

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  เพื่อ  
ประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์



ผู้ดำเนินงาน

นางงามนิตย์

แก้วแดง

นายจิตินัย

แก้วแดง

RCH

GC

176.83

7451

นางทิพรัตน์

วงษ์เจริญ

นายชัยสิงห์

ภูริรักษ์เกียรติ

เลขหมู่..... 39611

เลขทะเบียน..... 39611

วัน, เดือน, ปี..... 8 ส.ย. 2544

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
b..... 2543  
mua grammi doay tang sin oikhing hammi hitat paelong neoi ha and tong aonging ting jao xing oek saar tuk khong thi mi ka na pai sai  
i.....

ชื่อโครงการ            การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์

ผู้ดำเนินงาน            นางงามนิศย์            แก้วแดง  
                                  นายฐิตินัย            แก้วแดง  
                                  นางทิพรรัตน์        วงษ์เจริญ  
                                  นายชัยสิงห์        ภูริกษ์เกียรติ

ปีงบประมาณ            2542

### บทคัดย่อ

ในโครงการวิจัยนี้ เป็นการเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์มบางของผลึกพหุพันธ์  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ( $x \leq 0.8$ ) จากสารละลายโดยการเคลือบบนกระจกสไลด์ ซึ่งสารตั้งต้นประกอบด้วย  $CdSO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $NH_3$  และ  $SC(NH_2)_2$  เตรียมที่อุณหภูมิ  $80^\circ C$  ใช้เวลาประมาณ 60 นาที ได้นำเอาสารตัวอย่างบางส่วนไปแอนนีสภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ ในช่วงอุณหภูมิ  $100-500^\circ C$  นานประมาณ 20 นาที จากการศึกษากการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางที่ไม่ได้แอนนีส จะปรากฏพีค เนื่องจากการเลี้ยวเบนของระนาบ (111), (220) และ (311) ของโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ แต่เมื่อแอนนีสฟิล์มบางที่อุณหภูมิสูงกว่า  $400^\circ C$  โดยประมาณจำนวนพีคของการเลี้ยวเบนจะเพิ่มขึ้นและสอดคล้องกับ โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ จากภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเกรนของฟิล์มบางที่ไม่ได้แอนนีสจะมีขนาดลดลงในขณะที่อัตราส่วนผสม ( $x$ ) เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามขนาดของเกรนจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิแอนนีสที่สูงขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์ของธาตุต่าง ๆ ในฟิล์มบางคำนวณได้จากวิธี EDS ขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน ( $E_g$ ) และค่าความต้านทานแผ่น ( $R_s$ ) ของฟิล์มบางจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิแอนนีส ซึ่งขนาดของช่องว่างแถบพลังงานที่เปลี่ยนไปนี้จะขึ้นอยู่กับสาเหตุ 3 ประการ ดังนี้คือ ประการแรกเป็นผลของขนาดควอนตัมหรือผลของขนาดของเกรน ประการที่สองคือผลของส่วนหางของแถบพลังงานซึ่งเกิดจากอะตอมต่าง ๆ อยู่ผิดตำแหน่ง และประการสุดท้ายคือ การเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากแบบคิวบิกเป็นเฮกซะโกนอล นอกจากนี้ยังพบว่าการตอบสนองเชิงแสงของฟิล์มบางขึ้นกับทั้งอุณหภูมิแอนนีสและอัตราส่วนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Project Title** Preparation and Some Properties of  $Cd_{1-x}Zn_xS$  Thin Films for Solar Cell Applications

**Name** Mrs. Ngamnit Gaewdang  
Mr. Thitinai Gaewdang  
Mrs. Tiparatana Wongchareon  
Mr. Chaisingh Poo-Rakkiat

**Year** 1999

#### Abstract

In this research, polycrystalline thin films of  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ( $x \leq 0.8$ ) were deposited on slide glass substrates in an aqueous solution containing of  $CdSO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $NH_3$  and  $SC(NH_2)_2$  about 60 minutes at  $80^\circ C$ . The as-deposited films were exposed to a stream with slowly flow of nitrogen at annealing temperature ranging  $100-500^\circ C$  about 20 minutes. X-ray diffraction patterns of as-deposited  $Cd_{1-x}Zn_xS$  thin films three peaks corresponding to (111), (220) and (311) of zincblende structure. However, X-rays diffraction characteristics of wurtzite structure were appeared on the samples annealed at the temperature above  $400^\circ C$ . From scanning electron micrographs, the grain size of as-deposited films decreases when the mixture ratio ( $x$ ) increases. However, it was seemly increased by the enhancement of annealing temperature. The compositions of thin films were determined by EDS technique. The evolution of the energy gap and sheet resistance as functions of annealing temperature were investigated. This annealing behavior of the energy gap is interpreted considering the quantum size effect, the band tail due to disorder, and the cubic-hexagonal transition. Finally, the decrease of photoresponse as functions of both annealing temperature and mixture ratio were also investigated.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมพงษ์ ฉัตรภรณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรยศ อยู่ดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์ แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ข้อมูลคำปรึกษาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเทคนิคการเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีออบสารละลายเคมีนี้

ขอขอบคุณอาจารย์เอกชัย หุ่นนิวัฒน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์นพพล สุทธิศิริ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วรรณภลชัย และรองศาสตราจารย์ อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุพงศ์ สรงประภา เป็นอย่างยิ่งที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย ที่ให้ความอนุเคราะห์กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ขอขอบคุณ คุณรัชชัย ขาวประเสริฐ และคุณจรินทร์ โพธิ์ชัยยะ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือประดิษฐ์อุปกรณ์ยึดกระจกสไลด์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนในการประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ความเร็วสูง และเครื่องมือวัดค่าความเข้มแสง

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ฅ  
สารบัญ

	หน้า
บทคัฒย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัฒย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญรูป.....	จ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 การเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธีอบสารละลายเคมี.....	10
2.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมี.....	10
2.2 การเกิดฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ บนแผ่นรองรับ.....	11
บทที่ 3 วิธีการทดลองและผลการทดลอง.....	14
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์.....	14
3.2 การเตรียมแผ่นรองรับ.....	16
3.3 วิธีการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์.....	16
3.3.1 ฟิล์มบางที่เตรียมได้.....	17
3.3.2 ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ที่เตรียมได้.....	18
3.3.3 ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เมื่อแอนนัลที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	19
3.4 ผลการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์.....	20
3.5 ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาค โดยการถ่าย SEM และศึกษาองค์ประกอบ.. ของธาตุต่าง ๆ ในฟิล์มบางด้วยเทคนิค EDS.....	22
3.6 ผลการศึกษากการส่งผ่านแสงเพื่อคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน.....	26
3.7 วิธีการทดลองและผลการทดลองวัดค่าความต้านทานแผ่น.....	31
3.7.1 อุปกรณ์.....	31
3.7.2 วิธีการทดลอง.....	32
บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	37
ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	39
เอกสารอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 3.1	แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียม $Cd_{1-x}Zn_xS$ ด้วยวิธีอบ สารละลายเคมีในบีกเกอร์ที่มีปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 150 ml.....	15
ตารางที่ 3.2	แสดงค่าโมลเปอร์เซ็นต์ (mole percent) ของอะตอมของธาตุ Zn ที่ถูกเจือเข้าไปในฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสม $x = 0.2, 0.4, 0.6,$ และ $0.8$ ตามลำดับ เมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ $500^\circ C$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากเทคนิค EDS.....	26
ตารางที่ 3	แสดงการเปรียบเทียบค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางตระกูล Zn 40 ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ $100-500^\circ C$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที.....	30
ตารางที่ 3.4	แสดงการเปรียบเทียบค่าช่องว่างแถบพลังงาน (หน่วยเป็น eV) ของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่อัตราส่วนผสม (x) และที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	31
ตารางที่ 3.5	แสดงความต้านทานแผ่นขณะไม่ได้ฉายแสงและขณะมีการฉายแสงฟิล์มบาง ที่อัตราส่วนผสมค่าต่าง ๆ โดยไม่ได้แอนนีส.....	35
ตารางที่ 3.6	แสดงความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางขณะไม่ได้ฉายแสงและขณะมีการ ฉายแสงที่ขึ้นกับอุณหภูมิของการแอนนีสของฟิล์มบางที่อัตราส่วนผสม $x = 0.4$ .....	36

จ  
สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงกระบวนการที่เป็นไปได้ในการเกิดผลึกของฟิล์มบาง MS (เมื่อ M = Cd หรือ Zn) บนแผ่นรองรับ.....	13
รูปที่ 3.1	แสดงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์.....	15
รูปที่ 3.2	แสดงฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้โดยการเคลือบ 3 ครั้ง.....	18
รูปที่ 3.3	แสดงฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ x = 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ตามลำดับที่เตรียมได้.....	19
รูปที่ 3.4	แสดงฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที.....	19
รูปที่ 3.5	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS ทั้งกรณี เมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที.....	21
รูปที่ 3.6	แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนของ x = 0.4 ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที.....	21
รูปที่ 3.7	แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสมของ x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ เมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที.....	22
รูปที่ 3.8	แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสม x = 0.4 เมื่อไม่มีการแอนนีส และใช้กำลังขยาย 60,000 เท่า.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น  
สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.9	แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสม $x = 0.4$ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ $300^\circ C$ ภายในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที และใช้กำลังขยาย 50,000 เท่า.....	23
รูปที่ 3.10	แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสม $x = 0.4$ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ $500^\circ C$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที และใช้กำลังขยาย 60,000 เท่า.....	24
รูปที่ 3.11	แสดงการวัดความหนาด้วยการถ่ายภาพ SEM ของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มีอัตราส่วนผสม $x = 0.4$ เมื่อไม่มีการแอนนัล.....	24
รูปที่ 3.12	แสดงสเปกตรัมของพลังงานของรังสีเอ็กซ์ เฉพาะตัวของอะตอมของแต่ละธาตุที่เป็นองค์ประกอบของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่เคลือบบนกระจกสไลด์.....	25
รูปที่ 3.13	แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงมีค่าเท่ากับ 400-1,000 nm ของฟิล์มบางตระกูล Zn 40 ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนัล และมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ $100-500^\circ C$ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที.....	27
รูปที่ 3.14	แสดงการหาช่องว่างแถบพลังงาน จากความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha^2$ กับพลังงานโฟตอน ( $h\nu$ ) ของฟิล์มบางตระกูล Zn 40 เมื่อไม่มีการแอนนัล.....	27
รูปที่ 3.15	แสดงการหาช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ ระหว่าง $\alpha^2$ กับพลังงานโฟตอน ( $h\nu$ ) ของฟิล์มบางตระกูล Zn 40 เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ ภายใต้บรรยากาศ ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที.....	28

ช  
สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.16	แสดงการหาช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha^2$ กับพลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางตระกูล Zn 40 เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 200 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที.....	28
รูปที่ 3.17	แสดงการหาช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha^2$ กับพลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางตระกูล Zn 40 เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 300 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที.....	29
รูปที่ 3.18	แสดงการหาช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha^2$ กับพลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางตระกูล Zn 40 เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 400 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที.....	30
รูปที่ 3.19	แสดงการหาช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha^2$ กับพลังงานโฟตอน (hv) ของฟิล์มบางตระกูล Zn 40 เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที.....	30
รูปที่ 3.20	กราฟแสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน ( $E_g$ ) ของฟิล์มบางตระกูล Zn 40 ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าอุณหภูมิแอนนีกัล.....	31
รูปที่ 3.21	แสดงการวัดค่าความต้านทานแผ่น โดยวิธีสี่ขั้วเชิงเส้น.....	32
รูปที่ 3.22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - ความต่างศักย์ของฟิล์มบาง Cd <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> S ที่มีอัตราส่วนผสม x = 0.4 ที่เตรียมได้ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล ขณะที่ไม่มี การฉายแสง.....	33
รูปที่ 3.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - ความต่างศักย์ของฟิล์มบาง Cd <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> S ที่มีอัตราส่วนผสม x = 0.4 ที่เตรียมได้ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล ขณะที่ไม่มี การฉายแสงและมีการฉายแสงด้วยความเข้ม 6 mW/cm <sup>2</sup> .....	34

