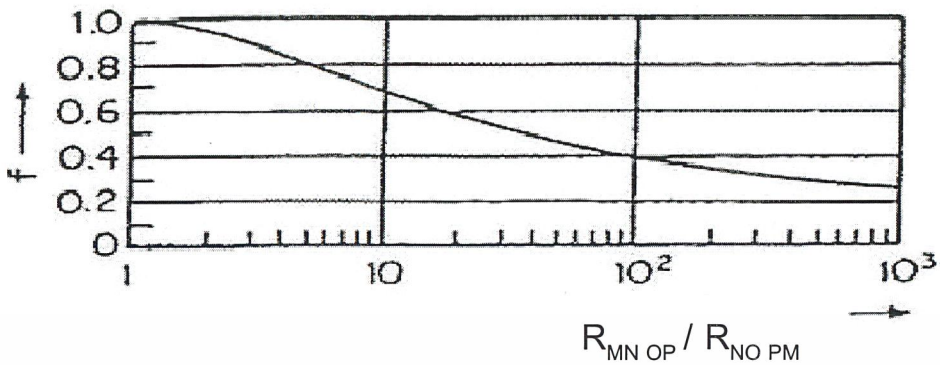
$$\exp\left(-\frac{\pi d}{\ln 2} R_{MN,OP}\right) + \exp\left(-\frac{\pi d}{\ln 2} R_{NO,PM}\right) = 1 \quad (4.12)$$

เมื่อ d คือความยาวของสารตัวอย่าง

สมการที่ (4.12) สามารถเปลี่ยนเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาเป็น

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \left(\frac{R_{MN,OP} + R_{NO,PM}}{2} \right) f \left(\frac{R_{MN,OP}}{R_{NO,PM}} \right) \quad (4.13)$$

โดยที่ f เป็นฟังก์ชันของ $(R_{MN,OP} / R_{NO,PM})$ เรียกว่าแฟกเตอร์ค่าแก้ (correcting factor) ดังปรากฏอยู่ที่รูปที่ 4.4 ดังนั้นสภาพต้านทานไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจะหาได้จากสมการที่ (4.13)



รูปที่ 4.5 แสดงค่าแฟกเตอร์ค่าแก้ของการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีเวนเดอร์เพาท์

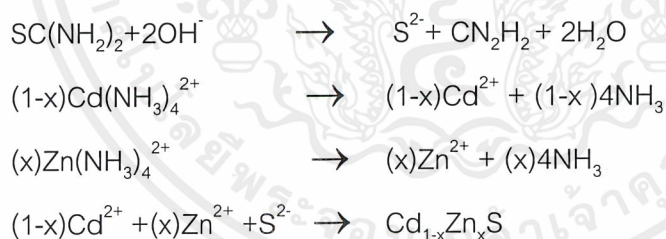
จากวิธีดังกล่าวจะเห็นว่าแฟกเตอร์ค่าแก้เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากรอยต่อขั้วสัมผัสมักวางอยู่ในตำแหน่งไม่สมมาตร แต่ถ้ารอยต่อขั้วสัมผัสอยู่ในลักษณะสมมาตรกันแล้ว ฟังก์ชันค่าแก้จะมีค่าเป็น 1 สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือการวัดวิธีนี้ รอยต่อขั้วสัมผัสจะต้องเล็กมากและฟิล์มบางมีความหนาสม่ำเสมอ รอยต่อระหว่างขั้วสัมผัสที่มีกระแสไหลเข้าไหลออกจะต้องไม่เป็นรอยต่อที่ขัดขวางการไหลของกระแสซึ่งจะต้องเตรียมผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำให้เหมาะสม รวมทั้งชนิดและรูปร่างของขั้วสัมผัสจะต้องทำมาจากวัสดุที่แข็งแรงและมีปลายแหลมโดยที่ไม่ก่อความเสียหายที่ผิวหน้าสารกึ่งตัวนำ

บทที่ 5

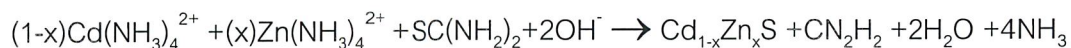
การเตรียมฟิล์มบาง แคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์ โดยวิธีการเคลือบด้วยการ อาบสารละลายเคมี

5.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยา [2,4,11]

ในการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์ สามารถเตรียมได้ด้วยวิธีการการอาบสารละลายเคมีโดยการจุ่มแผ่นรองรับซึ่งเป็นกระจกใส ซึ่งสารละลายที่ใช้ประกอบไปด้วย ไทโอยูเรีย ($\text{SC}(\text{NH}_2)_2$) เกลือแคดเมียมซัลเฟต (CdSO_4) และซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4) ซึ่งจะให้ไอออนของซัลเฟอร์ (S^{2-}) ,ไอออนของแคดเมียม (Cd^{2+}) และ ไอออนของซิงค์ (Zn^{2+}) ตามลำดับ โดยในการเตรียมฟิล์มนี้ จะมีค่า pH ของสารละลายในอ่างจะมีค่าประมาณ 10.6-11.8 ซึ่งในการเคลือบฟิล์มบางจะเกิด Cd^{2+} , Zn^{2+} อย่างช้าๆ โดย Zn^{2+} จะเข้าไปแทน Cd^{2+} ทำให้เกิดฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ได้ ซึ่งในโครงการพิเศษนี้เราใช้ค่า Zn ที่มีอัตราส่วนผสมทางเคมีดังต่อไปนี้โดย $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9, 0.95, 1$ ตามลำดับ โดยในการกระบวนการเคลือบฟิล์มบางคาดว่าจะเกิดปฏิกิริยา ดังนี้



จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะสรุปได้ว่า

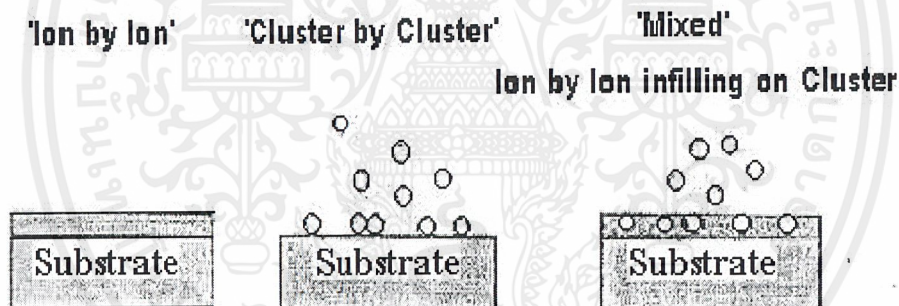


5.2 การเกิดฟิล์มบางของ $Cd_{1-x}Zn_xS$ บนกระจกสไลด์[2]

ในการตกผลึกของ CdS และ ZnS ค่าผลผลิตการละลาย (Solubility product; K_{sp}) และค่าคงที่สมดุล (equilibrium constant; K_e) ทั้งของ CdS และ ZnS มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้น อัตราเร็วในการตกผลึกของ ZnS จึงช้ากว่าของ CdS ดังนั้นในการตกผลึกจึงเกิดกลไกได้ 2 แบบ ด้วยกันดังนี้คือ [12]

1. กลไกในการตกผลึกภายในเนื้อสาร โดยจะเรียกว่าการตกผลึกแบบโฮโมจีเนียส (homogeneous precipitation) หรือกลไกที่จับตัวกันแบบกลุ่มก้อนต่อกลุ่มก้อน (cluster by cluster) ซึ่งจะมาจับตัวอยู่บนผิวหน้าของแผ่นรองรับดังรูปที่ 5.1

2. กลไกในการตกผลึกที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของแผ่นรองรับ เรียกว่า ไอออนต่อไอออน (ion by ion) หรือการตกผลึกแบบเฮเทอโรจีเนียส (heterogeneous precipitation) ซึ่งตัว Cd^{2+} หรือ Zn^{2+} จะไปจับกับ OH^- กลายเป็น $Cd(OH)_2$ หรือ $Zn(OH)_2$ แล้วก็จะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง $Cd(OH)_2$ หรือ $Zn(OH)_2$ กับ $SC(NH_2)_2$ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงกลไกในการเกิดผลึกเป็นฟิล์มบางของ MS (เมื่อ M=Cd และ/หรือ Zn บนแผ่นรองรับ)

เนื่องจากผลของความสามารถในการละลายของทั้ง CdS และ ZnS มีค่าต่ำมาก ดังนั้น การควบคุมการตกผลึก สามารถทำได้โดยการควบคุมความเข้มข้นของไอออนอิสระ Cd^{2+} กล่าวคือ ต้องเลือกตัวแทนเชิงซ้อน (complexing agent) ที่เหมาะสมเพื่อที่จะปล่อยไอออน Cd^{2+} และ Zn^{2+} ในปริมาณความเข้มข้นน้อยมาก ซึ่งในที่นี้คือ NH_3 ซึ่งจะรวมตัวกับ Cd^{2+} และ Zn^{2+} กลายเป็นไอออนเชิงซ้อน (complex ions) ซึ่งจะเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการควบคุมอัตราการเกิดและคุณภาพของฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

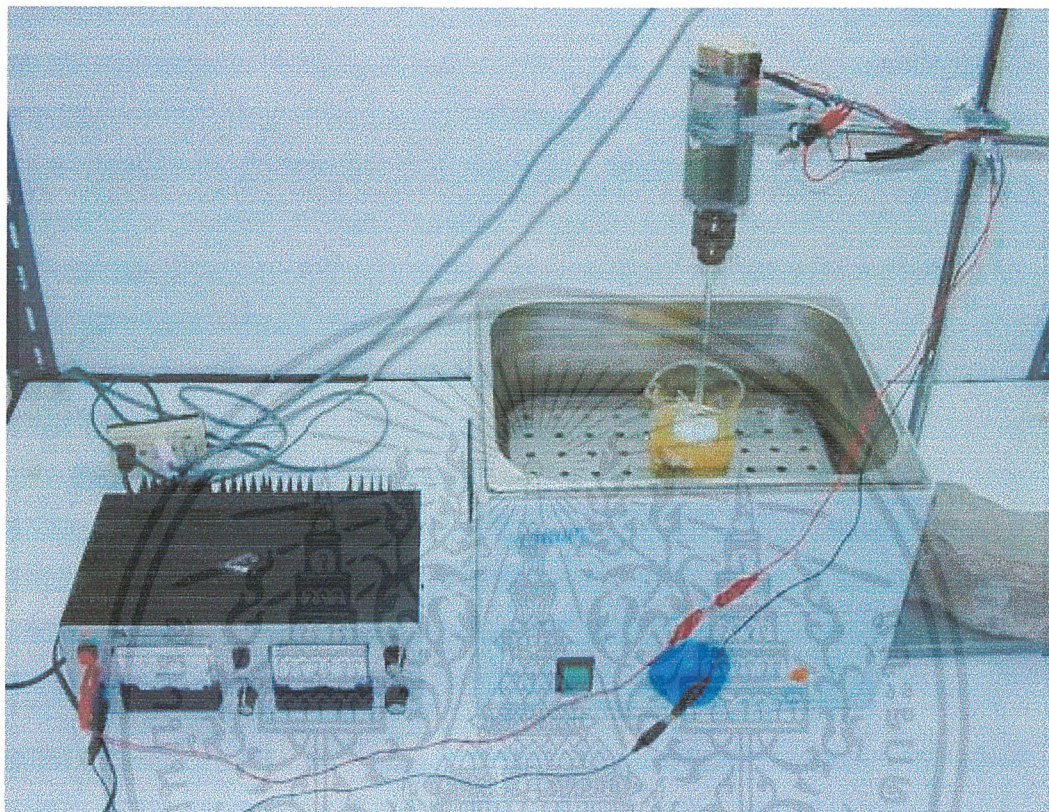
วิธีการทดลอง

ในโครงการนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์($Cd_{1-x}Zn_xS$)โดยปริมาณ Zn ที่มีค่าสูงโดยวิธีการอบสารละลายเคมี และศึกษาสมบัติเชิงฟิสิกส์ต่างๆ ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนیلและเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาทีพร้อมทั้งศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ และศึกษาลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานของฟิล์มบางและคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) นอกเหนือจากนี้ยังวัดความต้านทานแผ่น (sheet resistance) โดยวิธี 2 ขั้วเชิงเส้นทั้งในกรณีฉายแสงและไม่ฉายแสง และศึกษาความหนาของฟิล์มบางจากการจุ่มแต่ละครั้ง

6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์[4,11]

อุปกรณ์ที่ใช้ในการจับกระจกสไลด์ให้อยู่ในแนวตั้งก็คือ แท่นรองรับที่ทำด้วยเทฟลอน ซึ่งมีคุณสมบัติทนกรดทนด่างมีทั้งแบบยึดกระจกสไลด์ได้ 7 อัน และ 15 อันแท่งเทฟลอนจะถูกยึดด้วยแท่งแก้วตัน แล้วนำไปต่อเชื่อมเข้ากับมอเตอร์เพื่อทำให้แท่งเทฟลอนหมุนไปด้วยในขณะทำการเคลือบฟิล์มบางในอัตราเร็วที่คงที่ประมาณ 60 รอบ/นาที ส่วนอ่างน้ำที่ใช้ในการจุ่มฟิล์มบางสามารถปรับและควบคุมอุณหภูมิได้ถึง 100 °C ดังรูปที่ 6.1 ทำการปรับให้มีอุณหภูมิคงที่ที่ 80 °C ภายหลังจากการจุ่มเคลือบฟิล์มบาง ให้นำไปกำจัดตะกอนโดยการใช้อัลตราโซนิกกำจัดตะกอนที่ไม่ต้องการ ที่ติดบนแผ่นฟิล์มให้สะอาด ส่วนปริมาณสารตั้งต้นต่างๆที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ถูกเทลงในบีกเกอร์ที่เติมน้ำปอดประจุ จนมีปริมาตรของสารละลายทั้งหมด 150 ml โดยค่าปริมาณสารตั้งต้นต่างๆแสดงไว้ในตารางโดยกำหนดให้ความเข้มข้นของ $[CdSO_4 \cdot 8/3H_2O] + [ZnSO_4 \cdot 7H_2O]$ เท่ากับ 0.01 M ส่วน $SC(NH_2)_2$ และ NH_3 เท่ากับ 0.05 และ 1.5 M ตามลำดับ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 ภาพแสดงอุปกรณ์การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีอานสารละลายเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงปริมาณสารตั้งต้นทั้งหมดตามเงื่อนไขต่างๆ