๗  
สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

- รูปที่ 3.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนیلของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสม  $x = 0.4$  ที่เตรียมได้เมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ  $100-500^\circ C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที ขณะที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงด้วยความเข้ม  $6 \text{ mW/cm}^2$  ..... 34
- รูปที่ 3.25 แสดงความต้านทานแผ่นกับอัตราส่วนผสม (x) ของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  เมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ  $500^\circ C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที ขณะที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงด้วยความเข้ม  $6 \text{ mW/cm}^2$  ... 35



## บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย โดยที่สิ่งประดิษฐ์เหล่านี้สร้างขึ้นมาจกสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสารชนิดนี้มีคุณสมบัติเฉพาะที่สำคัญที่สุดคือสามารถควบคุมความหนาแน่นและชนิดของพาหะที่นำไฟฟ้าได้ แสดงผลตอบสนองเชิงไฟฟ้าเมื่อมีแสงตกกระทบ (photoelectric effect) หรือเมื่อมีพลังงานความร้อนตกกระทบ (thermo electric effect) แสดงสมบัติเชิงไฟฟ้าในช่วงกลางระหว่างฉนวนและโลหะ จากสมบัติเหล่านี้ทำให้นำมาสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำมากมาย เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ วงจรรวม และเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

เซลล์แสงอาทิตย์ถือเป็นกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic effect) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแห่งใหม่ที่ได้รับการสนใจอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างแบบซาลโคไพไรต์ (chalcopyrite structure) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางที่อยู่ในรูปของรอยต่ออวิวิพันธ์ (heterojunction) ของสาร  $\text{MgF}_2/\text{ZnO}/\text{CdS}/\text{Cu(In,Ga)Se}_2/\text{Mo/sodalime glass}$  ให้ประสิทธิภาพสูงถึง 17.7%[1]

ฟิล์มบาง CdS และฟิล์มบาง ZnS เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง (direct band gap) และมีช่องว่างแถบพลังงาน (energy gap) ค่อนข้างกว้าง โดย CdS มีค่าช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 2.40 eV ส่วน ZnS มีค่าช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 3.7 eV รวมทั้งสภาพนำไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปมากเมื่อมีแสงตกกระทบ ดังนั้นฟิล์มบาง CdS และฟิล์มบาง ZnS จึงเหมาะที่จะนำมาทำเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น (n-type) ผลึก CdS และ ZnS จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบซิงค์เบลนด์ (zincblende) ซึ่งจัดอยู่ในโครงสร้างผลึกระบบคิวบิก (cubic) หรือเวิร์ทไซท์ (wurtzite) ซึ่งจัดอยู่ในโครงสร้างผลึกระบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) อะตอมของ Zn สามารถเข้าไปแทนที่อะตอมของ Cd ในโครงผลึกได้และเกิดเป็นสารละลายของแข็ง (solid solution)  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  โดยที่  $0 \leq x \leq 0.8$  สารละลายของแข็ง  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  นี้จะมีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรงและมีช่องว่างแถบพลังงานอยู่ในช่วง 2.4-3.7 eV [2] ดังนั้นถ้ามีการแทนที่ CdS ด้วย (Cd,Zn)S จะทำให้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดูดกลืนแสงในย่านอัลตราไวโอเล็ตได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่นี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [3,4]

การเตรียมฟิล์มบางของ CdS หรือ ZnS มีด้วยกันหลายวิธี เช่น สเปตเตอริง (sputtering), การระเหยสารในระบบสุญญากาศ (thermal evaporation), การเคลือบโดยวิธีไอระเหยสารเคมี (Chemical Vapor Deposition:CVD), สเปรย์ไพโรไลซิส (spray pyrolysis) และการอบสารละลายเคมี (Chemical Bath Deposition: CBD) เป็นต้น ซึ่งการเตรียมฟิล์มบาง ( $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ) โดยวิธีการอบสารละลายเคมีนั้น [2-5] เกิดจากปฏิกิริยาเคมีในสารละลายที่ประกอบด้วย  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  กับ  $\text{S}^{2-}$  ซึ่งจะทำการปฏิกิริยากันจนเกิดเป็นฟิล์มบาง (Cd,Zn)S ที่เคลือบอยู่บนแผ่นรองรับ (substrate) ที่ใช้อุณหภูมิต่ำไม่เกิน  $100^\circ\text{C}$  และสามารถ

เตรียมฟิล์มให้มีขนาดใหญ่ตามต้องการได้ นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการเตรียมไม่มากนัก จึงเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่เกี่ยวกับการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

การดำเนินการวิจัยนี้ได้เริ่มจากการหาเงื่อนไขเพื่อเตรียมฟิล์มบางของ CdS จากสารละลายตั้งต้น ซึ่งประกอบไปด้วย  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{NH}_3(25\%)$ ,  $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$  และน้ำปอดคประจุ (deionized water) โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอ่างน้ำหรือวิธีการกวนสารละลาย เพื่อให้ได้ฟิล์มบาง CdS ที่มีคุณภาพดี ไม่มีรูพรุน ยึดติดแน่นกับกระจกสไลด์ได้ติดต่อกันจึงมีการเพิ่ม  $\text{ZnSO}_4$  เข้าไปในบิกเกอร์โดยยังคงให้ ความเข้มข้นของ  $\text{CdSO}_4 + \text{ZnSO}_4$  มีค่าคงที่เหมือนกับกรณีเตรียมฟิล์มบางของ CdS ต่อมาได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของสารตัวอย่างที่ได้ ซึ่งได้แก่ การตรวจสอบโครงสร้างผลึก การตรวจสอบผิวผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในฟิล์มบาง รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงและเชิงไฟฟ้าของฟิล์มบาง  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  ที่อัตราส่วนผสม (mixture ratio, x) ค่าต่าง ๆ

ในรายงานวิจัยนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 บท คือ บทที่ 1 บทนำ บทที่ 2 เกี่ยวกับการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์ โดยวิธีอบสารละลายเคมี บทที่ 3 วิธีการทดลองและผลการทดลอง บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองรวมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยในขั้นต่อไป



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

แบบ ว.1

แบบเสนอโครงการวิจัย  
ประกอบของงบประมาณโครงการวิจัย  
ประจำปีงบประมาณ 2542

ลักษณะของการวิจัย      การวิจัยเพื่อพัฒนาประเทศ  
แผนงานวิจัย                เพื่อพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
แผนงานย่อย                เพื่อพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ส่วนที่ 1 : สารสำคัญของโครงการวิจัย

1. ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)      "การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง  
Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์  
(ภาษาอังกฤษ)      "Preparation and Some Properties of Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S  
Thin Films for Solar Cell Applications"
2. หน่วยงานที่รับผิดชอบงานวิจัยและที่อยู่  
ทบวงมหาวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520  
คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520  
โทร. 3266052-101 ต่อ 6216 โทรสาร 326-9981
3. คณะผู้วิจัย
  - 3.1 หัวหน้าคณะผู้วิจัย  
ชื่อ (ภาษาไทย)                      นางงามนิตย์ แก้วแดง      สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 25%  
(ภาษาอังกฤษ)                      Mrs. Ngamnit Gaewdang
  - ผู้ร่วมวิจัย
  - 3.2 ชื่อ (ภาษาไทย)                      นายฐิตินัย แก้วแดง      สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 25%  
(ภาษาอังกฤษ)                      Mr. Thitinai Gaewdang
  - 3.3 ชื่อ (ภาษาไทย)                      นางทิพรัตน์ วงษ์เจริญ      สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 25%  
(ภาษาอังกฤษ)                      Mrs. Tiparatana Wongcharoen
  - 3.4 ชื่อ (ภาษาไทย)                      นายชัยสิงห์ ภูริกษ์เกียรติ      สัดส่วนที่ทำงานวิจัย 25%  
(ภาษาอังกฤษ)                      Mr. Chaisingh Poo-Rakkiat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันวิจัยแห่งชาติการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่ควรเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ประเภทของงานวิจัย                      การวิจัยพื้นฐาน
5. สาขาที่ทำการวิจัย                      วิทยาศาสตร์กายภาพและคณิตศาสตร์
6. สาขาที่ทำการวิจัย  
(ภาษาไทย) :                      แคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์, การเคลือบผิวในสารละลาย, คุณสมบัติเชิงแสง, สภาพต้านทานไฟฟ้า  
(ภาษาอังกฤษ) :                      Cadmium Zinc Sulphide, chemical bath deposition, optical properties, electrical resistivity

7. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ฟิล์มบางของสารประกอบ (CdZn)S ได้รับความสนใจกันอย่างกว้างขวางมาเป็นเวลานาน เนื่องจากฟิล์มบางของสารประกอบนี้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่ใช้ทำเป็นหน้าต่างรับแสง (window) ของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ แบบ (CdZn)S/Cu<sub>2</sub>S และ (CdZn)S/CuInSe<sub>2</sub> เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของ (CdZn)S/CuInSe<sub>2</sub> ให้ประสิทธิภาพสูงถึง 14.1% [11.1]

สารประกอบ Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอลเวอร์ทไซท์ (hexagonal wurtzite) เมื่อ  $0 \leq x \leq 1$  [11.2] ชนิดการนำไฟฟ้าเป็นชนิดเอ็น (n-type) สภาพต้านทานไฟฟ้าในที่มืด (dark resistivity) จะเพิ่มจาก  $10^8 \Omega\text{-cm}$  เป็น  $10^{10} \Omega\text{-cm}$  เมื่อสัดส่วนโมล x เพิ่มจาก 0 เป็น 1 และขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน (energy band gap) เพิ่มจาก 2.42 eV (สำหรับ CdS) เป็น 3.66 eV (สำหรับ ZnS)

ฟิล์มบางของ (CdZn)S เตรียมขึ้นได้จากหลายวิธี เช่น วิธีสปัตเตอร์ริง (sputtering) [11.3] วิธีสเปรย์ไพโรไลซิส (spray pyrolysis) [11.4] วิธีการระเหยในสุญญากาศ (vacuum evaporation) [11.5] วิธีเคลือบด้วยไฟฟ้า (electrodeposition) [11.6] วิธีการปลูกผลึกในสารละลาย (solution growth) [11.2] และวิธีเคลือบผิวในสารละลาย (chemical bath deposition, CBD) [11.7,11.8] เป็นต้น

วิธี CBD เป็นวิธีเตรียมฟิล์มบางของสารตัวอย่างโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อนหรือมีราคาแพง จึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน ฟิล์มบางของ CdS ที่เคลือบบนฐานรองที่ทำด้วยแก้ว (glass substrate) พบว่ามีคุณภาพดี ขนาดของเกรน (grain size) ใหญ่กว่าความหนาของฟิล์ม สภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางที่เตรียมขึ้นที่อุณหภูมิ 60°C ที่ pH 8 มีค่าเท่ากับ  $10^7 \Omega\text{-cm}$  [11.9]

ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะเรียนรู้วิธีการเตรียมฟิล์มบางและศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารประกอบ (CdZn)S เพื่อที่จะพัฒนาไปประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของ (CdZn)S/CuInSe<sub>2</sub> ต่อไปในอนาคต

## 8. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 8.1 เตรียมฟิล์มบางของ (CdZn)S โดยวิธีเคลือบผิวในสารละลายบนกระจกแก้วโซดาไลม์ (soda lime glass) จากสารตั้งต้นที่เป็นเกลือซัลเฟต เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่จะได้ฟิล์มบางที่มีคุณภาพดีมีเฟสเดียว (single phase) มีเกรนขนาดใหญ่ โดยการปรับอุณหภูมิของสารละลายในช่วง  $60 - 90^{\circ}\text{C}$ . และ PH [11.4-11.6]
- 8.2 ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์
- 8.3 ศึกษาคุณสมบัติเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณขององค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในฟิล์มบางด้วยวิธี EDS
- 8.4 ศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงโดยการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง
- 8.5 วัดความต้านทานแผ่น (sheet resistance) ของสารตัวอย่าง ทั้งในความมืด และความต้านทานแผ่นภายใต้การส่องสว่าง
- 8.6 สรุปผลการทดลอง ทั้งวิธีการเตรียมสารตัวอย่าง การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าคุณสมบัติเชิงแสง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของ (CdZn)S

## 9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 9.1 คณะผู้วิจัยสามารถทราบเทคนิคการเตรียมฟิล์มบางของ (CdZn)S โดยการเคลือบผิวในการละลาย ให้ได้ฟิล์มบางที่มีเฟสเดียว มีเกรนขนาดใหญ่ มีผิวเรียบ เนื้อแน่นสม่ำเสมอ โปร่งแสง และสามารถควบคุมชนิดการนำไฟฟ้าได้ ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการเตรียมฟิล์มบางของ (CdZn)S เพื่อเคลือบบนสารกึ่งตัวนำ  $\text{CuInSe}_2$  ให้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด (CdZn)S
- 9.2 โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของ (CdZn)S/ $\text{CuInSe}_2$  และ (CdZn)S/ $\text{CuInGaSe}_2$  ทั้งเชิงวิชาการ และการประยุกต์ต่อไปในอนาคต

## 10. หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลการวิจัยนี้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของ (CdZn)S/ $\text{CuInSe}_2$  ที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ในโอกาสต่อไปและผลงานวิจัยนี้จะเผยแพร่สู่สถาบันการศึกษาและหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน เนื่องจากการเตรียมฟิล์มบางของ (CdZn)S ด้วยวิธีการเคลือบผิวในสารละลายเป็นวิธีที่ง่าย สะดวกรวดเร็วและราคาต้นทุนต่ำ จึงน่าจะได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายต่อการผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ในเชิงอุตสาหกรรมในอนาคต

## 11. เอกสารอ้างอิง

11.1 Dhare-Neelkanth, G. Vacuum 39 (1989): 743-748.

11.2 Brinkman, A.W. "Growth and Optical Properties of Wide-Gap II-VI Low-Dimensional Semiconductor", Edited by McGill, T.C., Sotomayor Torres,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถนำออกจำหน่าย หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C.M. and Gebhardt, W. Plenum Press, 1989: 97-107.

- 11.3 Fraser, D.B. and Cook, H.D. J. Vacuum Sci. Technology 11 (1974): 36-40
- 11.4 Feigelson, R.S. N'Diaye, A., Yin, S. and Bube, R.H.J. Appl. Phys. 48 (1977): 3112-3116.
- 11.5 Burton, L.C.J. Appl. Phys. 50 (1979): 6014-6016.
- 11.6 Balakrishnan, K.S. and Rastogi, A.C. Solar Energy Materials. 20 (1990): 17-21.
- 11.7 Nakanishi, T. and Ito. K. Solar Energy Materials and Solar Cells 35 (1994): 171-178.  
Materials and Solar Cells. 35 (1994): 185-191.
- 11.8 Ito, K. and Shiraishi, K. Solar Energy Materials and Solar Cells 35-(1994): 179-184.

## 12. ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีวิจัยจะมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

### 12.1 การพัฒนาเทคนิคการเตรียมสารตัวอย่าง

- 12.1.1 ศึกษาการเตรียมฟิล์มบางของ CdS และ (CdZn)S จากสารตั้งต้นที่เป็นพวกเกลือซัลเฟต เพื่อหาเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น จำนวนโมลของสารละลายแต่ละชนิด อุณหภูมิที่ใช้เคลือบผิว ค่า pH ที่เหมาะสมเป็นต้น
- 12.1.2 พัฒนาเทคนิคการเตรียมฟิล์มบางของ  $Cd_{1-x}Zn_xS$  โดยการแปรเปลี่ยนสัดส่วน โมล (x) ในช่วง  $0 \leq x \leq 0.8$  โดยใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบผิว จากข้อ 12.1.1

### 12.2 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์ของสารตัวอย่าง

- 12.2.1 ศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์และศึกษา โครงสร้างผลึกเชิงมหภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- 12.2.2 ศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงโดยการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- 12.2.3 ศึกษาความต้านทานแผ่นของสารตัวอย่าง ในความมืดและภายใต้การส่องสว่าง

### 12.3 วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการทดลอง พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคต

## 5. ขอบเขตของการวิจัย

ระยะที่หนึ่งเป็นการเคลือบฟิล์มบางของ CdS และ (CdZn)S จากสารตั้งต้นที่เป็นเกลือซัลเฟต หาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ฟิล์มบางที่มีคุณสมบัติดี เงื่อนไขดังกล่าวได้แก่ จำนวนโมลของสารละลายแต่ละชนิด อุณหภูมิที่ใช้เคลือบผิว ค่า pH ที่เหมาะสม จากนั้นจึงตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ศึกษาคุณสมบัติเชิงแสง และคุณสมบัติทางไฟฟ้า

ระยะที่สอง เป็นการเคลือบผิวของ (CdZn)S โดยการแปรเปลี่ยนสัดส่วน โมลในช่วง  $0 \leq x \leq 0.8$  ตรวจสอบโครงสร้างผลึก และค่าคงที่โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ศึกษาคุณสมบัติเชิงแสง และคุณสมบัติทางไฟฟ้า

ระยะที่สาม วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นฟิล์มบางของสิ่งประดิษฐ์โฟโตโวลตาอิกต่อไป

6. ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

เป็นเวลา 1 ปี นับตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2541 ถึง 30 กันยายน 2542

15. แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

รายละเอียด	ปีงบประมาณ 2542			
	เดือนที่ 1-3	เดือนที่ 4-6	เดือนที่ 7-9	เดือนที่ 10-12
1. จัดหาสารตั้งต้นที่มีความบริสุทธิ์สูง ได้แก่ CdS, CdCl <sub>2</sub> , CdSO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> S, ZnSO <sub>4</sub> , ZnS, ZnCl <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> Cl, NH <sub>4</sub> OH, และ thiourea เป็นต้น	←→			
2. เตรียมฟิล์มบางของ CdS และ (CdZn)S บนกระจกแก้ว โซดาไลม์ จากสารตั้งต้นที่เป็นเกลือซัลเฟต โดยการเคลือบผิวที่อุณหภูมิในช่วง 60-90 °C ค่า pH ในช่วง 7-10		←→		
3. ตรวจสอบโครงสร้างผลึกและหาค่าคงที่โครงสร้างผลึกด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างที่เตรียมได้	←→			
4. ศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงโดยการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง และวัดสเปกตรัมการเรืองแสงของสารตัวอย่างที่เตรียมไว้		←→		
5. วัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของสารตัวอย่าง			←→	
6. เตรียมฟิล์มบางของ (ZnCd)S โดยการเคลือบผิวจากสารละลายบนกระจกแก้วโซดาไลม์ โดยการแปรเปลี่ยนสัดส่วนโมลในช่วง 0 ถึง 1			←→	
7. ตรวจสอบโครงสร้างผลึก และหาค่าคงที่โครงสร้างผลึกที่เปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนโมล (x) ที่เปลี่ยนไป			←→	
8. ศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงโดยการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง และสเปกตรัมการเรืองแสงของสารตัวอย่าง			←→	
9. วัดสภาพต้านทานไฟฟ้า ของสารตัวอย่าง				←→
10. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลองพร้อมเสนอแนวทางในการพัฒนาต่อไป				←→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 16. สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

## 17. อุปกรณ์ในการวิจัย

### 17.1 อุปกรณ์ในการเตรียมสารตัวอย่าง

17.1.1 อ่างบรรจุสารละลายเคมี ที่สามารถปรับอุณหภูมิได้

17.1.2 เตาแอนนูลัสในบรรยากาศก๊าซเฉื่อย

### 17.2 อุปกรณ์ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์

17.2.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์พร้อมอุปกรณ์ประมวลผล 1 ชุด

17.2.2 เครื่องสเปกโตรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์ พร้อมอุปกรณ์ประมวลผล 1 ชุด

17.2.3 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์

17.2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

17.2.5 อุปกรณ์วัดความต้านทานแผ่น

อุปกรณ์ในหัวข้อ 17.1 และ 17.2 บางส่วนนั้น คณะผู้วิจัยมีพร้อมอยู่แล้ว สิ่งที่ต้องจัดซื้อและสร้างเพื่อใช้ในการดำเนินการวิจัยได้แก่

- สารตั้งต้นที่มีความบริสุทธิ์สูง กระจกแก้วโซดาไลม์
- สารละลายเคมีบางชนิดที่ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ
- อุปกรณ์และอะไหล่สำหรับเครื่องมือที่มีอยู่แล้ว
- เอกสารและหนังสือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

## 18. รายละเอียดงบประมาณปี 2542

### 1) หมวดค่าจ้างชั่วคราว

- ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย วุฒิ ม.6 อัตราเงิน 49,200 บาท

### 2) หมวดค่าวัสดุ

2.1 ค่าวัสดุในการเตรียมฟิล์มบางของ (ZnCd)S 40,000 บาท

เช่นสารตั้งต้นที่จำเป็นได้แก่ CdS, CdCl<sub>2</sub>, CdSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>S,

ZnSO<sub>4</sub>, ZnS, ZnCl<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>OH และ thiourea เป็นต้น

2.2 ค่าวัสดุสำหรับระบบเตาแอนนูลัสตัวอย่างในบรรยากาศ 20,000 บาท

ก๊าซเฉื่อย เช่น ท่อแก้วควอทซ์ ท่ออลูมินา ลวดแคนดัล มอนูญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามผู้วิจัยขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏในเอกสารนี้ และขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏในเอกสารนี้

2.3 ค่ากระจกแก้วโซดาไลม์ บีกเกอร์ทนความร้อน 5,000 บาท

สารละลายเคมีที่จำเป็นเช่น HCl, HNO<sub>3</sub>, HF  
เอทิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น

2.4 ค่าถ่ายเอกสาร

	800 บาท
รวมหมวดวัสดุ	65,800 บาท
รวมทั้งสิ้น	115,000 บาท

19. คำรับรองว่าจะปฏิบัติตามระเบียบและข้อกำหนด

ข้าพเจ้านางงามนิตย์ แก้วแดง ข้าราชการประจำสถาบันฯ ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 6  
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอรับ  
รองว่าจะปฏิบัติตามระเบียบและข้อกำหนดในการขอรับทุนอุดหนุนการวิจัยของสำนักงานคณะกรรมการ  
วิจัยแห่งชาติทุกประการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

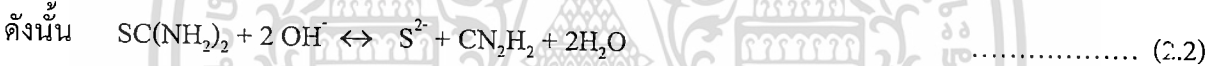
บทที่ 2

การเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์โดยวิธีออบสารละลายเคมี

ฟิล์มบางของทั้ง CdS และ ZnS สามารถเตรียมได้จากวิธีออบสารละลายเคมี ซึ่งสารละลายเคมีจะประกอบไปด้วย ไทโอยูเรีย ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของไอออนซัลเฟอร์ (S<sup>2-</sup>) และเกลือของแคดเมียมซัลเฟตหรือเกลือของซิงค์ซัลเฟต ดังนั้นจึงคาดว่าเป็นไปได้ที่จะสามารถเตรียมฟิล์มบางของ Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S จากวิธีออบสารละลายเคมี ดังกล่าว โดยการเลือกความเข้มข้นของสารตั้งต้นอย่างเหมาะสม ความเป็นเบสอยู่ในช่วง pH เท่ากับ 10-12 และอุณหภูมิในช่วง 65-90 °C