อัตราส่วน ผสมของZn (x)	ปริมาณสารตั้งต้น				
	CdSO ₄ ·8/3H ₂ O (g)	ZnSO ₄ ·7H ₂ O(g)	SC(NH ₂) ₂ (g)	NH ₃ (ml)	N ₂ H ₃ OH(ml)
0.2	0.3078	0.0862	0.5709	16.84	27.3
0.4	0.2308	0.1725	0.5709	16.84	27.3
0.6	0.1539	0.2587	0.5709	16.84	27.3
0.7	0.1154	0.3019	0.5709	16.84	27.3
0.8	0.0769	0.345	0.5709	16.84	27.3
0.9	0.0384	0.3881	0.5709	16.84	27.3
0.95	0.0192	0.4097	0.5709	16.84	27.3
1	0.0000	0.4313	0.5709	16.84	27.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การเตรียมแผ่นรองรับหรือแผ่นกระจกสไลด์

ในการเตรียมแผ่นรองรับเพื่อให้เกิดฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ จะใช้กระจกสไลด์ขนาดความกว้างและความยาวประมาณ 12 mm และ 25 mm ต้องทำความสะอาดก่อนให้เป็นอย่างดีซึ่งขั้นตอนการทำความสะอาดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) นำกระจกสไลด์ไปทำความสะอาดด้วยน้ำล้างจานและล้างด้วยน้ำปลอดประจุเป่าให้แห้งด้วยลมร้อนจากเครื่องเป่าผม
- 2) นำกระจกสไลด์ที่ได้ไปแช่ใน TCE 10 นาที เพื่อขจัดคราบไขมัน
- 3) นำกระจกสไลด์ที่ได้ไปแช่ใน อะซิโตน 10 นาที เพื่อขจัด TCE
- 4) นำกระจกสไลด์ที่ได้ไปแช่ใน เอทานอล 10 นาที เพื่อขจัดอะซิโตน
- 5) แช่กระจกสไลด์ในสารละลาย HF ปริมาณ 20 ml กับน้ำปลอดประจุ 100 ml เป็นเวลาประมาณ 10-15 นาที และล้างออกด้วยน้ำปลอดประจุน้ำอีกครั้ง
- 6) ล้างกระจกด้วยน้ำปลอดประจุด้วยเครื่องอัลตราโซนิกประมาณ 10 นาที เป็นเวลา 3 ครั้ง
- 7) นำกระจกสไลด์ไปเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ แล้วนำไปอบในเตาที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลาประมาณ 30 นาที จะได้กระจกที่สะอาดพร้อมใช้งาน

6.3 วิธีการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์

สารที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ โดยเทคนิคการอบสารละลายเคมีประกอบด้วย $[CdSO_4]+[ZnSO_4]$, $SC(NH_2)_2$, NH_3 จำนวน 0.01, 0.05 , 1.5 โมลาร์ตามลำดับ สารละลายตั้งต้นในน้ำปลอดประจุลงในบีกเกอร์จมีปริมาณทั้งหมด 150 ml ในการทดลองครั้งนี้ได้หาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเตรียมฟิล์มบางให้ได้ฟิล์มที่มีคุณภาพดีที่สุด ซึ่งในที่สุดได้เลือกใช้ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางที่มีคุณภาพดีที่สุด ดังต่อไปนี้

- 1) ชั่งสารตั้งต้นซึ่งประกอบด้วยเกลือแคดเมียมซัลเฟต $[CdSO_4 \cdot 8/3H_2O]$, เกลือซิงค์ซัลเฟต $[ZnSO_4 \cdot 7H_2O]$, ไทโอยูเรีย $SC(NH_2)_2$ และแอมโมเนีย (NH_3) ตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้ดังตารางที่ 6.1 โดยมีอัตราส่วนผสมของ Zn คือ 0.2 , 0.4 , 0.6 , 0.7 , 0.8 , 0.9 , 0.95 , 1.0 ตามลำดับ
- 2) ตวงไฮดราซีนีไฮดรอกไซด์ (hydrazinium hydroxide) ซึ่งมีปริมาณ 27.3 ml ที่อุณหภูมิห้อง
- 3) ละลายเกลือแคดเมียมซัลเฟตและเกลือซิงค์ซัลเฟตในน้ำปลอดประจุปริมาตร 10 ml เข้าด้วยกันก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) เทสารละลายเกลือแคดเมียมซัลเฟตและซิงค์ซัลเฟตกับน้ำปลอดประจุลงในแอมโมเนียซึ่งตวงไว้ที่ปริมาตร 16.8 ml เข้าด้วยกันที่อุณหภูมิห้อง
- 5) ละลายไทโอยูเรียในน้ำปลอดประจุประมาณ 10 ml เข้าด้วยกันที่อุณหภูมิห้อง
- 6) นำแผ่นรองรับซึ่งเป็นกระจกไลต์ที่ติดอยู่กับแท่นยึดซึ่งทำจากเทฟลอนใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำปลอดประจุอยู่ประมาณ 100 ml ซึ่งแช่อยู่ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 80 °C
- 7) เทสารละลายที่เตรียมได้ในขั้นตอนที่ 4 ลงในบีกเกอร์แล้วเทไฮดรอกซีเนียมไฮดรอกไซด์จากนั้นจึงเป็นสารละลายที่เตรียมได้ในขั้นตอนที่ 5 สุดท้ายเติมน้ำปลอดประจุจนปริมาตรของของเหลวในบีกเกอร์เป็น 150 ml
- 8) เปิดสวิตช์มอเตอร์ให้หมุนแท่นยึดแผ่นรองรับตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วประมาณ 60 รอบ/นาที
- 9) ทำการวัดค่า pH ของสารละลายในบีกเกอร์ซึ่งมีค่าประมาณ 11.6 และปล่อยให้แห้งให้จุ่มไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง โดยควบคุมอัตราการหมุนของแท่นยึดแผ่นรองรับและอุณหภูมิของอ่างน้ำให้คงที่อยู่เสมอ
- 10) หลังจากเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง นำแท่นจับแผ่นรองรับออกจากตู้ทดลองสังเกตเห็นฟิล์มบางเคลือบบนแผ่นกระจกไลต์และปรากฏอนุภาคของแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์บางส่วนคล้ายผงฝุ่นเกาะอยู่ที่ผิวหน้าของฟิล์มบาง
- 11) นำแผ่นรองรับที่เคลือบฟิล์มบางใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำปลอดประจุอยู่ประมาณ 200 ml แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิกประมาณ 10 นาที แล้วเปลี่ยนน้ำในบีกเกอร์ทำการเขย่าอีก 2 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที
- 12) นำฟิล์มบางที่เตรียมได้มาเคลือบอีก 5 ครั้ง ตามขั้นตอนที่ 1-10
- 13) เตรียมฟิล์มบางตามขั้นตอนที่ 1-12 ให้ได้ประมาณ 240 ชั้น เพื่อยืนยันผลการทดลอง
- 14) นำฟิล์มบางทุกอัตราส่วนผสมของ Zn ที่เตรียมได้มาทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100 , 200 , 300 , 400 , 500 °C ตามลำดับ ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที
- 15) นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไป ศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ Brucker D8 ซึ่งใช้ค่าความต่างศักย์ 40 kV และกระแสไฟฟ้า 40 mA
- 16) นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงโดยการวัดการส่งผ่านแสงด้วย เครื่อง ยูวี/วิสิเบิล ดับเบิลบีม จัสโก้ 7600 และใช้ความยาวคลื่นในช่วง 250 - 1100 nm เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงาน และคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน

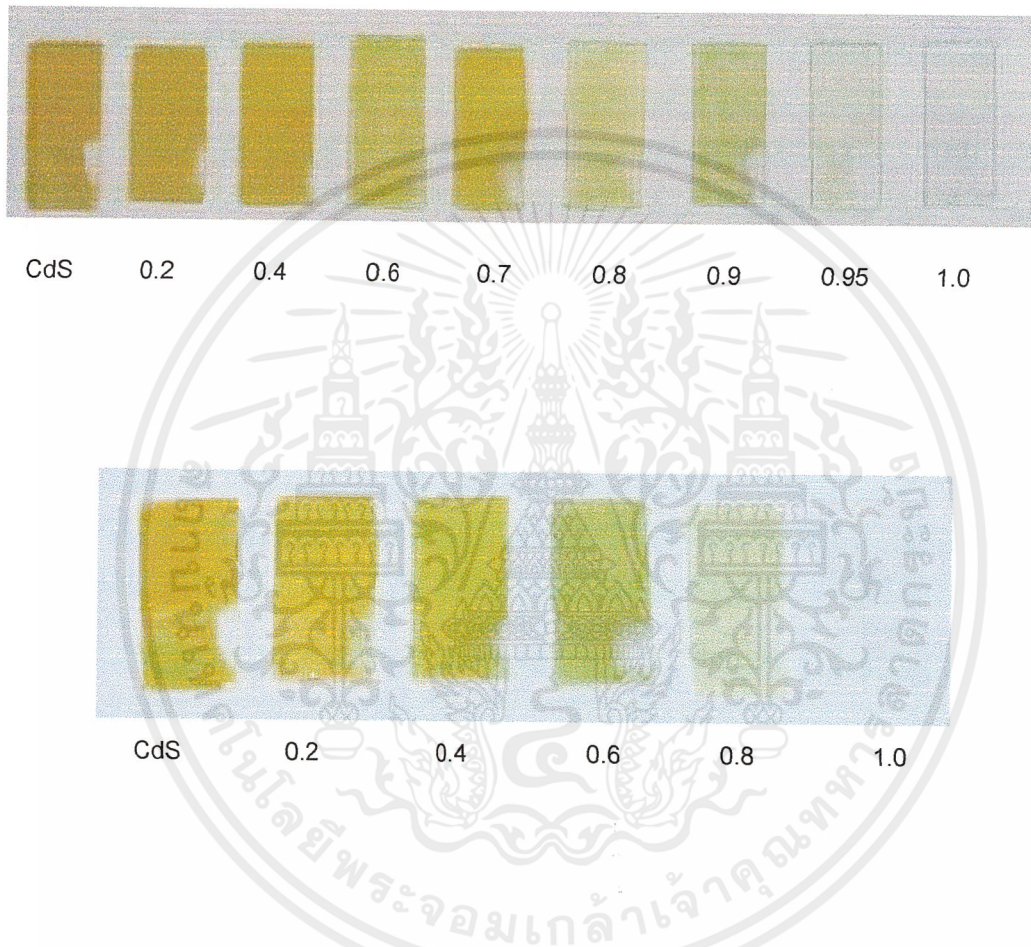
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 17) นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปศึกษาคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าโดยการวัดความต้านทานแผ่นโดยวิธี 2 ชั้น ทั้งกรณีที่มีการฉายแสงและไม่มีการฉายแสง เพื่อศึกษาผลการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง

6.3.1 ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่อัตราส่วนผสมต่างๆที่เตรียมได้

จากการสังเกตการเตรียมฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ $x = 0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 1.0$ ตามลำดับพบว่าปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถสังเกตได้จากสีของสารละลายในบีกเกอร์ จะมีการเปลี่ยนแปลงทันทีหลังจากเติมไฮดราซีเนียมไฮดรอกไซด์ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายของเกลือแคดเมียมซัลเฟต แอมโมเนีย ไทโอยูเรีย และน้ำปลอดประจุ โดยสารละลายจะปรากฏเป็นสีเขียวอ่อนขุ่น ก่อนแล้วจึงเป็นสีเหลืองส้ม ต่อมาอย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาประมาณ 60 วินาที ส่วนในกรณี $x = 1.0$ พบว่าสารละลายที่ได้มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นและจากการทดลองพบว่าความเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนผสมของ Zn ที่เจือเข้าไป กล่าวคือถ้ามีเปอร์เซ็นต์ของ Zn มาก การเกิดปฏิกิริยาภายในบีกเกอร์จะเกิดช้าลงและหลังจากจุ่มครบตามเวลาที่กำหนดแล้วคือใช้เวลา 1 ชั่วโมง เมื่อนำฟิล์มบางที่ได้ขึ้นมาจากสารละลาย สังเกตพบว่ามีอนุภาคของสารประกอบบางส่วนที่จับตัวอยู่บนฟิล์มบางคล้ายฝุ่นผง เกาะบนฟิล์มเป็นจำนวนมาก แต่หลังจากเขย่าด้วยเครื่องอัตราไซนิกแล้วเป่าให้แห้งจะสังเกตเห็นว่าฟิล์มบางมีสีที่อ่อนลงเรื่อยๆเมื่อมีเปอร์เซ็นต์ของ Zn เจือเข้าไปมาก ฟิล์มบางที่ได้ยึดติดกระจกได้ดีและเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็พบว่ามีความสม่ำเสมอของเนื้อฟิล์มดีแสดงดังรูปที่ 6.2 เพื่อเป็นการสะดวกและเหมาะสมจึงจัดแบ่งการพิจารณาแยกออกเป็นกลุ่ม โดยกำหนดให้เป็นฟิล์มบางในตระกูลต่างๆดังนี้

- Zn 20 % มีอัตราส่วนผสม $x = 0.2$
- Zn 40 % มีอัตราส่วนผสม $x = 0.4$
- Zn 60 % มีอัตราส่วนผสม $x = 0.6$
- Zn 70 % มีอัตราส่วนผสม $x = 0.7$
- Zn 80 % มีอัตราส่วนผสม $x = 0.8$
- Zn 90 % มีอัตราส่วนผสม $x = 0.9$
- Zn 95 % มีอัตราส่วนผสม $x = 0.95$
- Zn 100 % มีอัตราส่วนผสม $x = 1.0$