2.1 กระบวนการการเกิดปฏิกิริยาเคมี

กลไกพื้นฐานที่ก่อให้เกิดเป็นสารประกอบ CdS จากเกลือของแคดเมียม (ในที่นี้คือเกลือแคดเมียมซัลเฟต) ในสารละลาย NH<sub>3</sub> อาจเขียนได้ ดังนี้คือ [6]



เกลือ CdSO<sub>4</sub> แยกตัวให้ Cd<sup>2+</sup> กับ SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> จากนั้น Cd<sup>2+</sup> จะรวมตัวกับ NH<sub>3</sub> กลายเป็น ไอออน แคดเมียม เตตระแอมมีนเชิงซ้อน (cadmium tetraammine complex ions) ตามสมการ (2.1) ส่วนไอออน S<sup>2-</sup> จะถูกปล่อยออกมาจากไทโอยูเรียด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ตามสมการ (2.2) ถ้าผลคูณของความหนาแน่นของไอออน S<sup>2-</sup> กับ Cd<sup>2+</sup> (ซึ่งจะได้จากการแตกตัวของ Cd(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup> เกินกว่าค่าผลของความสามารถในการละลาย (solubility product, K<sub>sp</sub>) ของ CdS (ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.1x10<sup>-28</sup>) แล้วคอลลอยด์ (colloid) ของ CdS จะปรากฏขึ้นในสารละลาย

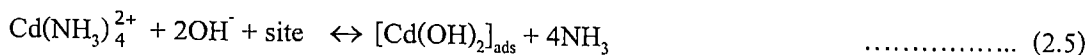
โดยปกติมักจะให้ความเข้มข้นของ NH<sub>3</sub> มีค่ามากเนื่องจาก NH<sub>3</sub> จะทำหน้าที่ควบคุมความเข้มข้นของ ไอออน Cd<sup>2+</sup> โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูป Cd(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup> ดังสมการ (2.1) ถ้าหากความเข้มข้นของไอออน Cd<sup>2+</sup> กับความเข้มข้นของ S<sup>2-</sup> มีค่าเกินผลของความสามารถในการละลายของ Cd(OH)<sub>2</sub> (ซึ่งมีค่าประมาณ 1.2x10<sup>-14</sup>) แล้วจะปรากฏเป็นคอลลอยด์ของ Cd(OH)<sub>2</sub> แทนที่จะเป็น CdS ดังความสัมพันธ์



Ortega-Borges และ Lincot [7] ได้เสนอกลไกการเกิดฟิล์มบางของ CdS บนแผ่นรองรับ (substrate) ไว้เป็น 3 ขั้นตอนคือ

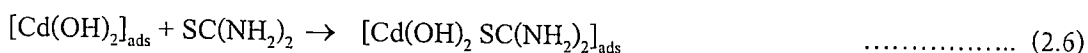
1. การเกิดฟิล์มบางของ CdS บนแผ่นรองรับ โดยตรงจากสารตั้งต้น  
 2. การเกิดฟิล์มบางของ CdS บนแผ่นรองรับ โดยตรงจากสารตั้งต้น  
 3. การเกิดฟิล์มบางของ CdS บนแผ่นรองรับ โดยตรงจากสารตั้งต้น

1. การจับแคดเมียมไฮดรอกไซด์ไว้ที่ผิวแผ่นรองรับโดยผันกลับได้ ดังนี้

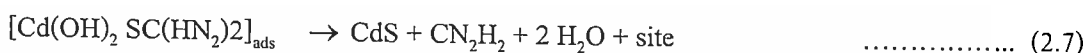


ซึ่งความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$  ในชั้นตอนนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.8 - 2.5 โมลาร์ [6]

2. การจับ (adsorption) ไทโอยูเรียเอาไว้ โดยทำให้เกิดองค์ประกอบเชิงซ้อนที่ไม่เสถียร ดังนี้

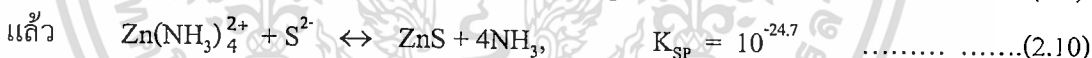
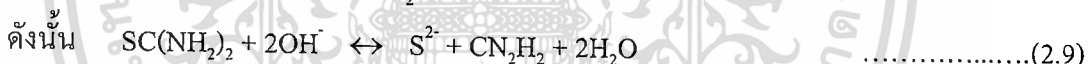
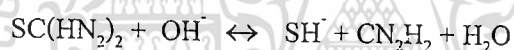
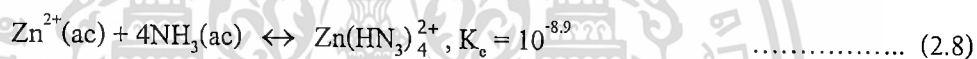


3. การเกิด CdS และการเกิดที่อยู่อใหม่ (site regeneration) โดยการแตกตัวขององค์ประกอบเชิงซ้อนดังนี้



กลไกการตกผลึก CdS ดังสมการ (2.1) - (2.3) เรียกว่าการตกผลึกแบบโฮโมจีเนียส (homogeneous precipitation) หรือบางครั้งเรียกกลไกชนิดนี้ว่าการตกผลึกแบบกลุ่มก้อนต่อกัน (cluster by cluster precipitation) ส่วนกลไกดังสมการ (2.5) - (2.7) เรียกว่าการตกผลึกแบบเฮเทอโรจีเนียส (heterogeneous precipitation) หรือบางครั้งเรียกว่าการตกผลึกแบบไอออนต่อไอออน (ion by ion precipitation)

ในทำนองเดียวกัน กลไกการตกผลึกของ ZnS จะเหมือนกับของ CdS ดังนี้ [8]



ส่วน  $\text{NH}_3$  จะเป็นตัวให้  $\text{OH}^-$  ด้วย ดังนี้คือ [8]



ส่วนไอออน  $\text{Zn}^{2+}(\text{ac})$  อัจรวมตัวกับ  $\text{OH}^-(\text{ac})$  ดังนี้คือ

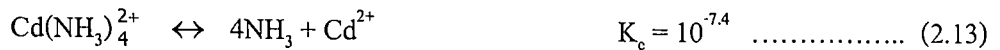


ซึ่งปฏิกิริยาตามสมการ (2.12) จะเป็นกระบวนการอีกอันหนึ่ง ซึ่งจะเกิดแข่งขันกับกระบวนการเกิด ZnS (ดังสมการ (2.10)) ส่งผลให้ฟิล์มบางที่เตรียมได้มักจะอยู่ในรูปของ  $\text{Zn}(\text{S}, \text{OH})$  [9] ดังนั้นความเข้มข้นของ  $\text{NH}_3$  จะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมอัตราการเกิดและคุณภาพของฟิล์มบาง [8]

## 2.2 การเกิดฟิล์มบาง $\text{Cd}_x\text{Zn}_x\text{S}$ บนแผ่นรองรับ

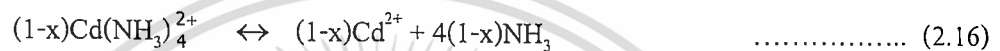
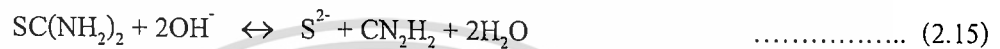
เนื่องจากผลของความสามารถในการละลายของทั้ง CdS และมี ZnS มีค่าต่ำมาก ดังนั้นการควบคุมการตกผลึก สามารถทำได้โดยการควบคุมความเข้มข้นของไอออนอิสระ  $\text{Cd}^{2+}$  กล่าวคือเราต้องเลือกตัวแทนคอมเพล็กซ์ (complexing agent) ที่เหมาะสมเพื่อที่จะปล่อยไอออน  $\text{Cd}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  ในปริมาณความเข้มข้นน้อยออกมา ตัวแทนคอมเพล็กซ์ในที่นี้คือ  $\text{NH}_3$  ซึ่งจะรวมตัวกับไอออนอิสระ  $\text{Cd}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  กลาย

เป็น ไอออนเชิงซ้อน (complex ions) ดังสมการ (2.1) และ (2.8) ซึ่งไอออนเชิงซ้อนเหล่านี้จะแตกตัวให้ ไอออนอิสระได้ ดังนี้

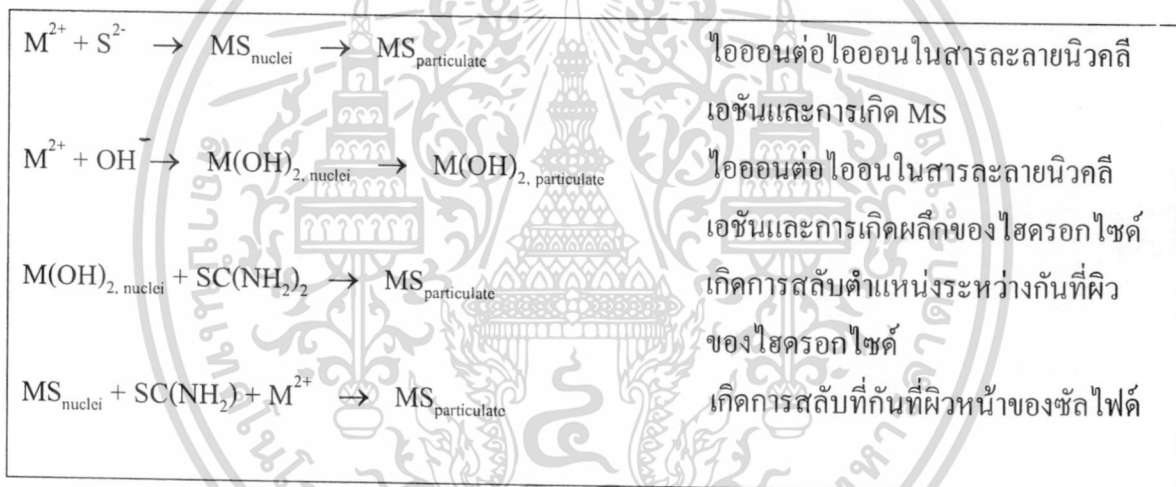
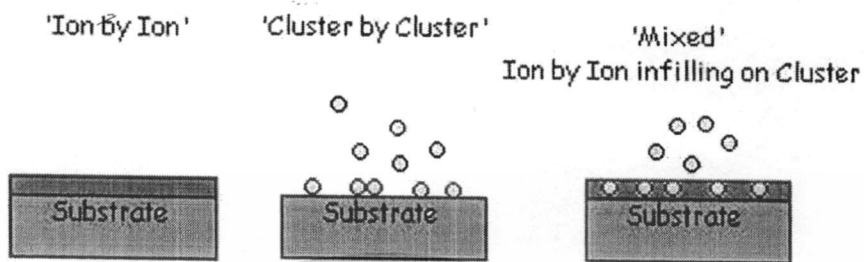


จากการพิจารณาค่าของ  $K_{sp}$  และค่าคงที่สมดุล ( $K_c$ ) พบว่า CdS ตกผลึกได้ง่ายและเร็วกว่า ZnS [2] อย่างไรก็ตาม ถ้าเลือกชนิดและความเข้มข้นของสารตั้งต้นให้เหมาะสมก็สามารถที่จะตกผลึกของสารประกอบ

$\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  ได้เมื่อ x คือ อัตราส่วนผสม (mixture ratio) โดยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะสรุปสั้น ๆ ได้ดังนี้คือ