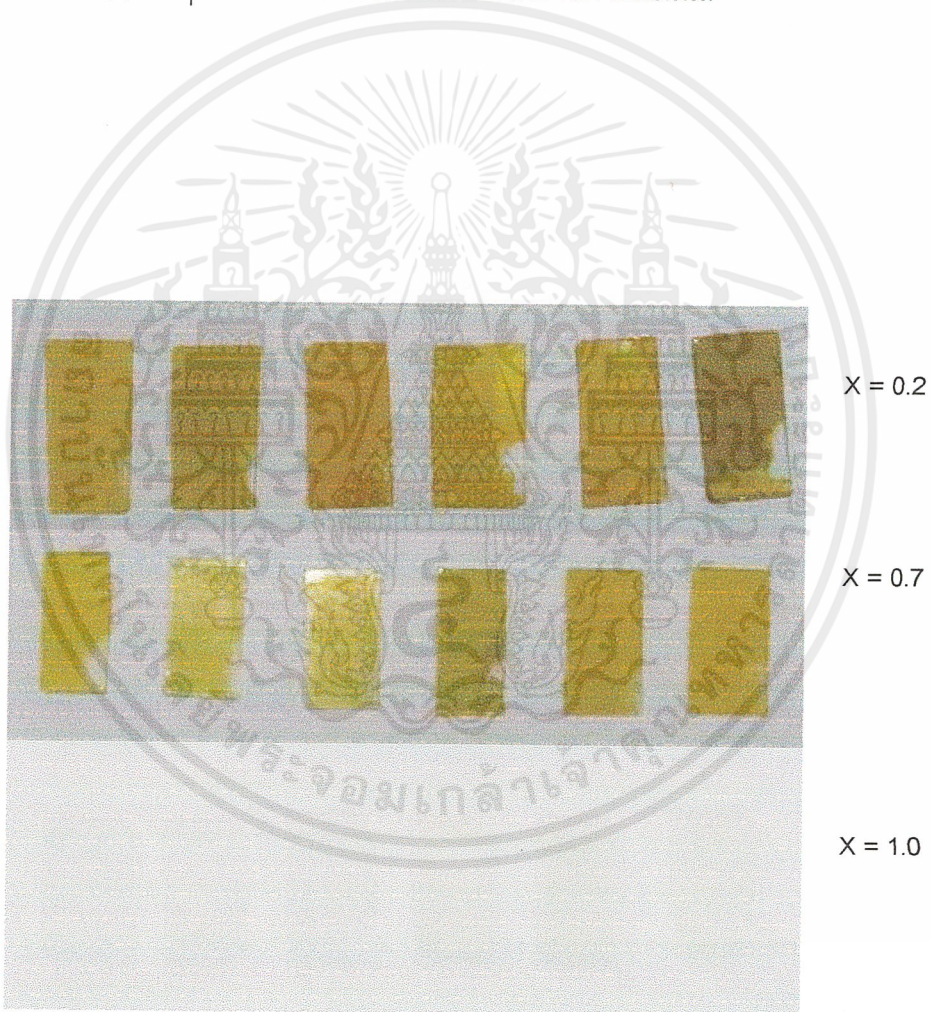


รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะฟิล์มบางที่เตรียมได้จากอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ x ค่าต่างๆ

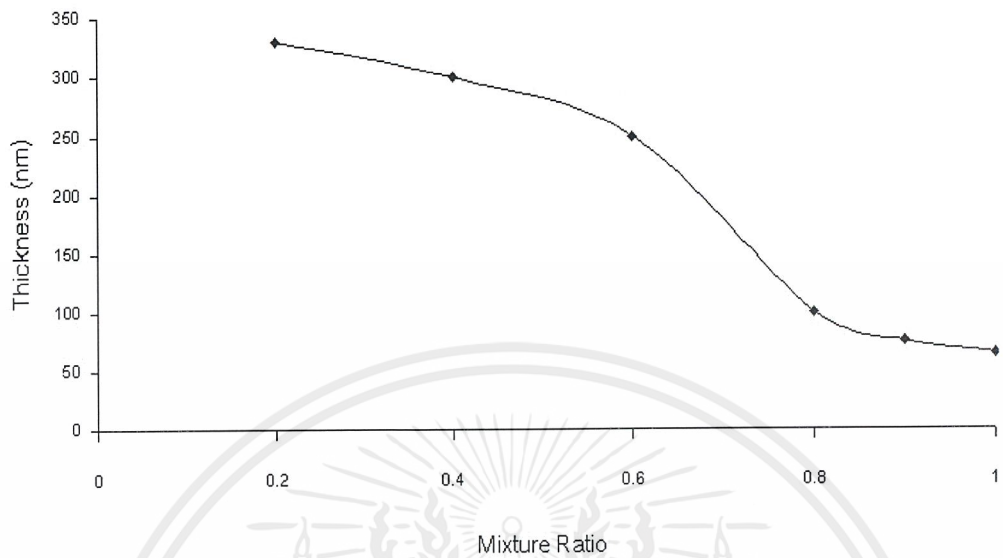
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 พิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เมื่อแอนนีสที่อุณหภูมิต่างๆ

ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่เมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400 และ 500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที สีของฟิล์มบางจะเปลี่ยนจากสีส้มอ่อนเป็นสีส้มแก่ๆ และความมันวาวของฟิล์มจะลดลง ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากอะตอมของซัลเฟอร์ระเหิดออกจากผิวหน้าของฟิล์มบาง [20] ดังรูปที่ 6.3 สำหรับรูปที่ 6.4 แสดงความหนาของฟิล์มบางกับอัตราส่วนผสม (x) ต่างๆของฟิล์มบางที่เตรียมได้โดยไม่ผ่านการแอนนีส



รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะของฟิล์มบางที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ $x = 0.2, 0.7, 1.0$ ที่แอนนีสอุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนา กับอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ x ค่าต่างๆ ของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ที่ ผ่านการจุ่ม 6 ครั้ง เมื่อไม่มีการแอนนีสล

ตารางที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนา กับอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นขณะไม่มีการแอนนีสล

อัตราส่วน (x)	ความหนา(nm)
0.2	330
0.4	300
0.6	250
0.8	100
0.9	75
1.0	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ผลการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

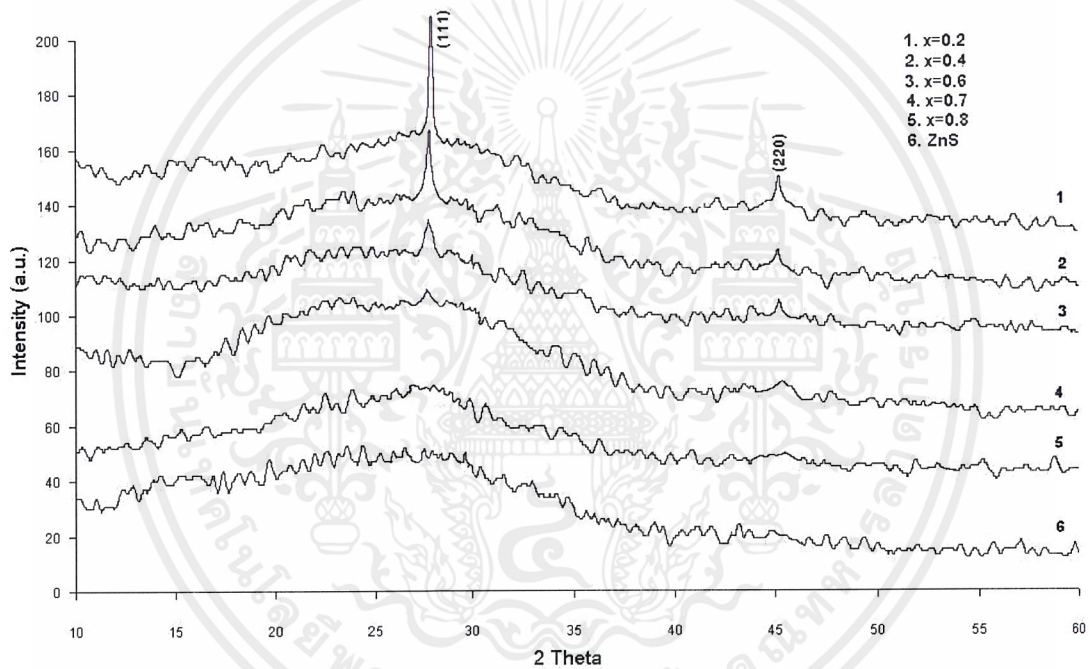
เนื่องจากเราต้องการทราบถึงลักษณะโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางที่เคลือบบนกระจกสไลด์ของ CdS, ZnS และ $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่ค่า x ต่างๆ และต้องการทราบถึงลักษณะโครงสร้างฟิล์มบางที่มีการแอนนัลภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ 100-500 °C ว่ามีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอย่างไรบ้าง ดังนั้นเราจึงนำฟิล์มบางที่เตรียมได้ ไปทำการศึกษากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เพื่อดูลักษณะของพีคที่ปรากฏขึ้นและนำมาเปรียบเทียบกับพีคมาตรฐาน

รูปที่ 6.5 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ในกรณีไม่ได้แอนนัล ส่วนรูปที่ 6.6 และ 6.7 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางทั้งกรณีไม่ได้แอนนัลและแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ฟิล์มบางภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาทีที่มีปริมาณของ Zn เท่ากับ 20% และ 70% ตามลำดับ สำหรับกรณีปริมาณ Zn เท่ากับ 20% จะปรากฏพีคการเลี้ยวเบน 2 พีค ที่มีความเข้มมากที่สุดอยู่ที่มุม 2θ ประมาณ 27 องศา และที่ความเข้มน้อยจะอยู่ที่มุม 2θ ประมาณ 45 องศา พีคที่มีความเข้มสูงอาจเกิดจากการเลี้ยวเบนของระนาบ (002)H หรือ (111)C ส่วนพีคที่ความเข้มน้อยอาจเกิดจากการเลี้ยวเบนของระนาบ (110)H หรือ (200)C และเมื่ออุณหภูมิการแอนนัลเพิ่มมากขึ้นความเข้มของทั้ง 2 พีคนี้ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่มุมของการเลี้ยวเบน 2θ จะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 400°C พีคจะปรากฏมากขึ้นที่มุมเลี้ยวเบนประมาณ 25, 27, 29 องศา ซึ่งระบุได้ว่าเป็นพีคของระนาบการเลี้ยวเบน (100)H, (002)H, และ (101)H ของโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล นอกจากนี้ยังพบที่มุมเลี้ยวเบนประมาณ 45 องศา และ 54 องศา เป็นพีคของระนาบ (110)H กับ (112)H แสดงว่าที่อุณหภูมิแอนนัลต่ำกว่า 400 °C โครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิก แต่เมื่อแอนนัลที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 °C โครงสร้างจะเปลี่ยนเป็นเฮกซะโกนอล แต่สำหรับฟิล์มบางที่มีปริมาณของ Zn มากกว่า 20% และยังไม่ได้อันนัล ความเข้มของพีค หรือ (111)C มีแนวโน้มลดลง และตำแหน่งของพีคจะเลื่อนไปทางมุม 2θ ที่เพิ่มขึ้น แต่สำหรับ (200)C ไม่ปรากฏให้เห็นชัดเจนนักและจากการที่พีคมีแนวโน้มลดลงและจะแผ่ออกมากขึ้น เนื่องจากขนาดของเกรนลดลง และเมื่อ $x > 0.7$ ฟิล์มบางที่ไม่ได้อันนัล จะไม่ปรากฏพีคการเลี้ยวเบน ซึ่งแสดงถึง ความเป็นอะมอร์ฟัส (amorphous) มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อ $x > 0.5$ โครงสร้างผลึกอาจจะเปลี่ยนจากเฮกซะโกนอลเป็นคิวบิก [13] รวมทั้งอะตอม Zn จะเข้าไปแทนที่ตำแหน่งอะตอมแคดเมียม (Cd) แบบสุ่ม ทำให้เกิดความไม่เป็นระเบียบ (disorder) ในระดับจุลภาคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการที่เราเห็นพีค 1 พีค อาจมีสาเหตุมาจากระนาบ (002)H หรือ (111)C มีแนวโน้มขนานกับกับผิวหน้าของกระจกแผ่นรองรับ [14] อีกทั้งยังทราบอีกว่า ZnS ที่เตรียมที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 °C จะมีโครงสร้างผลึกเป็นเฮกซะโกนอล แต่

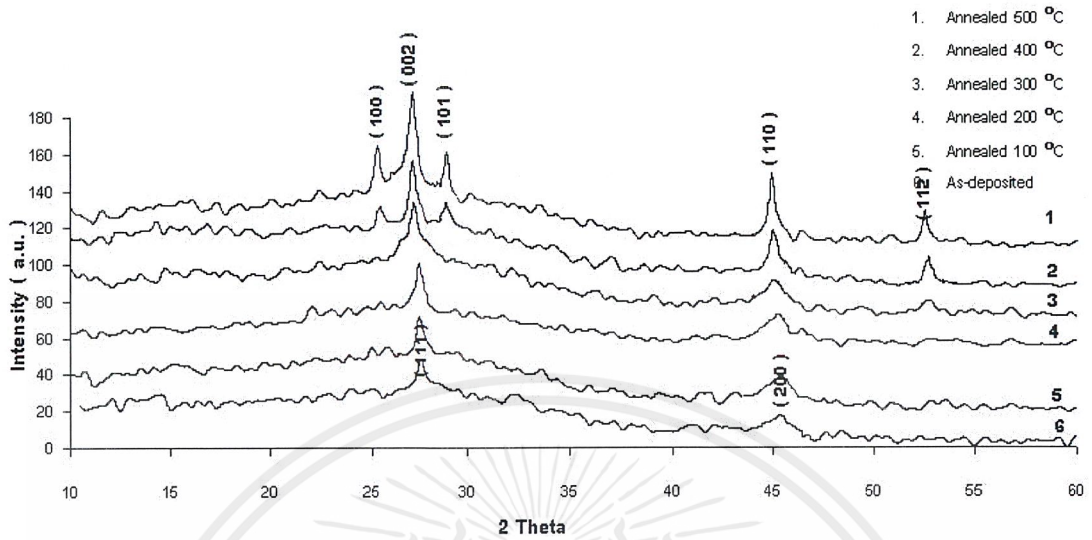
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิต่ำกว่า 900°C จะเป็นโครงสร้างแบบคิวบิก [15] ซึ่งเป็นการสนับสนุนให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนผสม x เพิ่มขึ้น แล้วโครงสร้างของผลึกของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ มีแนวโน้มจะเปลี่ยนจากเฮกซะโกนอลเป็นคิวบิกโดยที่เกรนมีขนาดลดลง[16]