แต่โดยทั่วไปแล้วในการเกิดฟิล์มบาง CdS หรือ ZnS บนแผ่นรองรับมักจะเกิดจากกลไกทั้งสองในเวลาเดียวกัน ยังเป็นการยากที่จะหลีกเลี่ยงไม่ให้กลไกใดกลไกหนึ่งปรากฏผล ดังนั้นฟิล์มบางมักจะเกิดจากกลไกทั้งสอง ดังรูปที่ 2.1 กลไกแบบโฮโมจีนีเยสมักจะเกิดขึ้นมากในช่วงตอนท้ายของการเกิดฟิล์มบาง ส่งผลให้ฟิล์มบางมีคุณภาพลดลง กล่าวคือ โปร่งแสงน้อยลง และฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ผิวด้านนอกหลุดร่อนได้ง่าย [7]



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการที่เป็นไปได้ในการเกิดผลึกของฟิล์มบาง MS (เมื่อ M = Cd หรือ Zn) บนแผ่นรองรับ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

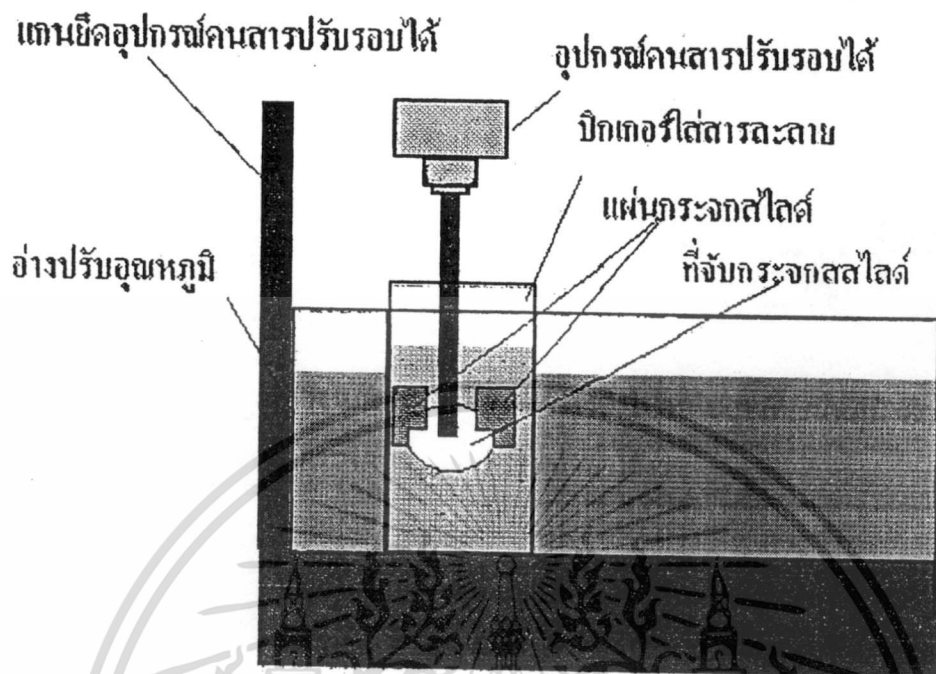
### บทที่ 3

#### วิธีการทดลองและผลการทดลอง

ในโครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์ ( $Cd_{1-x}Zn_x$ )S โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี และศึกษาสมบัติเชิงฟิสิกส์ต่างๆทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนัลและเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ซึ่ง ได้แก่ ศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงจุดภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffraction) ศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคและวัดความหนาของฟิล์มบาง โดยการถ่ายภาพ SEM ศึกษาคุณสมบัติทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเพื่อหาองค์ประกอบอะตอมของธาตุต่างๆที่อยู่ภายในฟิล์มบางโดยเทคนิค EDS และศึกษาการส่งผ่านแสง (transmittance) เพื่อศึกษาลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานของฟิล์มบางและคำนวณหาค่าช่องแถบพลังงาน ( $E_g$ ) นอกจากนี้ยังวัดความต้านทานแผ่น (sheet resistance) โดยวิธี 4 ขั้วเชิงเส้น (linear four point probe)

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์

อุปกรณ์หลัก คือแท่นยึดแผ่นรองรับทำด้วยเทฟลอน (taflon) ซึ่งเซาะร่องไว้ 8 ร่อง สำหรับแผ่นกระจกสไลด์ให้อยู่ในแนวตั้ง แท่งเทฟลอนจะถูกยึดด้วยแท่งแก้วตัน ซึ่งต่อเชื่อมเข้ากับมอเตอร์ แล้วทำให้แท่นยึดแผ่นรองรับหมุนไปด้วยในขณะที่เคลือบฟิล์มบางในอัตราเร็วที่คงที่ประมาณ 60 รอบ/นาที อ่างน้ำ (bath) ที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับและควบคุมอุณหภูมิได้ถึง 100°C ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ปรับให้มีอุณหภูมิคงที่ที่ 80°C นอกจากนี้ยังใช้เครื่องอัลตราโซนิก มาช่วยในการกำจัดตะกอนที่ไม่ต้องการที่ติดอยู่บนฟิล์มที่เตรียมได้บนแผ่นรองรับ ปริมาณสารตั้งต้นต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_x$ S ถูกเทลงบีกเกอร์ที่เติมน้ำตลอดประจุนมีปริมาตรของ สารละลายทั้งหมด 150 ml มีค่าตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของ  $[CdSO_4 \cdot \frac{8}{3} H_2O] + [ZnSO_4 \cdot 7H_2O]$  เท่ากับ 0.01 M ส่วน  $SC(NH_2)_2$  และ  $NH_3$  (25%) เท่ากับ 0.05 และ 1.5 M ตามลำดับ [1]



รูปที่ 3.1 แสดงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียม  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ด้วยวิธีการอบสารละลายเคมีในบีกเกอร์ที่มีปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 150 ml

อัตราส่วนผสม (mixture ratio, x)	ปริมาณสารตั้งต้น			
	$CdSO_4 \cdot \frac{8}{3} H_2O$ (กรัม)	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (กรัม)	$SC(NH_2)_2$ (กรัม)	$NH_3$ (ml)
X=0.0	0.3848	0.0000	0.5709	16.8
X=0.2	0.3078	0.0862	0.5709	16.8
X=0.4	0.2308	0.1725	0.5709	16.8
X=0.6	0.1539	0.2587	0.5709	16.8
X=0.8	0.0769	0.3450	0.5709	16.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การเตรียมแผ่นรองรับ

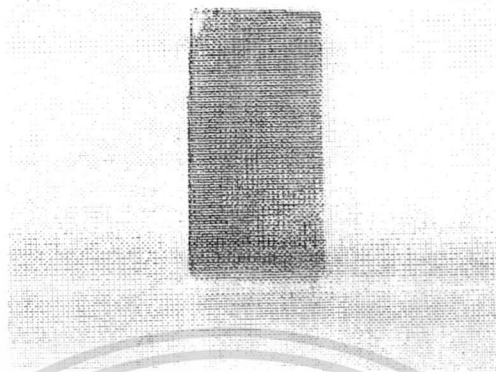
แผ่นรองรับที่ใช้เตรียมฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  จะใช้กระจกสไลด์ขนาดความกว้างและความยาวประมาณ 12 และ 25 mm ที่ทำความสะอาดอย่างดี ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. นำกระจกสไลด์ไปทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจานและล้างด้วยน้ำปลอดประจุ
2. แช่กระจกสไลด์ในสารละลาย HF ปริมาณ 10 ml กับน้ำปลอดประจุ 100 ml เป็นเวลาประมาณ 10-15 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำปลอดประจุก่อนครั้ง
3. ล้างกระจกในน้ำปลอดประจุด้วยเครื่องอัลตราโซนิกประมาณ 20 นาที
4. เป่ากระจกสไลด์ให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ แล้วนำไปอบในเตาที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}C$  เป็นเวลาประมาณ 20 นาที จะได้กระจกที่สะอาดพร้อมนำมาใช้งาน

### 3.3 วิธีการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์

สารที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  โดยเทคนิคการอบสารละลายเคมีประกอบด้วย  $[CdSO_4]+[ZnSO_4]$ ,  $SC(NH_2)_2$  และ  $NH_3$  จำนวน 0.01 โมลาร์ 0.05 โมลาร์ และ 1.5 โมลาร์ ตามลำดับ สารละลายทั้งหมดถูกเติมจากน้ำปลอดประจุลงในบีกเกอร์จนมีปริมาตรทั้งหมด 150 ml ในโครงการพิเศษนี้ได้มีการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเตรียมฟิล์มบางให้ได้ฟิล์มที่มีคุณภาพดีที่สุด ซึ่งในที่สุดได้เลือกใช้ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางได้ฟิล์มที่มีคุณภาพดีที่สุด ซึ่งในที่สุดได้เลือกใช้ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง ดังต่อไปนี้

1. ชั่งสารตั้งต้นซึ่งประกอบด้วยเกลือแคดเมียมซัลเฟต ( $CdSO_4 \cdot \frac{8}{3} H_2O$ ),  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , ไทโอยูเรีย ( $SC(NH_2)_2$ ) และแอมโมเนีย ( $NH_3$ ) ตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้ดังตารางที่ 6.1 โดยมีอัตราส่วนผสมเป็น  $x=0, 0.2, 0.4, 0.6$  และ  $0.8$  ตามลำดับ
2. ละลายเกลือแคดเมียมซัลเฟตและซิงค์ซัลเฟตในแอมโมเนียซึ่งมีปริมาตร 16.8 ml เข้าด้วยกันที่อุณหภูมิห้อง
3. ละลายไทโอยูเรียในน้ำปลอดประจุประมาณ 10 ml เข้าด้วยกันที่อุณหภูมิห้อง
4. นำแผ่นรองรับซึ่งเป็นกระจกสไลด์ที่ติดอยู่กับแท่นยึดซึ่งทำจากเทฟลอนใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำปลอดประจุอยู่ประมาณ 150 ml ซึ่งแช่อยู่ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ  $80^{\circ}C$
5. เทสารละลายที่เตรียมได้ในขั้นตอนที่ 2 ลงในบีกเกอร์ แล้วเทสารละลายที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 3 ตามลงไปหลังจากนั้นหมุนแท่นยึดแผ่นรองรับ ตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วประมาณ 60 รอบ/นาที ทำการวัดค่า pH ของสารละลายในบีกเกอร์ซึ่งมีค่าประมาณ 11.6 และปล่อยให้ไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง โดยควบคุมให้อัตราการหมุนแท่นยึดแผ่นรองรับ และอุณหภูมิของอ่างน้ำคงที่
6. หลังจากเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นรองรับที่ติดอยู่กับแท่นยึดออกจากสารละลายจะปรากฏเป็นฟิล์มบางเคลือบบนแผ่นรองรับ และปรากฏอนุภาคของแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์ บางส่วนที่จับกันเป็นก้อนเล็กขนาดไมโครเมตร คล้ายผงฝุ่นเกาะอยู่ที่ผิวหน้าฟิล์มบาง



รูปที่ 3.2 แสดงฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้โดยการเคลือบ 3 ครั้ง

### 3.3.2 ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่เตรียมได้

โดยการสังเกตการเตรียมฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.2, 0.4, 0.6$  และ  $0.8$  ตามลำดับพบว่าปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นช้ากว่าฟิล์มบาง CdS เล็กน้อยโดยตอนแรกสีของสารละลายมีลักษณะขุ่น และกลายเป็นสีเขียวอ่อนขุ่นเล็กน้อยและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้มอ่อนๆ มีเกล็ดสีขาวลอยอยู่บนผิวหน้าของสารละลายเพียงเล็กน้อย โดยสันนิษฐานว่าน่าจะเป็น  $ZnS$  หรือ  $Zn(OH)_2$  บางส่วนที่แยกออกมา และในการทดลองพบว่า ความเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของ Zn ที่ใช้ในการทดลองแต่ละเงื่อนไข กล่าวคือ ถ้ามีเปอร์เซ็นต์ของ Zn มากขึ้นความเร็วปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช้าลง ลักษณะของฟิล์มที่เคลือบติดบนกระจกสไลด์นั้นพบว่า มีตะกอนเกาะอยู่บนผิวฟิล์มแต่น้อยกว่าฟิล์ม CdS และหลังจากเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิก และเป่าให้แห้งแล้ว สังเกตพบว่า ฟิล์มที่ได้มีลักษณะผิวเรียบเป็นเนื้อเดียวกันสม่ำเสมอ มีสีเหลืองออกส้ม บิดติดกระจกได้ดี และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็พบว่ามีความสม่ำเสมอของเนื้อฟิล์มดี แสดงได้ดังรูป 3.3 ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มต่างๆ นอกจากนี้ พบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีชนิดการนำไฟฟ้าเป็นชนิดเอ็น เนื่องจากในโครงการพิเศษนี้ได้เตรียมฟิล์มบางภายใต้เงื่อนไขต่างเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการสะดวกและเหมาะสมจึงจัดแบ่งการพิจารณาแยกออกเป็นกลุ่ม โดยกำหนดให้เป็นฟิล์มบางในตระกูลต่าง ๆ ดังนี้

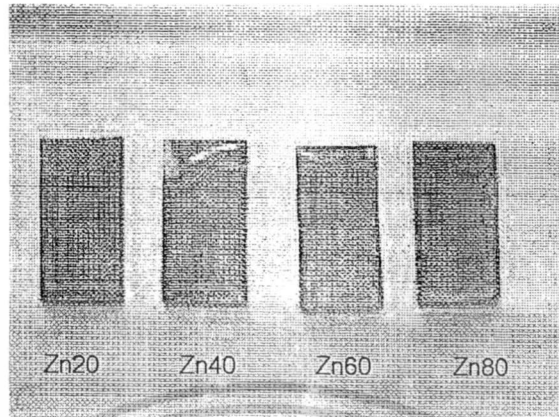
Zn 20 มีอัตราส่วนผสม  $x=0.2$

Zn 40 มีอัตราส่วนผสม  $x=0.4$

Zn 60 มีอัตราส่วนผสม  $x=0.6$

Zn 80 มีอัตราส่วนผสม  $x=0.8$

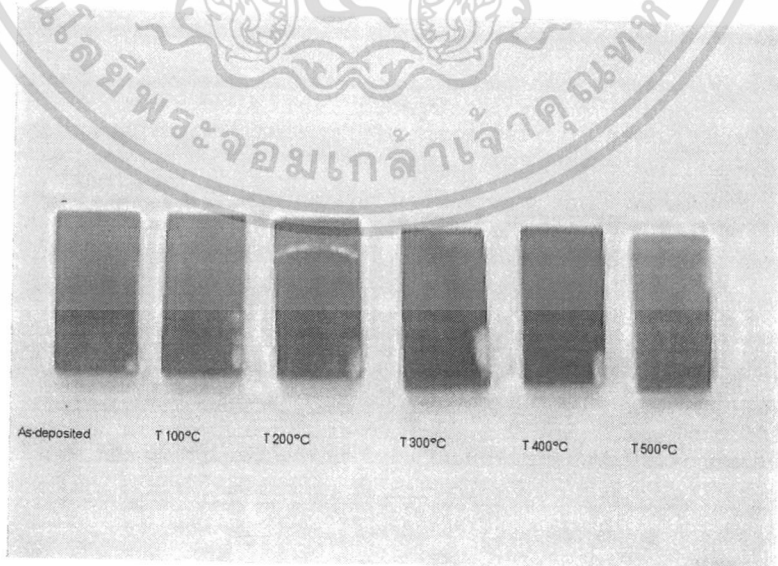
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x = 0.2, 0.4, 0.6$  และ  $0.8$  ตามลำดับที่เตรียมได้

### 3.3.3 ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เมื่อแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ

ฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $100, 200, 300, 400$  และ  $500$  °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที สีของฟิล์มบางจะเปลี่ยนจาก สีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้มจนถึงเป็นสีส้ม และความเป็นมันวาวลดลง ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากอะตอมของซัลเฟอร์ระเหิดออกจาก ผิวหน้าของฟิล์มบาง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

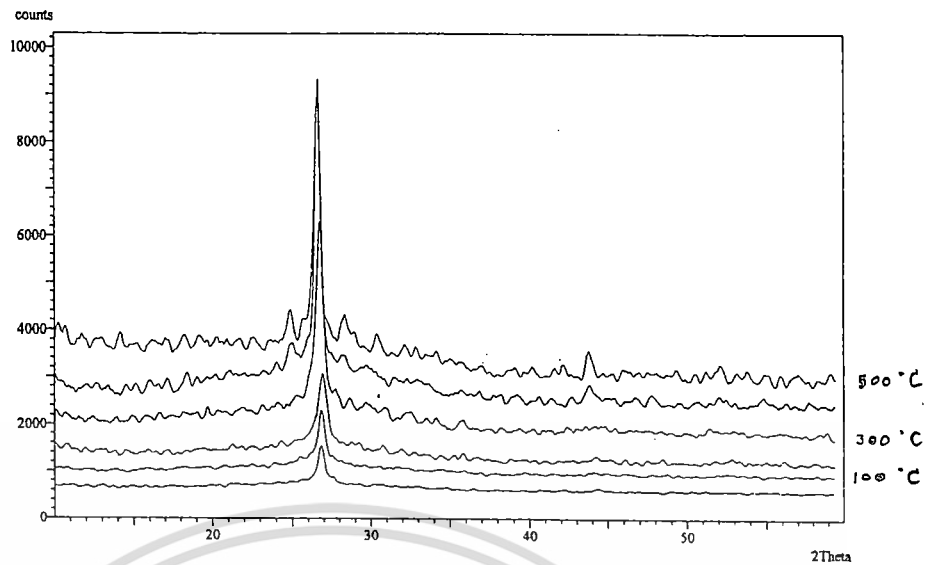


รูปที่ 3.4 แสดงฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $100-500$  °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

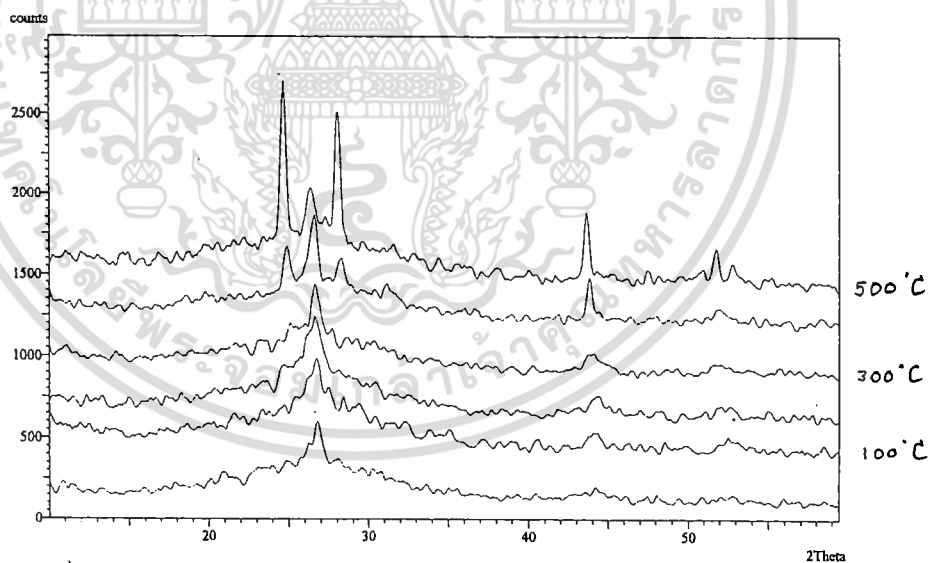
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ผลการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

เนื่องจากเราต้องการทราบถึงลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบางที่เคลือบ บนกระจกสไลด์ ดังนั้นเราจึงนำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปทำการศึกษาลักษณะการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ เพื่อดูลักษณะของฟิสิกส์ที่ปรากฏ และนำไปเปรียบเทียบกับพิกมาตรฐานของ CdS, ZnS และ  $Cd_{1-x}Zn_xS$  เพื่อดูว่าฟิล์มบางบนกระจกสไลด์ที่เราเตรียมได้มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบใด พิจารณาจากรูป 3.5 เป็นการแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนัลและการแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที พบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้โดยไม่ได้แอนนัลจะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิก ผลึกพหุพันธ์ส่วนใหญ่เรียงตัวในทิศตั้งฉากกับระนาบ (111) แต่อาจจะมีเฟสของเฮกซะโกนอลปะปนอยู่บ้างแต่เชื่อว่ามีปริมาณน้อย ดังนั้นจึงแสดงว่ากระบวนการการตกผลึกแบบโฮโมจีเนียส (homogeneous) จะเด่นกว่ากระบวนการการตกผลึกแบบเฮเทอโรจีเนียส (heterogeneous) เมื่ออุณหภูมิแอนนัลเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ  $400^{\circ}C$  สังเกตพบว่า โครงสร้างผลึกมีการเปลี่ยนแปลงโดยสังเกตได้จากฟิสิกส์ที่ปรากฏมี 3 ฟิสิกส์ ซึ่งเกิดจากการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จากระนาบ (100), (002) และ (101) นอกจากนี้ยังมีฟิสิกส์ของระนาบ (110) และ (112) ที่แสดงให้เห็นว่าเป็นลักษณะของโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิแอนนัลประมาณ  $400^{\circ}C$  โครงสร้างผลึกจะมีการเปลี่ยนเฟสจากคิวบิกเป็นเฮกซะโกนอล พิจารณารูปที่ 3.6 เป็นการแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนัลและเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $100-500^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที พบว่าฟิล์มบางที่แอนนัลที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $400^{\circ}C$  มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิก แต่ที่อุณหภูมิแอนนัลสูงกว่า  $400^{\circ}C$  พบว่า โครงสร้างผลึกมีการเปลี่ยนเฟสจากคิวบิกไปเป็นแบบเฮกซะโกนอล ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับที่มีผู้รายงานไว้ [10,11] พิจารณา รูปที่ 3.7 เป็นการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0, 0.2, 0.4, 0.6$  และ  $0.8$  ตามลำดับเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที สังเกตพบว่าจะได้เป็นฟิล์มบางที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล คือจะปรากฏฟิสิกส์ที่ระนาบต่างๆ เหล่านี้ ได้แก่ (100), (002) และ (101) นอกจากนี้พบว่า เมื่ออัตราส่วนผสมของ  $x$  เพิ่มขึ้น ความเข้มของฟิสิกส์ (002) จะลดลง ส่วนความเข้มของฟิสิกส์ (100) และ (101) จะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาว่าการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของผลึกของ ZnS มาตรฐาน (JCPDS 79-2204) จะพบว่า ฟิสิกส์ที่ (002) จะมีค่าความเข้มน้อยกว่า ฟิสิกส์ (100) และ (101) จึงเป็นการยืนยันได้ว่าฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่เราเตรียมได้นั้นได้มีอะตอมของธาตุ Zn เจือปนเข้าไปอยู่ในฟิล์มจริง

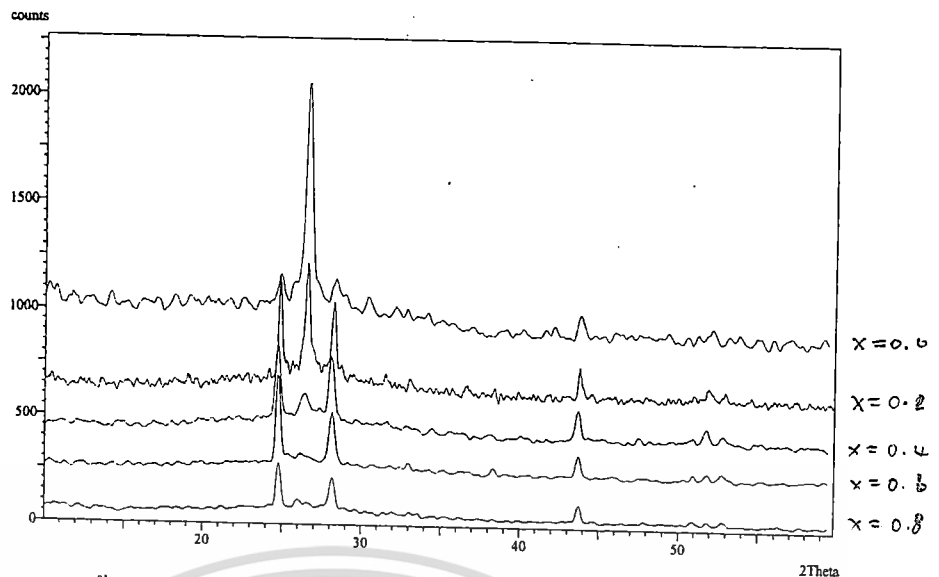


รูปที่ 3.5 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีกและมีการแอนนีกที่อุณหภูมิ 100–500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 3.6 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S ที่มีอัตราส่วนผสมของ x = 0.4 ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีกและมีการแอนนีกที่อุณหภูมิ 100–500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