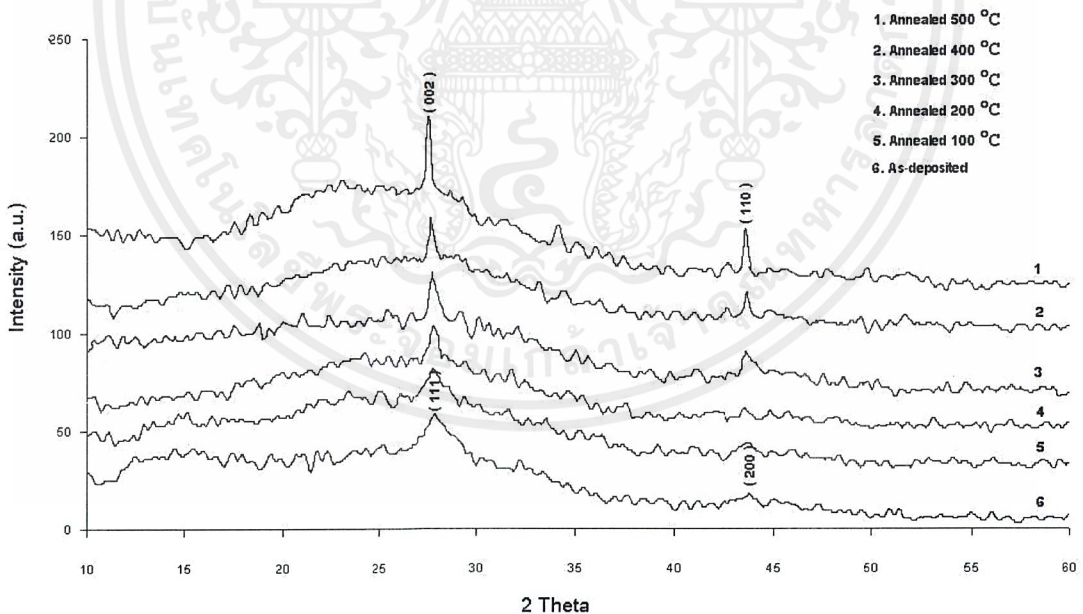
เมื่ออัตราส่วนผสม $x \leq 0.7$ ฟิล์มบางจะเปลี่ยนเฟสจากคิวบิกเป็นเฮกซะโกนอลที่อุณหภูมิแอนนیلประมาณ 400°C แต่เมื่ออัตราส่วนผสม $x > 0.7$ พบว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสจะเพิ่มขึ้น กล่าวคือ เมื่อ $x=0.8$ อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสปรากฏที่ 500°C แต่เมื่อ $x \geq 0.9$ อุณหภูมิเปลี่ยนเฟสสูงกว่า 500°C ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ทำการทดลอง



รูปที่ 6.5 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ x ค่าต่างๆในกรณีที่ไม่มีการแอนนیل



รูปที่ 6.6 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ที่มีอัตราส่วนผสมของของ Zn ที่ $x=0.2$ ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

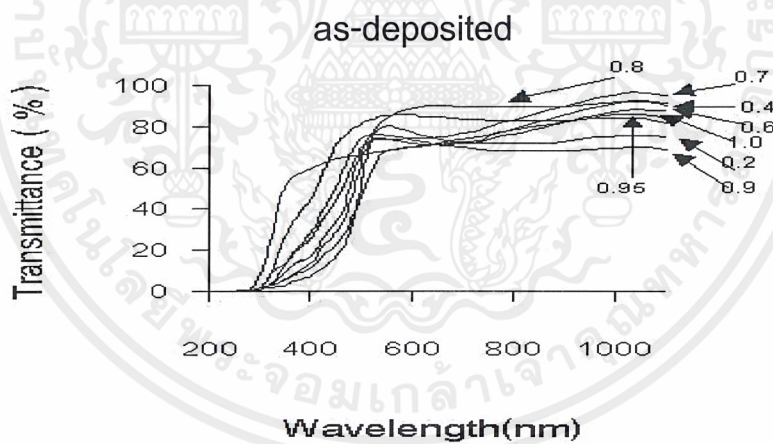


รูปที่ 6.7 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ที่มีอัตราส่วนผสมของของ Zn ที่ $x=0.7$ ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

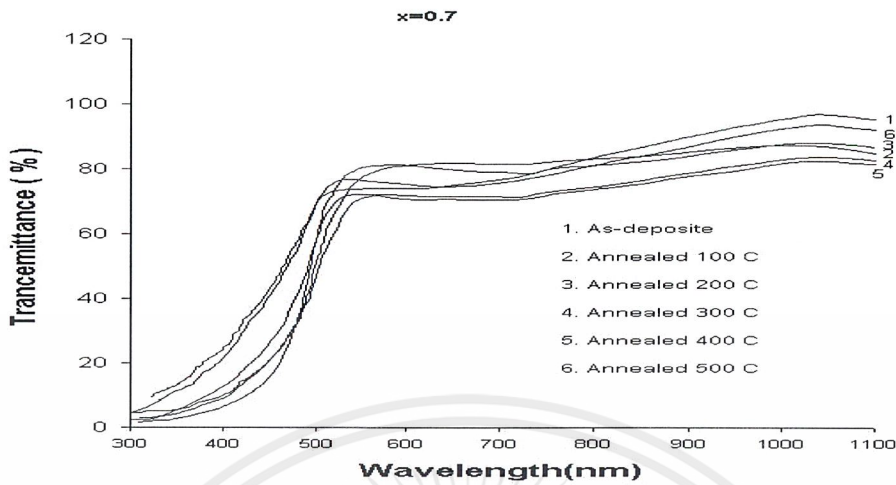
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 ผลการศึกษาการส่งผ่านแสงเพื่อคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน

ในการศึกษาฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ทั้งกรณีที่ไม่มีการแอนนีกัล และ มีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที โดยในการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางนี้เราใช้เครื่องยูวี/วิสสิเบิล ดับเบิลบีม จัสโก้ 7600 โดยเลือกใช้ค่าความยาวคลื่นในช่วง 250-1100 nm รูปที่ 6.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เมื่ออัตราส่วนผสม x ค่าต่างๆเมื่อค่า x เพิ่มขึ้นขอบการดูดกลืนจะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สั้นลง ส่วนรูปที่ 6.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางที่อัตราส่วนผสม $x=0.7$ ขอบการดูดกลืนพื้นฐาน (absorption edge) จะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่มากขึ้นตามการเพิ่มอุณหภูมิของการแอนนีกัล ในช่วงอุณหภูมิแอนนีกัล 100-300°C แต่ถ้าอุณหภูมิแอนนีกัล 300°C ขอบการดูดกลืนพื้นฐานจะเลื่อนกลับไปยังความยาวคลื่นที่สั้นลง ในทำนองเดียวกันที่อัตราส่วนผสมของ Zn ค่าอื่นๆ ขอบการดูดกลืนพื้นฐานจะเลื่อนไปยังความยาวคลื่น ที่มากขึ้นตามอุณหภูมิแอนนีกัลที่เพิ่มขึ้น

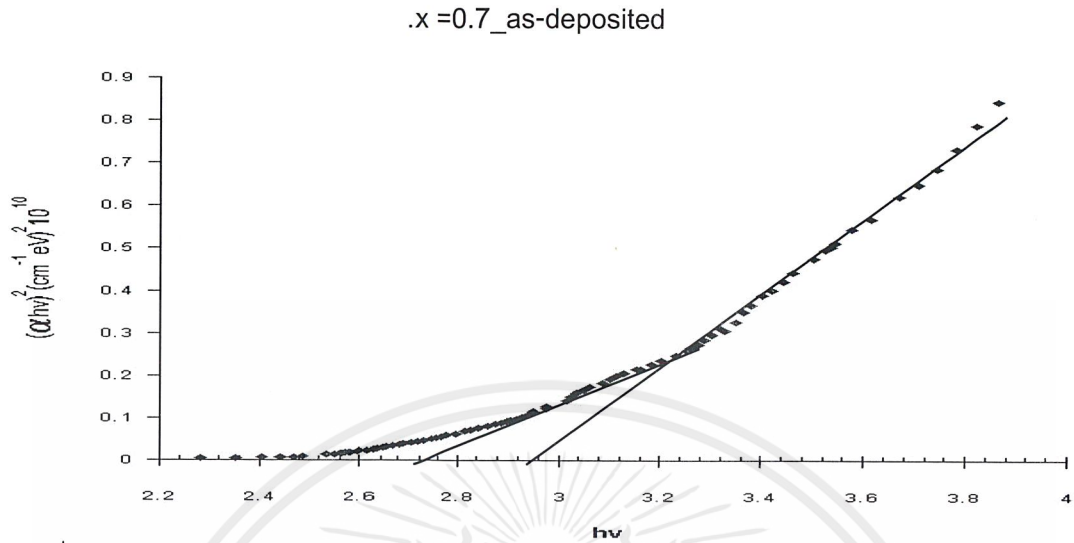


รูปที่ 6.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เมื่อ อัตราส่วนของ Zn ที่ $x=0.2,0.4,0.6,0.7,0.8,0.9,0.95,1.0$ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล

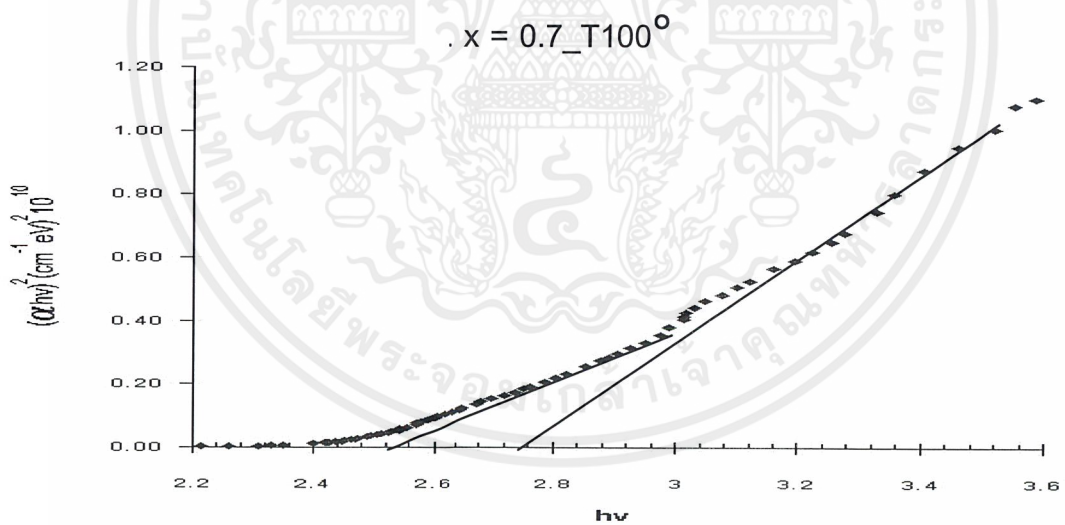


รูปที่ 6.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงมีเท่ากับ 300-1100 nm ของฟิล์มบางของ Zn ที่ $x=0.7$ ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

จากกราฟการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง ทำให้สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (α) แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนกำลังสอง $(\alpha h\nu)^2$ กับพลังงานโฟตอน ($h\nu$) และจากกราฟดังกล่าวนี้นำมาหาค่าของขนาดช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ได้ โดยในการหาค่าของขนาดช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) นี้ หาได้โดยการลากเส้นตรงหาค่าคาตัดหมาย (extrapolation) ของส่วนกราฟที่เป็นเชิงเส้นไปตัดกับแกนพลังงานโฟตอน ($h\nu$) จุดตัดที่ได้คือค่าของขนาดช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบางของ Zn=0.7 ซึ่งในการหาค่าของขนาดช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ซึ่งจะพบค่าขนาดช่องว่างแถบพลังงาน 2 ค่า ดังรูปที่ 6.10 - 6.16 เมื่อมีการแอนนีสที่ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 100-300 °C จะมีค่าของขนาดช่องว่างแถบพลังงานลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิการแอนนีสเพิ่มเป็น 400-500 °C ขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน จะแนวโน้มค่าเพิ่มขึ้นดังปรากฏในตารางที่ 6.2 อีกทั้งยังพบว่าฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่ยังไม่มีการแอนนีส เมื่อทำการเจือ Zn ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (ค่า x เพิ่มขึ้น) ค่าของขนาดช่องว่างแถบพลังงานจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยโดยค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 2.55-3.67 eV และอีกค่าหนึ่งจะอยู่ในช่วง 2.46-3.48 eV โดยทั้งสองค่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันดังปรากฏในตารางที่ 6.3

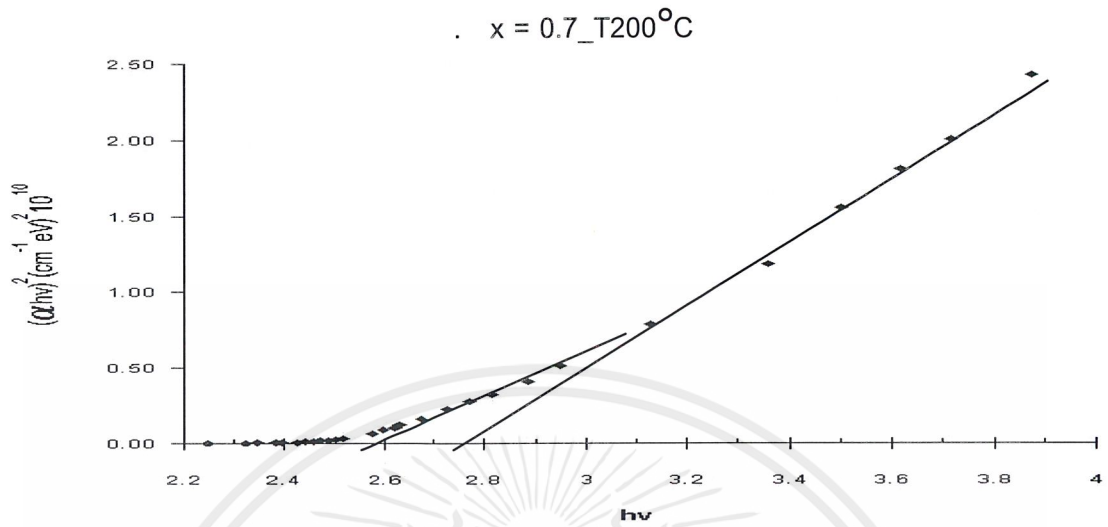


รูปที่ 6.10 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับพลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล

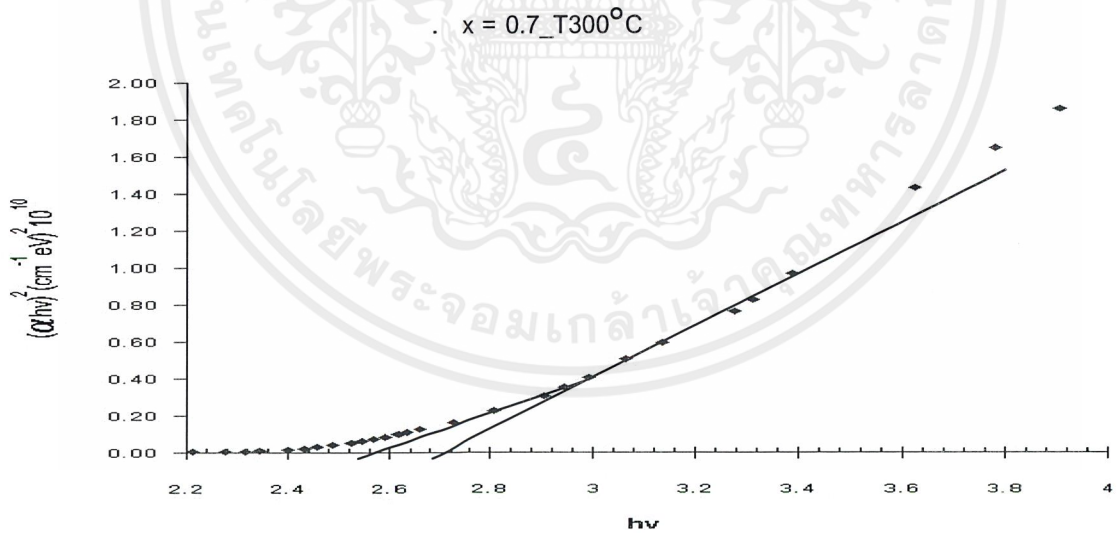


รูปที่ 6.11 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับพลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

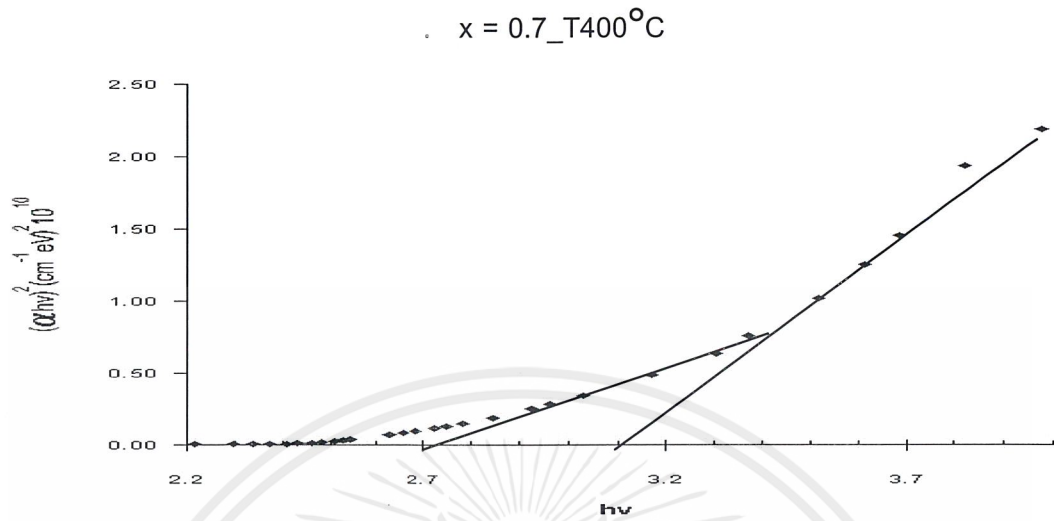


รูปที่ 6.12 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับพลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

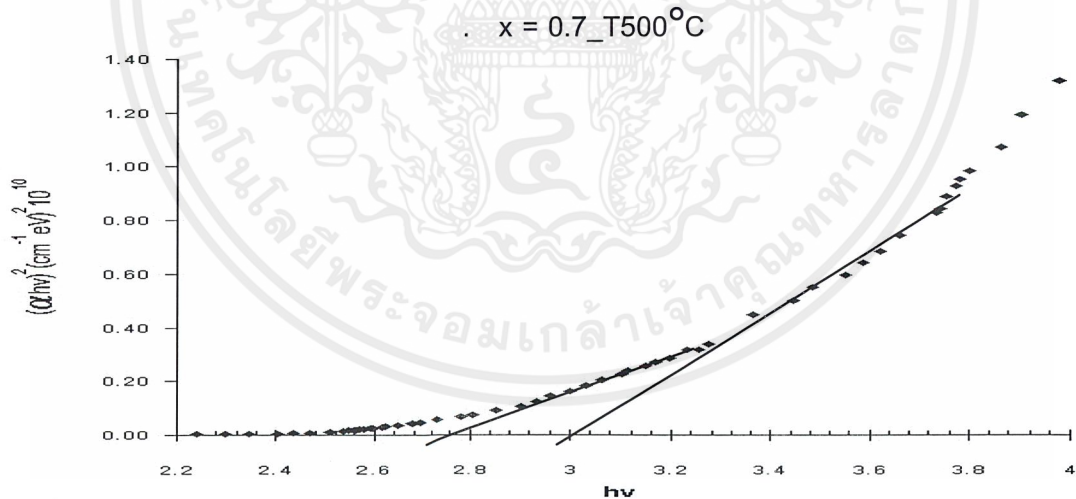


รูปที่ 6.13 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับพลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

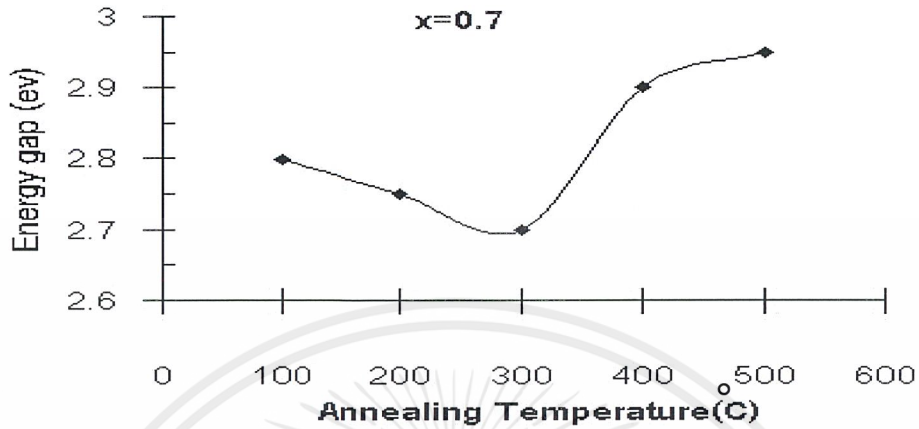
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.14 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับพลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 6.15 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับพลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 6.16 กราฟแสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน(E_g) ของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิแอนนีย์ล

ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางที่ $x=0.7$ ทั้งกรณีไม่มีการแอนนีย์ลและมีการแอนนีย์ลที่อุณหภูมิ $100-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

อุณหภูมิที่แอนนีย์ล($^{\circ}\text{C}$)	ค่าช่องว่างแถบพลังงาน(E_g) (eV)
as-deposited	2.74 , 2.95
100	2.56 , 2.80
200	2.55 , 2.75
300	2.70 , 2.70
400	2.70 , 2.90
500	2.75 , 2.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าช่องว่างแถบพลังงาน(หน่วยเป็น eV) ของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่อัตราส่วนผสมของZnค่าต่างๆ และที่อุณหภูมิแอนนีสลต่างๆ

อัตราส่วน ผสมของZn (x)	as deposited	อุณหภูมิแอนนีสล(°C)				
		100	200	300	400	500
CdS	2.46	2.43	2.41	2.29	2.32	2.33
0.20	2.46 / 2.55	2.38/ 2.44	2.34/ 2.40	2.35/ 2.36	2.40/ 2.50	2.42/ 2.60
0.40	2.46 / 2.62	2.45/ 2.60	2.45/ 2.54	2.44/ 2.52	2.45/ 2.68	2.40/ 2.70
0.60	2.70 / 2.90	2.65/ 2.80	2.70/ 2.78	2.71/ 2.75	2.70/ 2.85	2.72/ 2.90
0.70	2.74 / 2.95	2.56/ 2.75	2.55/ 2.72	2.75/ 2.70	2.70/ 3.10	2.75/ 2.95
0.80	2.79 / 3.30	2.80/ 3.10	2.68/ 3.00	2.70/ 2.80	2.80/ 2.84	2.80/ 3.10
0.90	3.20 / 3.48	3.32/ 3.44	3.22/ 3.44	3.00/ 3.36	3.15/ 3.40	3.24/ 3.48
0.95	3.28 / 3.52	3.32/ 2.48	3.44/ 3.52	3.30/ 3.40	3.45/ 3.60	3.54/ 3.68
1.00	3.48 / 3.64	3.48/ 3.60	3.48/ 3.60	3.40/ 3.58	3.48/ 3.64	3.48/ 3.66

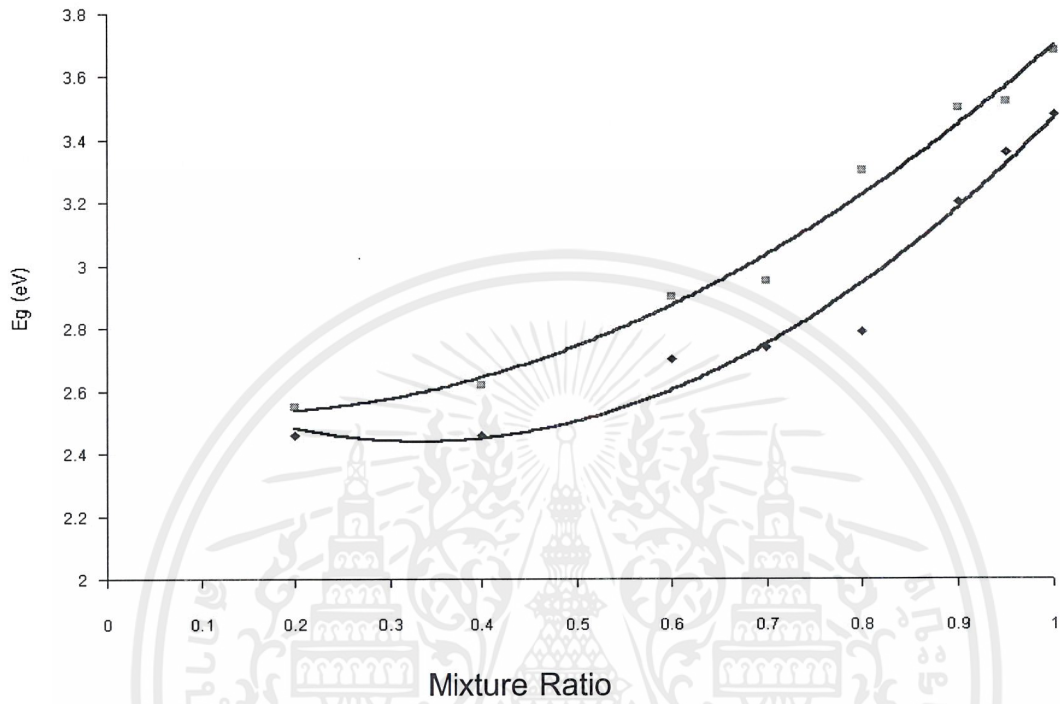
ค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่ยังไม่ได้แอนนีสลจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของ Zn ค่าต่างๆ แต่สำหรับที่ส่วนผสมค่าใดค่าหนึ่ง ช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ มี 2 ค่า ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโมเมนตัมออร์บิทัล กับ โมเมนตัม สปินของอิเล็กตรอน (spin-orbit splitting) ส่งผลให้ขอบบนสุดของแถบวาเลนซ์แยกออกเป็น 2 ระดับพลังงาน [13] ค่าช่องว่างแถบพลังงานจึงเป็นผลต่างของแถบนำกับระดับพลังงานที่ทั้งสองของแถบวาเลนซ์ สำหรับรูปที่ 6.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง E_g กับอัตราส่วนผสมต่างๆ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$E_g = 1.33x^2 - 0.13x + 2.47$$

และ $E_g + \Delta S_0 = 2.31x^2 - 1.54x + 2.69$

เมื่อ ΔS_0 คือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการอันตรกิริยาระหว่างโมเมนตัมออร์บิทัลกับโมเมนตัมสปิน ของอิเล็กตรอน พารามิเตอร์ของความโค้ง (bowing parameters) จากกราฟรูปที่ 6.17 มีค่าเท่ากับ 1.33 และ 2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

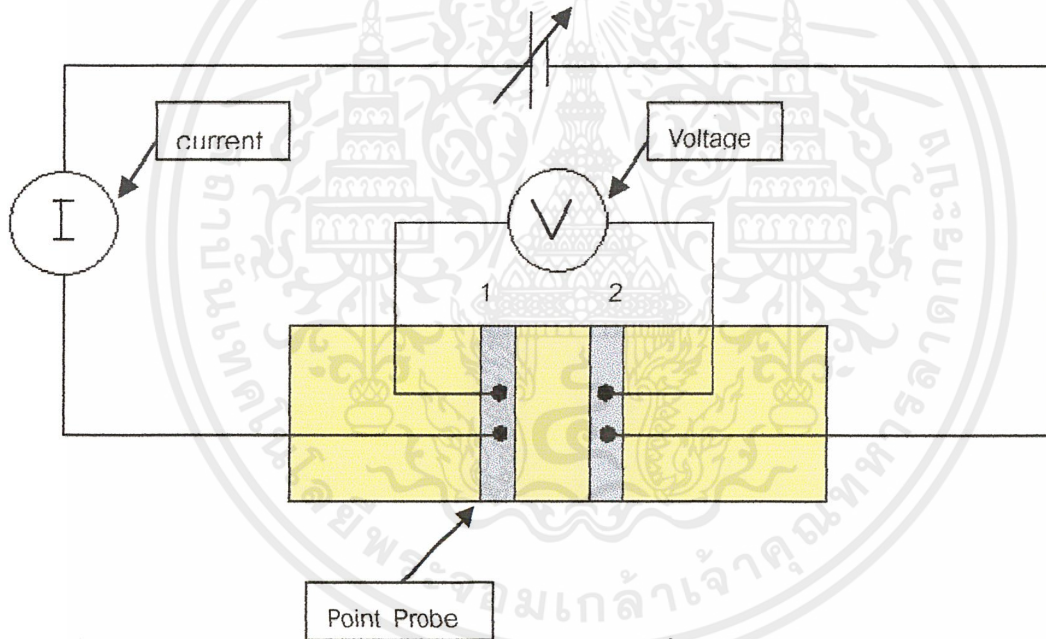


รูปที่ 6.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) กับ อัตราส่วนผสม (x) ของ Zn ค่าต่างๆฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล