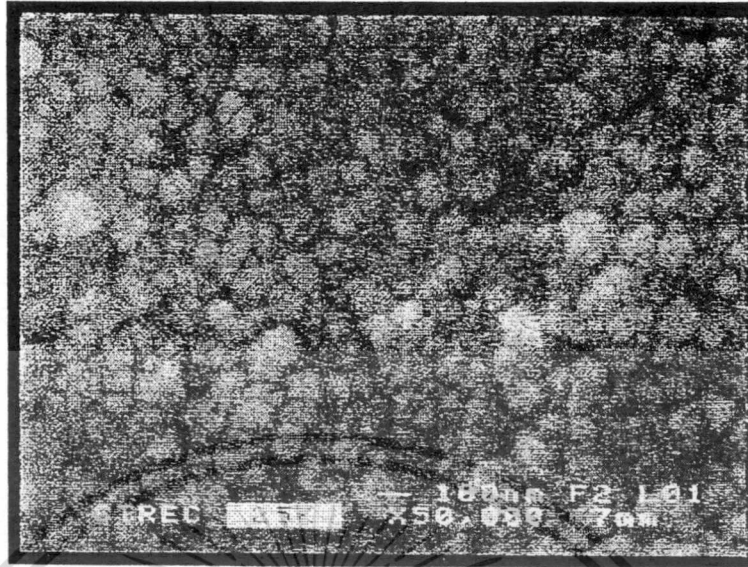
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเข้าถึงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



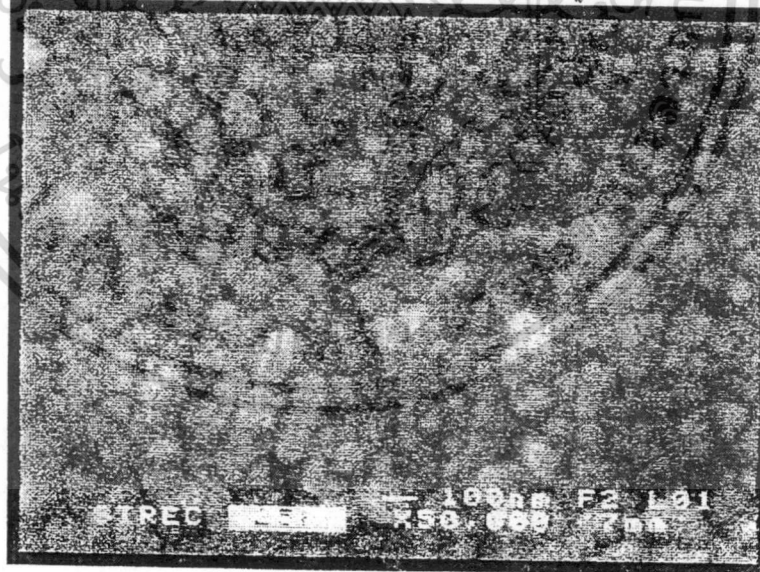
รูปที่ 3.7 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0, 0.2, 0.4, 0.6$  และ  $0.8$  ตามลำดับ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

### 3.5 ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคโดยการถ่ายภาพ SEM และศึกษาองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ในฟิล์มบางด้วยเทคนิค EDS

ในการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคโดยการถ่ายภาพ SEM เพื่อดูลักษณะของผิวหน้าใน โครงงานพิเศษนี้ได้เลือกฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัล  $300$  และ  $400^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที ตามลำดับโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6400) ความต่างศักย์ที่ใช้เท่ากับ  $25$  kV และใช้กระแสไฟฟ้า  $300$   $\mu A$  มีกำลังขยาย  $50,000$  และ  $60,000$  เท่า ฟิล์มบางเคลือบด้วยซีลฟิล์มที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดีพอสมควร ดังนั้นจึงไม่ต้องฉาบผิวหน้าด้วยฟิล์มของทองคำ พบว่า เมื่ออุณหภูมิแอนนัลเพิ่มสูงขึ้น ลักษณะการจัดเรียงตัวกันของเกรนจะมีความเป็นระเบียบมากขึ้น และมีขนาดเกือบเท่ากัน นอกจากนี้ลักษณะของขอบรอยต่อของเกรนมีความคมชัดมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิแอนนัล โครงสร้างผลึกมีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกันมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.8-3.10 และจากการถ่ายภาพภาคตัดขวาง (crosssection) ของกระจกสไลด์ ที่มีฟิล์มบางเคลือบอยู่เพื่อวัดความหนาด้วยการถ่ายภาพ SEM ของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  เมื่อไม่มีการแอนนัลที่เตรียมได้จากการเคลือบ 3 ครั้ง พบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีความหนาประมาณ  $260$  nm ดังรูปที่ 3.11

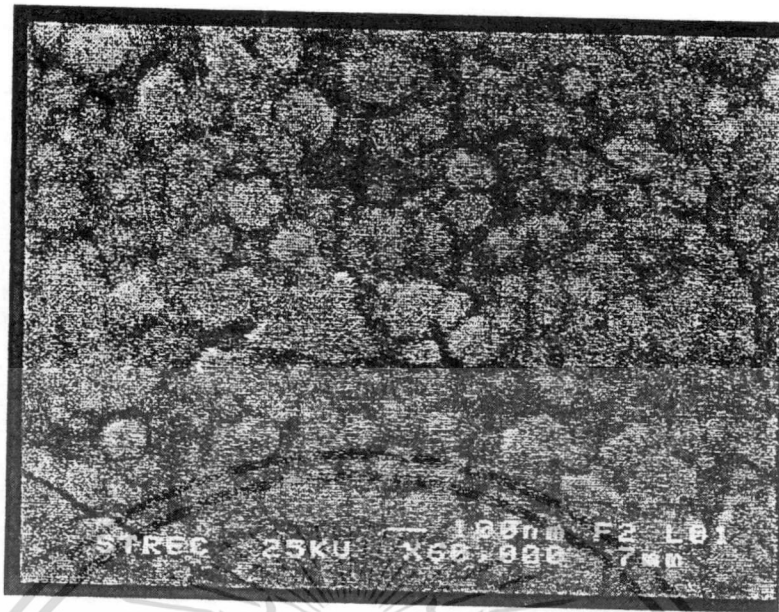


รูปที่ 3.8 แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  เมื่อไม่มีการแอนนีส และใช้กำลังขยาย 60,000 เท่า

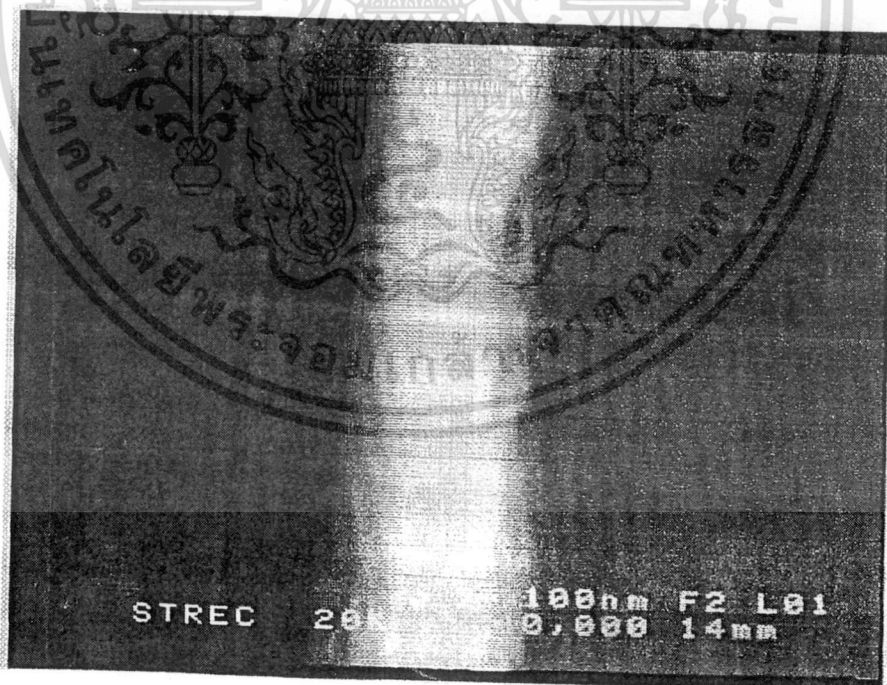


รูปที่ 3.9 แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  เมื่อมีการแอนนีส ที่อุณหภูมิ  $300^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที และใช้กำลังขยาย 50,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



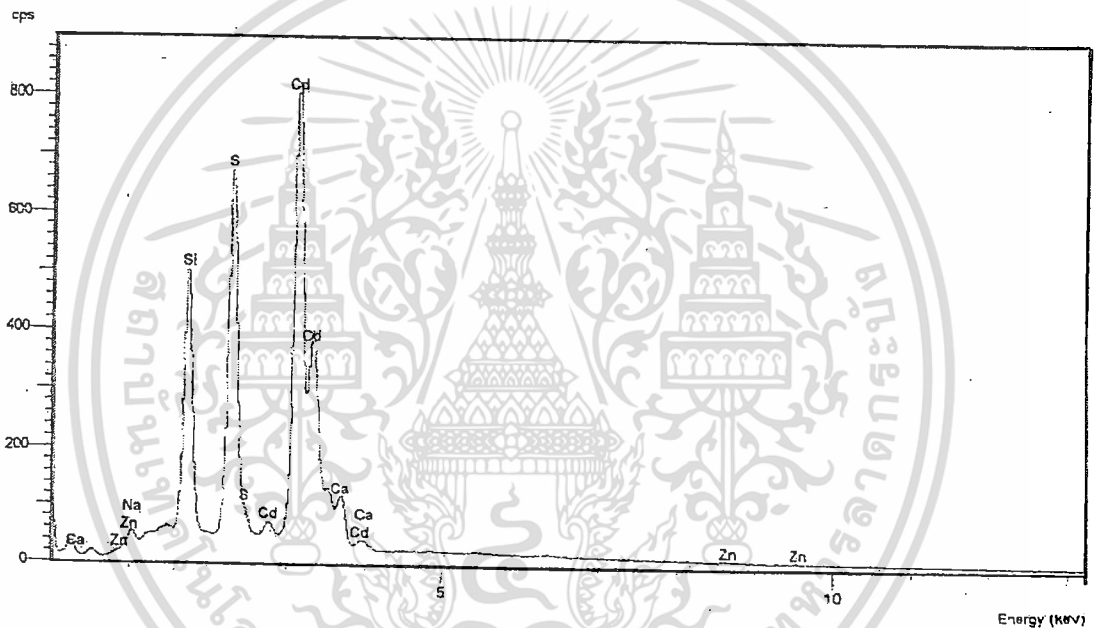
รูปที่ 3.10 แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง  $Cd_xZn_{1-x}S$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ  $500^\circ C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ และใช้กำลังขยาย 60,000 เท่า