6.6 วิธีการทดลองและผลการทดลองวัดค่าความต้านทานแผ่น

อุปกรณ์

- 1) กาวเงินนำไฟฟ้า
- 2) แบตเตอรี่ 9 V จำนวน 10 ก้อน
- 3) หลอดไฟไอปรอทความดันสูงกำลังไฟฟ้า 500 W
- 4) อิเล็กโตรมิเตอร์ Keithley 610 CR
- 5) กล้องโพลหะลดสัญญาณรบกวน
- 6) มัลติมิเตอร์



รูปที่ 6.18 แสดงการวัดหาความต้านทานแผ่นโดยวิธีสองขั้ว

6.6.1 วิธีการทดลอง

- 1) นำฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ $x = 0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 1.0$

ตามลำดับ ทั้งกรณีเมื่อมีการแอนนัลและไม่มีแอนนัลที่อุณหภูมิ $100-500^{\circ}C$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที นำมาทำรอยต่อโดยใช้กาวเงินนำไฟฟ้าแต้มลงบนผิวหน้าของฟิล์มบางโดยแบ่งระยะห่างจุดที่แต้มให้เท่ากันจำนวน 2 จุดหรือ 2 เส้นขนานกันเพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ต่อวงจรดังรูป 6.17 โดยให้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงต่อที่ขั้วที่ 1 และ 2 แล้วใช้โวลต์มิเตอร์วัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมที่ขั้ว 1 และ 2 เช่นเดียวกันแล้วใช้อิเล็กโตรมิเตอร์วัดกระแสที่แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจ่ายให้กับวงจร
- 3) นำแผ่นชิ้นงานใส่แผ่นกล่องโลหะเพื่อลดสัญญาณรบกวนทำการจ่ายแรงดันให้กับวงจรโดยใช้แบตเตอรี่ก้อน จำนวน 10 ก้อน ต่ออนุกรมกัน แล้วบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมที่ขั้วที่ 1 และ 2 ด้วยโวลต์มิเตอร์และบันทึกค่ากระแสที่ไหลภายในวงจรจากเครื่องอิเล็กโตรมิเตอร์วัดค่ากระแสได้ในช่วงค่า $10^{-6} - 10^{-11}$ A
- 4) เพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับวงจร โดยการเปลี่ยนแรงดันจากแบตเตอรี่ 1 ก้อนซึ่งมีค่าประมาณ 9 V เป็นแบตเตอรี่ 2 ก้อน ต่ออนุกรมกันทำให้แรงดันเปลี่ยนเป็น 18 V เปลี่ยนจนกระทั่งแบตเตอรี่ต่ออนุกรมกันครบ 10 ก้อน จะทำให้มีค่าแรงดันเป็น 90V ซึ่งในการเพิ่มแบตเตอรี่แต่ละครั้งจะทำให้ค่ากระแสที่ไหลในวงจรมีค่ามากขึ้น แล้วทำการบันทึกค่าความต่างศักย์และกระแส โดยทำการวัดค่าความต้านทานและกระแสประมาณ 10 ค่า
- 5) นำชิ้นสารตัวอย่างออกจากกล่องโลหะ และนำไปฉายแสงจากหลอดไฟไอปรอทความดันสูงด้วยความเข้ม 21,000 ลักซ์ ให้กับฟิล์มบาง โดยแหล่งจ่ายแรงดันยังคงเป็นแบตเตอรี่ก้อนและทำการวัดโวลต์ด้วยโวลต์มิเตอร์และทำการวัดกระแสด้วยอิเล็กโตรมิเตอร์
- 6) นำข้อมูลที่ได้อามาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์โดยให้กระแสเป็นแกน x และให้ค่าความต่างศักย์เป็นแกน y
- 7) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและความต่างศักย์ สามารถที่จะหาค่าความต้านทานของฟิล์มบางได้จากสมการ

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

เมื่อ w = ความกว้างของฟิล์มบาง

L = ระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1 และ 2

V/I = ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับค่าความต่างศักย์

6.6.2 ผลการทดลองวัดความต้านทานแผ่น

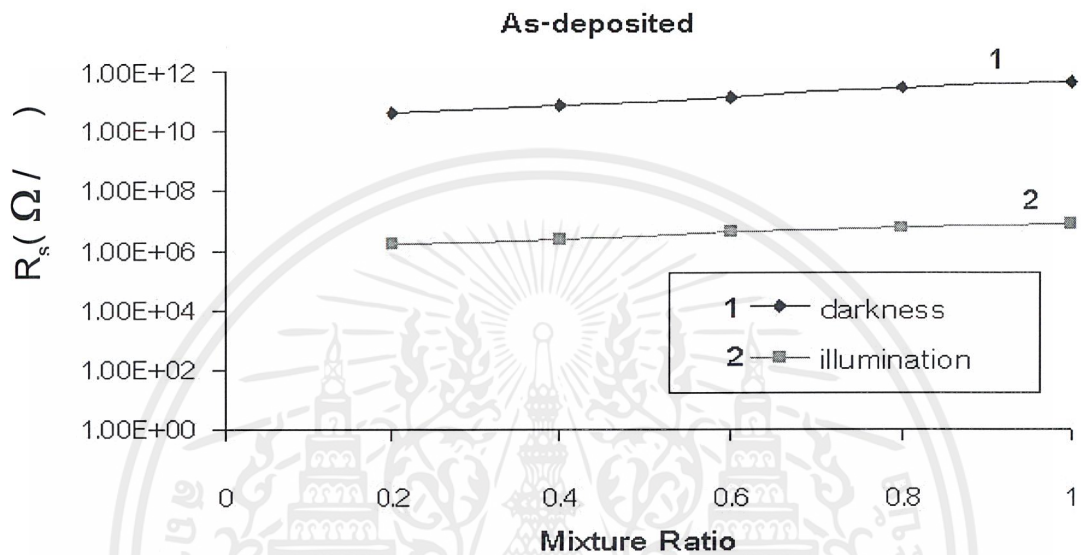
พิจารณารูปที่ 6.19 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนีสลของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสมของของ Zn ที่ $x = 0.7$ ที่เตรียมได้เมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100 - 500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที ขณะไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงด้วยหลอดไฟที่บรรจุไอปรอทความดันสูงกำลังไฟฟ้า 500 W ซึ่งจะพบว่าเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิแอนนีสล 200-300 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที เมื่ออุณหภูมิแอนนีสลสูงขึ้นจะส่งผลให้ขนาดของเกรนใหญ่ขึ้นซึ่งจะทำให้จำนวนขอบเขตเกรนลดลงจึงทำให้สภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง [4,11,14] และจะมีค่าความต้านทานแผ่นต่ำที่สุดที่อุณหภูมิแอนนีสลประมาณ 300 °C

เมื่ออุณหภูมิแอนนีสลมีค่าสูงกว่า 300 °C ค่าความต้านทานแผ่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะตอมในฟิล์มบางเป็นระเบียบมากขึ้น ปริมาณของอะตอมแคดเมียมและซัลเฟอร์ใกล้เคียงสโตยคิโอเมตตรีดีขึ้น[14,17]แต่เมื่อฉายแสงจากหลอดที่บรรจุไอปรอทความดันสูงซึ่งพลังงานส่วนใหญ่อยู่ในย่านอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งสามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ให้เคลื่อนย้ายไปยังแถบนำอิเล็กตรอนอิสระจะเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานแผ่นลดลง

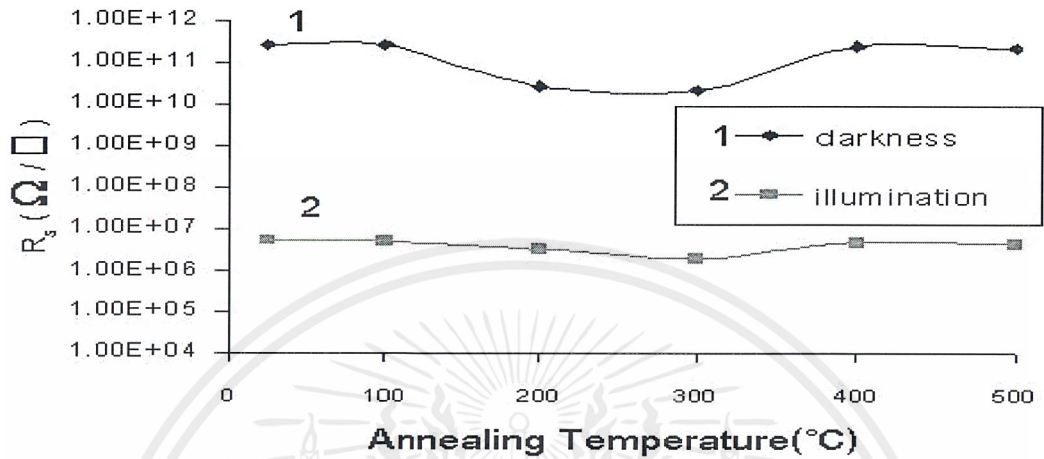
รูปที่ 6.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ กับอัตราส่วนผสมของ Zn เมื่อ $x = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ ตามลำดับและตารางที่ 6.4 แสดงค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางที่อัตราส่วนผสมต่างๆทั้งที่ไม่ได้แอนนีสลและแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100 - 500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลานาน 20 นาที

เมื่อไม่มีการแอนนีสลและมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400, 500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที ขณะไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสง จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนผสมของ Zn ใน $Cd_{1-x}Zn_xS$ มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแผ่นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากพันธะระหว่าง Zn กับ S สูงกว่าพันธะ Cd กับ S จึงทำให้ช่องว่างแถบพลังงานของ ZnS สูงกว่า CdS ดังนั้นจำนวนอิเล็กตรอนและโฮลอิสระซึ่งมีจำนวนน้อยลงตาม

ปริมาณของZnที่เพิ่มขึ้นการตอบสนองต่อแสงจะมีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้นซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากจำนวนแวนเดอวาล์วที่ลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kuhaimi และ Tulbah[13]



รูปที่ 6.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ x ค่าต่างๆของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล ขณะไม่มีการฉายแสงและฉายแสง



รูปที่ 6.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนัลของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ $X = 0.7$ ที่เตรียมได้เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที ขณะไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสง

ตารางที่ 6.5 แสดงค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ $x = 0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 1.0$ ที่ไม่ได้แอนนีกและที่แอนนีกที่อุณหภูมิต่างๆภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาทีที่ทั้งกรณีไม่ฉายแสงและฉายแสง

อุณหภูมิแอนนีก (°C)	R_s (Ω / \square) $Cd_{1-x}Zn_xS$							
	x=0.2		x=0.4		x=0.6		x=0.7	
	ไม่ฉายแสง	ฉายแสง	ไม่ฉายแสง	ฉายแสง	ไม่ฉายแสง	ฉายแสง	ไม่ฉายแสง	ฉายแสง
80	4.3E+10	1.7E+06	7.6E+10	2.4E+06	1.3E+11	4.4E+06	2.6E+11	5.3E+06
100	3.0E+10	1.6E+06	6.9E+10	2.3E+06	1.2E+11	3.9E+06	2.5E+11	5.0E+06
200	2.2E+10	1.0E+06	2.4E+10	1.7E+06	2.5E+10	2.5E+06	2.7E+10	3.2E+06
300	1.3E+10	8.6E+05	1.4E+10	9.5E+05	1.5E+10	1.4E+06	2.1E+10	1.9E+06
400	4.5E+10	1.8E+06	9.7E+10	2.1E+06	2.0E+11	3.8E+06	2.4E+11	4.7E+06
500	4.1E+10	1.7E+06	8.1E+10	2.0E+06	1.6E+11	3.5E+06	2.1E+11	4.3E+06

อุณหภูมิแอนนีก (°C)	R_s (Ω / \square) $Cd_{1-x}Zn_xS$							
	x=0.8		x=0.9		x=0.95		x=1.0	
	ไม่ฉายแสง	ฉายแสง	ไม่ฉายแสง	ฉายแสง	ไม่ฉายแสง	ฉายแสง	ไม่ฉายแสง	ฉายแสง
80	2.9E+11	5.9E+06	3.5E+11	6.4E+06	4.0E+11	7.0E+06	4.8E+11	7.6E+06
100	2.8E+11	5.7E+06	3.0E+11	6.3E+06	3.4E+11	6.9E+06	4.1E+11	7.2E+06
200	3.4E+10	4.3E+06	4.7E+10	5.5E+06	5.7E+10	6.0E+06	6.6E+10	6.8E+06
300	3.1E+10	2.1E+06	4.2E+10	3.2E+06	4.8E+10	3.9E+06	5.8E+10	4.2E+06
400	3.1E+11	5.3E+06	3.4E+11	6.3E+06	4.1E+11	6.8E+06	4.6E+11	7.5E+06
500	3.0E+11	5.2E+06	3.3E+11	6.1E+06	4.1E+11	6.7E+06	4.5E+11	7.4E+06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในโครงการวิจัยนี้ เป็นการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์ $Cd_{1-x}Zn_xS$ โดยที่มีอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ $x = 0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 1.0$ โดยใช้เทคนิคการอบสารละลายเคมีซึ่งปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ $[CdSO_4 \cdot 8/3H_2O] + [ZnSO_4 \cdot 7H_2O]$, $SC(NH_2)_2$, NH_3 และ N_2H_5OH โดยมีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ 0.05 โมลาร์ 1.5 โมลาร์ และ 2.5 โมลาร์ ตามลำดับ ถูกนำมาทำปฏิกิริยากันในปิกเกอร์ขนาด 200 ml ซึ่งมีน้ำปอลดประจุ 100 ml แล้วเท $[CdSO_4 \cdot 8/3H_2O] + [ZnSO_4 \cdot 7H_2O]$ ซึ่งทำละลายใน NH_3 ลงก่อน แล้วจึงเท $SC(NH_2)_2$ ที่ละลายในน้ำปอลดประจุลงไป สุดท้ายยเทสารละลายไฮดรอกไซด์ N_2H_5OH ที่เตรียมไว้ตามลงไปจากนั้นเติมน้ำปอลดประจุจนมีปริมาตรรวมให้ได้ 150 ml ค่า pH ประมาณ 11.6 และควบคุมอุณหภูมิภายในอ่างให้ได้ $80^\circ C$ ทำการหมุนแท่นยึดแผ่นรองรับตลอดเวลาด้วยอัตราเร็ว 60 รอบต่อนาที จากนั้นนำฟิล์มบางที่เตรียมได้ตามเงื่อนไขต่างๆ ทำการแอนนिलที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400, 500 $^\circ C$ ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที ฟิล์มบางของ $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่เตรียมได้จะมีลักษณะสีเหลืองส้มโปร่งแสง

เมื่อทำการแอนนिलที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้สีของฟิล์มบางเข้มมากขึ้น สีของฟิล์มบางจะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้มจนเป็นถึงสีส้มๆ และความเป็นมันวาวลดลง ซึ่งอาจจะเกิดเนื่องจากอะตอมของซัลเฟอร์ระเหิดออกจากผิวหน้าของฟิล์มบาง ส่วนในขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยานั้นพบว่า เมื่ออัตราส่วนผสมของ Zn ที่ x เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้าลง สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของสารละลาย โดยเริ่มแรกจะเป็นสีเขียวขุ่นเปลี่ยนเป็นสีเขียวเขียวอ่อนและเป็นสีเหลืองในขั้นตอนสุดท้าย พบว่าเกิดเกล็ดสีขาวลอยอยู่ด้านบนของสารละลายจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมของ Zn ที่ x มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยคาดว่าเกล็ดสีขาวเกิดจากอะตอมของ ZnS หรือ $Zn(OH)_2$ [18,19]

เมื่อทำการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบางที่เตรียมได้เชิงจุลภาค ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ สังเกตพบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้เมื่อไม่มีการแอนนिलเป็นโครงสร้างแบบคิวบิกสำหรับฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีปริมาณของ Zn เท่ากับ 20% ผลึกพหุพันธ์ส่วนใหญ่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิแอนนिलให้สูงขึ้น ความเข้มพีค(111)C จะเพิ่มขึ้นแต่เมื่ออุณหภูมิแอนนिलสูงกว่า $400^\circ C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะปรากฏพีคของการเลี้ยวเบนเพิ่มขึ้นที่ (100)H, (002)H, และ (101)H ซึ่งพีคของระนาบการเลี้ยวเบนจะสอดคล้องกับโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล แสดงว่าฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีปริมาณของZnเท่ากับ 20% เมื่อไม่มีการแอนเนลมีโครงสร้างแบบคิวบิกแต่เมื่ออุณหภูมิแอนเนลเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 400 °C พบว่าโครงสร้างผลึกเปลี่ยนจากโครงสร้างแบบคิวบิกเป็นโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล และสำหรับฟิล์มบางที่ปริมาณซิงค์(Zn) มากกว่า 20% ความเข้มของพีคระนาบ(111)C หรือ(002)Hมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากขนาดของเกรนลดลง และเมื่อ $x > 0.7$ ฟิล์มบางที่ไม่ได้แอนเนล จะไม่ปรากฏพีคการเลี้ยวเบน ซึ่งแสดงถึงความเป็นอะมอร์ฟัส เมื่อฟิล์มบางที่มีอัตราผสม $x \leq 0.7$ และไม่ได้แอนเนลมีโครงสร้างแบบคิวบิกแต่เมื่ออุณหภูมิแอนเนลเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 400 °C พบว่าโครงสร้างผลึกเปลี่ยนจากโครงสร้างแบบคิวบิกเป็นโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล ในทำนองเดียวกับที่พบในฟิล์มบางที่มีปริมาณของZn เท่ากับ 20% แต่เมื่อ $x > 0.7$ อุณหภูมิแอนเนลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟสจะสูงกว่า 400 °C

เมื่อนำฟิล์มบางที่ได้ไปศึกษาการส่งผ่านของแสงพบว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน(E_g) มีค่าเปลี่ยนไป ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแอนเนลขนาดของช่องว่างแถบพลังงานที่เปลี่ยนไปดังกล่าวอาจเกิดมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้[14]

- (ก) ช่องว่างแถบพลังงานของโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันย่อมมีค่าต่างกัน
- (ข) อะตอมต่างๆอยู่ผิดตำแหน่ง(disorder)จะเกิดส่วนหางของแถบพลังงาน(band tail)
- (ค) ผลของขนาดควอนตัม(quantum size effect)หรือขนาดของเกรน

ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 300 °C หรือ 400 °C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิแอนเนลจะส่งผลของขนาดของควอนตัมมีค่าน้อยหรือขนาดของเกรนโดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น ซึ่งในกรณีที่ฟิล์มยังไม่ได้แอนเนล ช่องว่างแถบพลังงานมีค่ามากที่สุด เนื่องจากฟิล์มบางมีเกรนขนาดเล็กมากจนกระทั่งผลของขนาดควอนตัมปรากฏออกมาให้เห็น (ส่วนเหตุผล ข้อ (ก) และข้อ (ข) ดูเหมือนจะไม่สอดคล้องกับผลของการทดลองที่ได้) อุณหภูมิของการเปลี่ยนเฟสจากดิสออร์เดอร์เป็นออร์เดอร์หรือจากโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกเป็นโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล จะเกิดที่ อุณหภูมิ 300 °C หรือ 400 °C และที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิดังกล่าว อะตอมต่างๆ จะอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ลดปัญหาจากส่วนหางของแถบพลังงาน ซึ่งก็คือ ช่องว่างแถบพลังงานจะเพิ่มขึ้นแม้ว่าผลต่างของช่องว่างแถบพลังงานของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกกับโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลยังไม่ทราบแน่ชัด[14] แต่เป็นไปได้ว่าช่องว่างแถบพลังงานของโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลมีค่ามากกว่าโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกทั้ง CdS และ $Cd_{1-x}Zn_xS$

แต่สำหรับที่ส่วนผสมค่าใดค่าหนึ่ง ช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ มี 2 ค่า ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโมเมนต์ออร์บิทัล กับ โมเมนต์ สปินของอิเล็กตรอน (spin-orbit splitting) ส่งผลให้ขอบบนสุดของแถบวาเลนซ์แยกออกเป็น 2 ระดับพลัง [4] ค่าช่องว่างแถบพลังงานจึงเป็นผลต่างของแถบนำกับระดับพลังงานที่ทั้งสองของแถบวาเลนซ์

ความต้านทานแผ่นวัดโดยวิธีสองขั้วเชิง พบว่าเมื่ออุณหภูมิแอนนีสเพิ่มขึ้นความต้านทานแผ่นมีแนวโน้มลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิแอนนีสประมาณ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากนั้นความต้านทานแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้มีการรายงานไว้ [4,11] ความต้านทานแผ่นอาจจะขึ้นกับปัจจัยอย่างน้อย 3 ประการ โดยประการแรกคือแวนเดอวาล์วของอะตอมซัลเฟอร์ ประการที่สองคือ การที่อะตอมอยู่ผิดตำแหน่ง และประการที่สามคือผลของควอนตัมหรือขนาดของเกรน เมื่ออุณหภูมิแอนนีสเพิ่มขึ้นเกรนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นจำนวนขอบเขตของเกรนจึงลดลง ทำให้อิเล็กตรอนหรือโฮลไหลได้สะดวกขึ้น ส่วนอะตอมที่อยู่ผิดตำแหน่ง จะส่งผลให้ความต้านทานแผ่นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเหตุผลดังกล่าวนี้จะสอดคล้องเมื่ออยู่ในช่วงแอนนีสที่อุณหภูมิต่ำกว่า $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ สำหรับช่วงอุณหภูมิสูงกว่า $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ค่าความต้านทานแผ่นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากฟิล์มบางมีความเป็นสโตยคิโอมेटรีตีขึ้น[20] แต่เมื่อฉายแสงจากหลอดไอปรอท ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่อยู่ในย่านอัลตราไวโอเล็ตจึงสามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ให้เคลื่อนย้ายไปยังแถบนำ ดังนั้นอิเล็กตรอนอิสระจะเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานแผ่นลดลง

ส่วนในกรณีที่อัตราส่วนผสม x เพิ่มขึ้น ทั้งขณะไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงจะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนผสมของ Zn ใน $Cd_{1-x}Zn_xS$ มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแผ่นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากพันธะระหว่าง Zn กับ S สูงกว่าพันธะ Cd กับ S จึงทำให้ช่องว่างแถบพลังงานของ ZnS สูงกว่า CdS ดังนั้นจำนวนอิเล็กตรอนและโฮลอิสระจึงมีจำนวนน้อยลงตามปริมาณของซิงค์ที่เพิ่มขึ้นการตอบสนองต่อแสงจะมีค่าลดลง

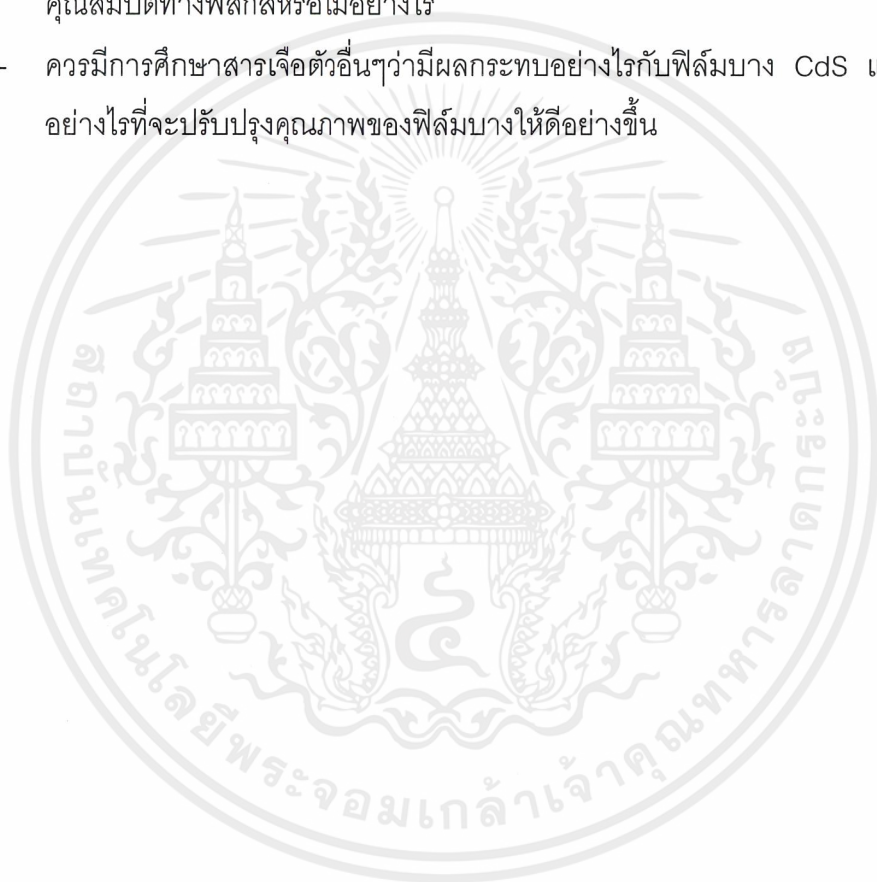
ปัญหาและข้อเสนอนแนะ

ในการเตรียมฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ โดยวิธีการออบสารละลายเคมี พบเทคนิคบางประการที่สามารถนำไปปรับปรุง การทดลองเพื่อให้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุด ปัญหาและข้อเสนอนแนะมีดังนี้

- คุณภาพของฟิล์มบาง ขึ้นอยู่กับการกัดผิวหน้าของกระจกสไลด์ด้วยกรด HF เจือจาง ดังนั้นเวลากัดผิวหน้าต้องระวังไม่ให้กระจกสไลด์ชื้นจนทั่บกัน มิฉะนั้นกระจกสไลด์จะถูกกัดไม่สม่ำเสมอทั่วแผ่น
- ไม่ควรให้ผิวหน้าของกระจกสไลด์สัมผัสกับสิ่งต่างๆ เพราะจะทำให้บริเวณผิวหน้าของกระจกสกปรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ควรปรับความเร็วของมอเตอร์ที่หมุนแทนจับแผ่นกระจกสไลด์ให้มีความเร็วที่คงที่ เพราะถ้าความเร็วไม่คงที่แล้วอาจส่งผลต่อการจับตัวของฟิล์มบางและการไม่เกิดปฏิกิริยาภายในปิกเกอร์
- ควรใช้สารละลายไฮดราซีเนียมไฮดรอกไซด์(N_2H_5OH)ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของ Zn ในฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$
- ควรมีการศึกษาผลของการแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซอื่นๆ เช่น Ar, H_2S ว่ามีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์หรือไม่อย่างไร
- ควรมีการศึกษาระเจ็ดตัวอื่นๆว่ามีผลกระทบอย่างไรกับฟิล์มบาง CdS และมีวิธีการอย่างไรที่จะปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มบางให้ดียิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 49-1302		Radiation = 1.540598		Quality : High		
(Cd _{0.8} Zn _{0.2})S		2θ	I	h	k	l
Cadmium Zinc Sulfide		24.836	69	1	0	0
		26.527	48	0	0	2
		28.204	100	1	0	1
		36.649	27	1	0	2
		43.738	45	1	1	0
		47.870	39	1	0	3
		50.926	6	2	0	0
		51.873	31	1	1	2
		52.854	19	2	0	1
		54.628	3	0	0	4
		58.300	3	2	0	2
		60.881	2	1	0	4
		66.839	10	2	0	3
		69.325	4	2	1	0
		70.932	7	2	1	1
		72.442	4	1	1	4
		75.529	8	1	0	5
Lattice : Hexagonal		Mol. weight = 135.06				
S.G. : P63mc (186)		Volume [CD] = 99.56				
a = 4.13750		Dx = 4.505				
c = 6.71580		Z = 2				
<p>SAMPLE PREPARATION : Cd Cl₂ , Zn Cl₂ and thiourea were mixed in an alkaline solution, which was heated to 85 C and stirred for 30 minutes. The precipitate was filtered, dried, ground and heated at 300 C for 2 hours under nitrogen, then 800 C for 2 hours under nitrogen.</p> <p>UNIT CELL DATA : Reference reports: a=4.14, c=6.716.</p> <p>GENERAL COMMENTS : Cell parameters generated by least squares refinement.</p>						

Pattern : 40-836		Radiation = 1.540598		Quality : Not indexed		
Cd _{7.23} Zn _{2.77} S ₁₀		2θ	I	h	k	l
Cadmium Zinc Sulfide		25.502	51	1	0	0
		27.081	100	0	0	2
		28.776	43	1	0	1
		37.442	5	1	0	2
		44.833	61	1	1	0
		48.902	10	1	0	3
		52.230	2	2	0	0
		55.696	4	0	0	4
		120.554	2	3	1	3
		148.985	2	3	0	6
Lattice : Hexagonal		Mol. weight = 1314.43				
S.G. : P63mc (186)		Volume [CD] = 93.21				
a = 4.04200		Dx = 4.683				
c = 6.58800		Z = 0				
<p>COLOR : Yellow</p> <p>GENERAL COMMENTS : Pigment.</p> <p>SAMPLE PREPARATION : Mixed sulfide of desired composition was precipitated by reaction of water solution of Cd (NO₃)₂ containing zinc ions with solution of BaS containing excess sulfur. The precipitate was filtered, dried and ground and subsequently calcined in an inert or reducing atmosphere at a minimum temperature of 400 C.</p> <p>GENERAL COMMENTS : 27.7 mole % ZnS.</p> <p>GENERAL COMMENTS : The introduction of ZnS into CdS forms a solid solution with concomitant variations of lattice constants that obey the following empirical relationship: a=4.131-0.00134 P; s=0.003, c=6.713-0.00458 P; s=0.004, where P=mole % ZnS, s=standard deviation.</p>						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 40-835

Radiation = 1.540598

Quality : Not indexed

Cd _{0.05} Zn _{1.95} S ₁₀		2th	l	h	k	l
Cadmium Zinc Sulfide		25.208	89	1	0	0
		26.914	90	0	0	2
		28.587	100	1	0	1
		37.281	18	1	0	2
		44.370	76	1	1	0
		48.624	36	1	0	3
		51.847	10	2	0	0
		55.404	3	0	0	4
		118.784	3	3	1	3
		146.514	3	3	0	6
		147.575	2	3	2	1
		156.350	3	3	1	5
Lattice : Hexagonal		Mol. weight = 1352.99				
S.G. : P63mc (186)		Volume [CD] = 94.94				
a = 4.06900	Z = 0	Dx = 4.733				
c = 6.62100						
<p>COLOR : Yellow GENERAL COMMENTS : Pigment. SAMPLE PREPARATION : Mixed sulfide of desired composition was precipitated by reaction of water solution of Cd (N O3)2 containing zinc ions with solution of BaS containing excess sulfur. The precipitate was filtered, dried and ground and subsequently calcined in an inert or reducing atmosphere at a minimum temperature of 400 C. GENERAL COMMENTS : 19.5 mole % ZnS. GENERAL COMMENTS : The introduction of ZnS into CdS forms a solid solution with concomitant variations of lattice constants that obey the following empirical relationship: $a=4.131-0.001314 P$; $s=0.003$, $c=6.173-0.00458 P$; $s=0.004$, where P=mole % ZnS, s=standard deviation.</p>						

Pattern : 24-1137

Radiation = 1.540598

Quality : Deleted

Zn _{0.9} Cd _{0.1} S		2th	l	h	k	l
Sphalerite, cadmian, syn / Zinc Cadmium Sulfide		28.466	100	1	1	1
		32.952	10	2	0	0
		47.280	50	2	2	0
		56.103	30	3	1	1
		58.806	2	2	2	2
		69.115	5	4	0	0
		76.372	10	3	3	1
		78.690	2	4	2	0
		87.989	10	4	2	2
		94.855	6	5	1	1
		106.559	3	4	4	0
		113.900	5	5	3	1
Lattice : Face-centered cubic		Mol. weight = 102.14				
S.G. : F-43m (216)		Volume [CD] = 160.46				
a = 5.43400	Z = 4	Dx = 4.228				
		I/cor = 6.40				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 24-1136		Radiation = 1.540598		Quality : Deleted		
Zn _{0.9} Cd _{0.1} S		2th	I	h	k	l
Wurtzite, cadmian, syn / Zinc Cadmium Sulfide		26.832	100	1	0	0
		26.383	65	0	0	2
		30.389	100	1	0	1
		39.402	40	1	0	2
		47.280	70	1	1	0
		51.502	65	1	0	3
		55.187	10	2	0	0
		56.066	45	1	1	2
		57.246	15	2	0	1
		58.683	1	0	0	4
		63.204	8	2	0	2
		65.651	1	1	0	4
		72.481	20	2	0	3
		75.586	8	2	1	0
		77.326	10	2	1	1
		78.613	2	1	1	4
		81.757	14	1	0	5
		82.524	6	2	1	2
		87.989	8	3	0	0
		91.215	18	2	1	3
		94.618	2	0	0	6
		94.855	8	3	0	2
		100.348	8	2	0	5
		100.900	4	1	0	6
Lattice : Hexagonal		Mol. weight = 102.14				
S.G. : P63mc (186)		Volume [CD] = 80.33				
a = 3.84110		Dx = 4.223				
c = 6.28700	Z = 2	I/cor = 2.90				
GENERAL COMMENTS : (002) may be observed as the strongest reflection due to preferred orientation.						

Pattern : 5-566		Radiation = 1.540598		Quality : Indexed		
Zn S		2th	I	h	k	l
Sphalerite, syn / Zinc Sulfide blende zinc blende		28.559	100	1	1	1
		33.090	10	2	0	0
		47.516	51	2	2	0
		56.290	30	3	1	1
		59.137	2	2	2	2
		69.524	6	4	0	0
		76.809	9	3	3	1
		79.157	2	4	2	0
		88.552	9	4	2	2
		95.541	5	5	1	1
		107.415	3	4	4	0
		114.909	5	5	3	1
		128.618	3	6	2	0
		138.255	2	5	3	3
Lattice : Face-centered cubic		Mol. weight = 97.44				
S.G. : F-43m (216)		Volume [CD] = 157.99				
a = 5.40600		Dx = 4.097				
		Dm = 3.900				
	Z = 4	I/cor = 3.90				
SAMPLE PREPARATION : Prepared at 940 C by RCA Laboratory. ANALYSIS : Spectroscopic analysis: <0.1% Cu; <0.01% B, Fe, Mg, Si; <0.001% Al, Ca. TEMP. OF DATA COLLECTION : Pattern taken at 26 C. GENERAL COMMENTS : See 24-1137 for cadmium substitution. GENERAL COMMENTS : Opaque mineral optical data on specimen from Snailsbeach, Ministry, Shropshire, England: RR2Re=16.7, Disp.=16, VHN100=218-227, Color values .303, .309, 16.6, Ref.: IMA Commission on Ore Microscopy QDF. GENERAL COMMENTS : Measured density and color from Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I 211. COLOR : White, yellow white						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 36-1450		Resolution = 1.540568	Quality : High			
Zn S		2 θ	I	h	k	l
Wurtzite-Zn, syn / Zinc Sulfide		26.915	100	1	0	0
		28.501	84	0	0	2
		30.528	87	1	0	1
		39.611	28	1	0	2
		47.552	81	1	1	0
		51.777	54	1	0	3
		55.501	11	2	0	0
		56.393	47	1	1	2
		57.581	12	2	0	1
		59.008	2	0	0	4
		63.559	6	2	0	2
		68.003	1	1	0	4
		72.932	15	2	0	3
		76.038	8	2	1	0
		77.822	9	2	1	1
		79.054	2	1	1	4
		82.260	11	1	0	5
		83.097	8	2	1	2
		88.583	9	3	0	0
		91.799	15	2	1	3
		95.235	3	0	0	6
		95.843	10	3	0	2
		101.013	7	2	0	5
		101.507	2	1	0	9
		107.485	5	2	2	0
		114.139	2	3	1	0
		114.601	5	1	1	5
		114.990	6	2	2	2
		116.052	2	3	1	1
		117.413	1	3	0	4
		121.069	8	2	1	5
		122.001	3	3	1	2
Lattice : Hexagonal S.G. : P63mc (186) a = 3.82098 c = 6.25730 Z = 2		Mol. weight = 97.44 Volume [CC] = 79.12 D _r = 4.090 D _m = 4.090	SAMPLE SOURCE OR LOCALITY : Prepared by RCA Labs. ANALYSIS : Previous spectrographic analysis at NBS, Gaithersburg, MD, USA, showed (wt. %): 0.01 to 0.1 Cu; 0.001 to 0.01 each B, Fe, Mg, Si and <0.001 each Al and Ca. POLYMORPHISM : A cubic form, spherulite, also exists. ZnS exists in many polytypic forms (1,2). TEMP. OF DATA COLLECTION : The mean temperature of data collection was 23.5. ADDITIONAL PATTERN : To replace 5-492 (3) and 10-434 (4). GENERAL COMMENTS : Other patterns are cited in (3). OPTICAL DATA : B=2.385, G=2.378, Sign=+ GENERAL COMMENTS : Optical data on synthetic material. COLOR : Colorless			

Pattern : 75-1534		Resolution = 1.540568	Quality : Calculated			
Zn S		2 θ	I	h	k	l
Wurtzite / Zinc Sulfide		27.074	100	1	0	0
		28.634	52	0	0	2
		30.701	95	1	0	1
		39.614	32	1	0	2
		47.635	80	1	1	0
		52.030	58	1	0	3
		55.627	9	2	0	0
		58.704	36	1	1	2
		57.919	11	2	0	1
		59.283	1	0	0	4
		63.935	6	2	0	2
		68.345	1	1	0	4
		73.361	15	2	0	3
		76.529	10	2	1	0
		78.323	8	2	1	1
		79.510	2	1	1	4
		82.760	9	1	0	5
		83.647	4	2	1	2
		85.644	<1	2	0	4
		89.209	8	3	0	0
Lattice : Hexagonal S.G. : P63mc (186) a = 3.80000 c = 6.23000 Z = 2		Mol. weight = 97.44 Volume [CC] = 77.91 D _r = 4.154 D _m = 4.050 D _c = 3.40	ICSD COLLECTION CODE : 031081 REMARKS FROM ICSD : PICT. TEST FROM ICSD : Calc. density unusual but tolerable. TEST FROM ICSD : No Rf value given. TEST FROM ICSD : At least one TF missing. SAMPLE SOURCE OR LOCALITY : Specimen from Pribram.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย สภากรณ์ ศรีสมุทร เกิดเมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2523 เป็นคนอุดรธานี โดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษา ณ. โรงเรียนบางกะปิ และได้เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษา ณ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใน คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ในปีการศึกษา 2541

นาย อติสร เลิศไชย เกิดเมื่อวันที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2522 เป็นคนกรุงเทพมหานคร โดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษา ณ. โรงเรียนวัดราชบพิธ และได้เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษา ณ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใน คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ในปีการศึกษา 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Yamaguchi , T., Yamamoto, Y .,Tanaka, T. and Yoshida, A., "Preparation and Characterization of (Cd,Zn)S Thin Films by Chemical Bath Deposition for Photovoltaic Device" ,Thin Solid Films 343-344, (1999): 516-519 .
2. Dona, J.M.,Herrero ,J.," Chemical Bath Codeposited CdS-ZnS Film Characterization" ,Thin Solid Films 268 ,(1995):5-12.
3. Yamaguchi , T., Yamamoto, Y .,Tanaka, T.,Demizu, Y.and Yoshida , A., " (Cd,Zn)S Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition for Photovoltaic Device" ,Thin Solid Films 281-282, (1996) :375-378.
4. งามนิตย์ แก้วแดง , จิตินัย แก้วแดง , ชัยสิงห์ ภูริรักษ์เกียรติ, ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ "การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติ $Cd_{1-x}Zn_xS$ เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ",รายงานวิจัยเสนอต่อ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2543.
5. Cullity , B.D., in Elements of X-ray Diffraction , Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1956, pp.9-14.
6. Sze,S.M., in Physics of Semiconductor Devices , 2nd ed., pp.8-11, John Wiley & Sons Inc.,New York ,1981.
7. Kittel, C .,in Introduction to Solid State Physics., 4th ed., pp.4-32, 46-48, 56-60, 364-365 ,540-552, 611-612 ,John Wiley& Sons Inc., New York 1971.
8. สิงห์เดช แต่งจวง , " การเตรียมฟิล์มบาง แคดเมียม ซัลไฟด์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์โดยเทคนิคการเคลือบแบบอบสารละลายเคมี ", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์บัณฑิตมหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2539
9. Abelas,F., in Optical Properties of Solids, North-Holland,London, 1972,pp23-40.
10. Runyan , W.R., in Semiconductor Measurement and Instrumentation. pp.67-91, Mc Graw-Hill,Bombay, New York ,1975.
11. จารุทัศน์ เตชะวิจิตร ,สาวิตรี เปรมรัตน์วงศ์ และหัสพร ทองแดง, "การเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์" ,โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิตภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2543.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. O'Brien ,P., Mcaleese, J.," Developing an Understanding of the Processes Controlling the Chemical Bath Deposited of ZnS and CdS " ,J.Mater .Chem 8, (1998):2309-2314.
13. Al Kuhaimi S.A. and Tulbah Z.,"Structural, Compositional,Optical, and Electrical Properties of Solution-Grown $Zn_xCd_{1-x}S$ ",Journal of Electrochemical Society147 (1), (2000): 214-218.
14. Ichimura , M. , Goto , F. and Arai , E., " Structural and Optical Characterization of CdS Films Grown by Photochemical Deposition" ,J. Appl . Phys , 85(10) ,(1999) : 7411 – 7417.
15. Zehe.A * ,J.G. Vazquez Luna , " Magnetic Field Influenced Growth Kinetics in Chemical CdS Thin-Film Deposition", Solar Energy Material & Solar Cells 68,(2001): 217-226.
16. Ray S.C., Karanjai M.K., Gupta,D.D., "Deposited and Characterization of (Cd,Zn)S Thin Film Prepared by the Dip Technique " ,Thin Solid Films 322 ,(1998):117-122.
17. Tomas , S. A . , Vigil , O . , " Influence of Thermal annealing in Different Atmospheres on the Band-Gap Shift and Resistivity of CdS Thin Films" ,J . Appl . Phys .78 ,(1995) :2204-2207.
18. Oladeji I.O., . Chow L., " A Study of the Effects of Ammonium Salts on Chemical Bath Deposited Zinc Sulfide Thin Films ,"Thin Solid Films 399 ,(1999):148-153.
19. Vidal J. , , Vigil O. , de Melo , Lopez N. , Zelaya-Angel ,O., "Influence of NH_3 Concentration and Annealing in the Properties of Chemical Bath Deposited ZnS films" , Materials Chemistry and Physics 61, (1999):139-142.
20. Lee, J.H.,Lee,H.Y., Kim,J.H. and Park ,Y.K., "Heat Treatment of Boron-Doped CdS Films Prepared by Chemical Bath Deposition for Solar Cell Application",Jpn.J. Appl.Phys.39 , (2000):1669-1674.