รูปที่ 3.11 แสดงการวัดความหนาด้วยการถ่ายภาพ SEM ของฟิล์มบาง  $Cd_xZn_{1-x}S$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  เมื่อไม่มีการแอนนีกัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เทคนิค EDS สามารถใช้ศึกษาองค์ประกอบของธาตุสารตัวอย่างที่เป็นฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่เตรียมได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 และตารางที่ 3.2 จากการศึกษาสเปกตรัมของพลังงานของรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวของอะตอมของธาตุต่างๆ ที่เป็น องค์ประกอบของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่เคลือบบนกระจกสไลด์เชิงคุณภาพพบว่าฟิล์มบางที่เคลือบได้ประกอบด้วยอะตอมของธาตุเหล่านี้คือ Cd, Zn และ S จึงเป็นการยืนยันได้ว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้เป็นฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  จริง นอกจากนี้พบว่ายังมีอะตอมของธาตุอื่นๆ คือ Na, Ca และ Si ปะปนอยู่ในผลการวิเคราะห์ด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากอะตอมของธาตุต่างๆ เหล่านี้เป็น องค์ประกอบของกระจกสไลด์ที่ใช้งานดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงสเปกตรัมของพลังงานของรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวของอะตอมของแต่ละธาตุที่เป็นองค์ประกอบของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่เคลือบบนกระจกสไลด์

เมื่อทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของอะตอมของธาตุ Zn ที่เจือเข้าไปในฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.2, 0.4, 0.6$  และ  $0.8$  เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าปริมาณของอะตอมของธาตุ Zn ที่เจือเข้าไปจะเข้าไปแทนที่อะตอมของธาตุ Cd น้อยมาก และเมื่ออัตราส่วนผสม ( $x$ ) เพิ่มขึ้นปริมาณของอะตอมของธาตุ Zn จะเข้าไปแทนที่อะตอมของธาตุ Cd มากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

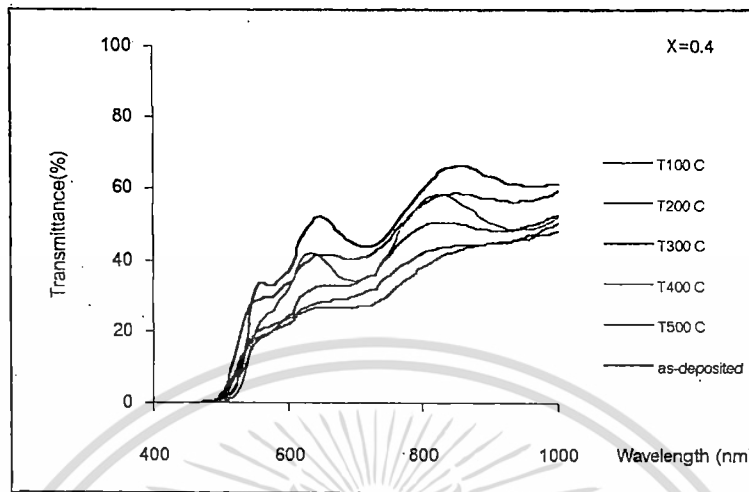
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าโมลเปอร์เซ็นต์ (mole percent) ของอะตอมของธาตุ Zn ที่ถูกเจือเข้าไปในฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.2, 0.4, 0.6$  และ  $0.8$  ตามลำดับ เมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากเทคนิค EDS

สารตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ของอะตอม Zn	
	ในสารละลายตั้งต้น	ปรากฏในฟิล์มบาง
Zn20	20	0.25
Zn40	40	0.35
Zn60	60	0.50
Zn80	80	0.64

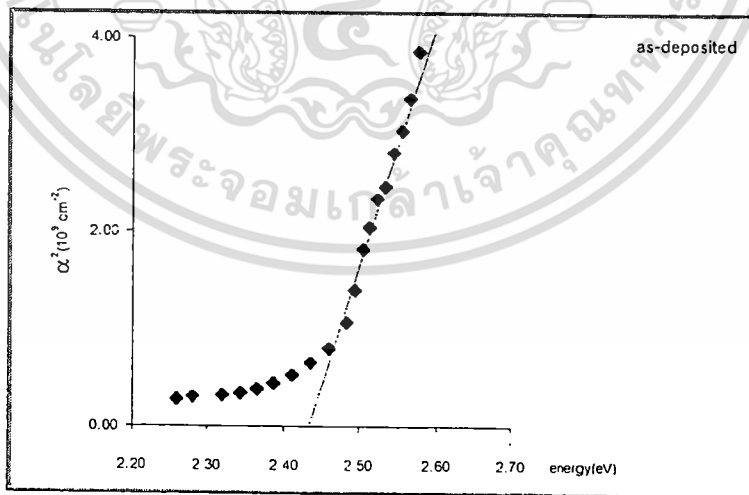
### 3.6 ผลการศึกษาการส่งผ่านแสงเพื่อคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน

เมื่อทำการศึกษาการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางตระกูล Zn40 ที่มีความหนาประมาณ 260 nm ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีส และมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ  $100-500^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที ด้วยเครื่อง ยูวี จัสโก้ 7600 สเปกโตรมิเตอร์ โดยเลือกใช้ค่าความยาวคลื่นแสงในช่วง 400-1000 nm พบว่าฟิล์มบางเมื่อไม่ได้มีการแอนนีส จะมีแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 500 nm สามารถส่งผ่านออกมาจากฟิล์มบางได้ และพบว่าสำหรับฟิล์มบางที่ผ่านการแอนนีสที่อุณหภูมิ  $100-400^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที จะมีแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 510 nm สามารถส่งผ่านออกมาจากฟิล์มบางได้ และขอบของการดูดกลืนพื้นฐาน (absorption edge) จะเลื่อนไปทางค่าความยาวคลื่นที่มีค่ามากขึ้นแต่ถ้าเป็นฟิล์มบางที่มีการแอนนีสที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที จะพบว่าขอบของการดูดกลืนพื้นฐานจะเลื่อนไปทางค่าความยาวคลื่นที่สั้นลง นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มบางตระกูล Zn40 ที่เตรียมได้ทั้งหมดมีความสามารถในการส่งผ่านแสงได้มากกว่า 40% ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ต่อจากนั้นเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากรูปที่ 3.13 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ( $\alpha$ ) แล้วนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงยกกำลังสอง ( $\alpha^2$ ) กับพลังงานโฟตอน ( $h\nu$ ) ดังแสดงในรูปที่ 3.14-3.19 พบว่าฟิล์มบางตระกูล Zn40 ที่เตรียมได้ทั้งหมดจะแสดงกราฟเป็นแบบเชิงเส้นซึ่งเป็นการแสดงว่า เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอนเท่ากับขนาดของช่องว่างแถบพลังงานอิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานและอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นจึงมีการย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำแบบไม่มีกระบวนการสร้างหรือทำลายล้างโฟนอนเข้ามาเกี่ยวข้องจึงเป็นการแสดงว่าฟิล์มบางตระกูล Zn40 ที่เตรียมได้มีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง และขนาดช่องว่างแถบพลังงาน ( $E_g$ ) ที่สามารถหาได้จากการลากเส้นตรงโดยประมาณ (approximation) ต่อส่วนที่แสดงกราฟแบบเชิงเส้นไปตัดแกนพลังงานโฟตอนจุดตัดกราฟที่ได้คือ ค่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงานซึ่งพบว่า มีขนาดต่ำกว่าค่าที่ได้จากผลึกเดี่ยวเล็กน้อยดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และ 3.4 และดังแสดงในรูปที่ 3.20 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่ออุณหภูมิของการแอนนีสเพิ่มขึ้นจาก 100-

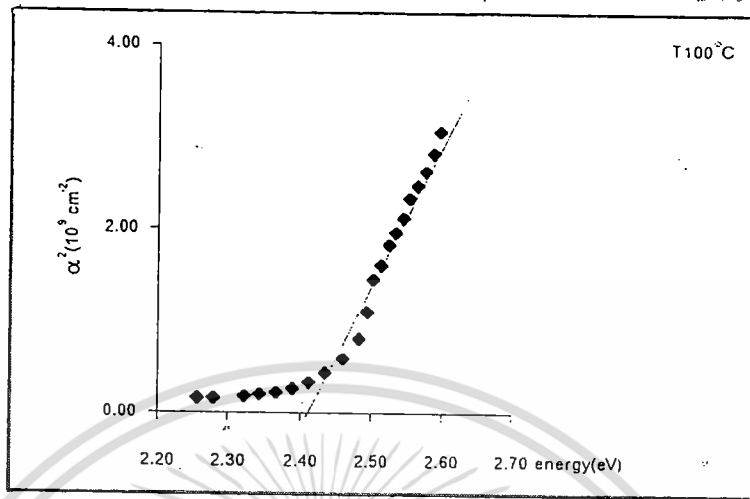
400°C ขนาดของช่องว่างแถบพลังงานจะลดลงแต่เมื่ออุณหภูมิของการแอนนียลเพิ่มขึ้นเป็น 500°C ขนาดของช่องว่างแถบพลังงานจะเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้มีผู้รายงานไว้ [10,11]



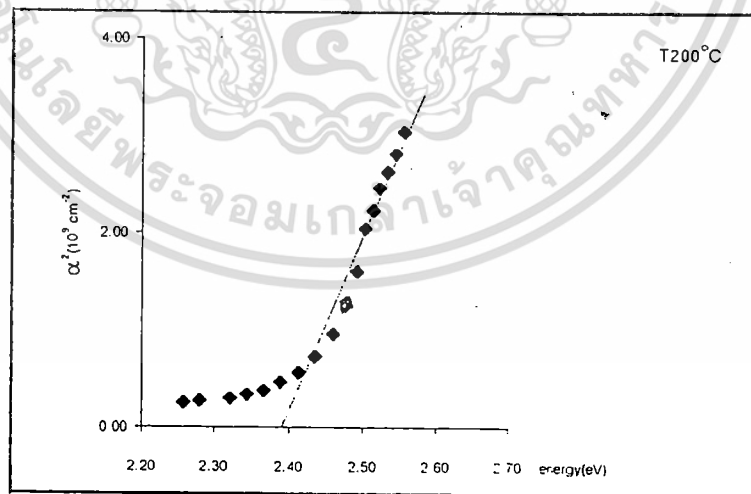
รูปที่ 3.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงมีค่าเท่ากับ 400-1000 nm ของฟิล์มบางตระกูล Zn40 ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนียลและมีการแอนนียลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที



รูป 3.14 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha^2$  กับพลังงานโฟตอน (eV) ของเป็นฟิล์มบางตระกูล Zn40 เมื่อไม่มีการแอนนียล (as-deposited) ที่การนำไปใช้

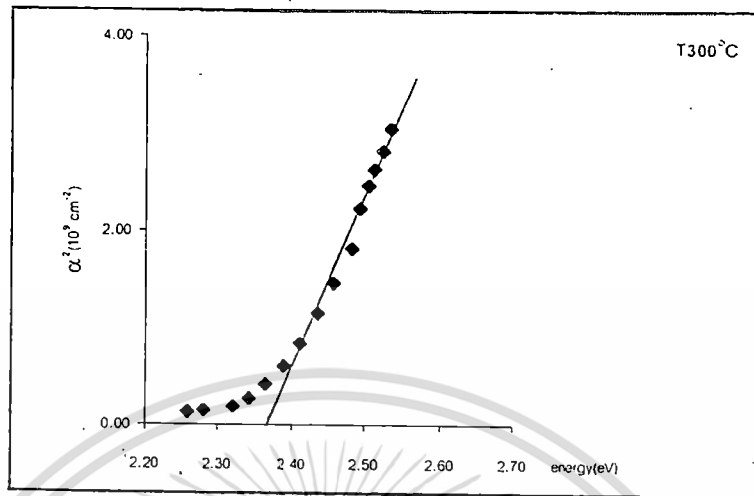


รูปที่ 3.15 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha^2$  กับพลังงานโฟตอน ( $h\nu$ ) ของฟิล์มบางตระกูล Zn40 เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ  $100^\circ\text{C}$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

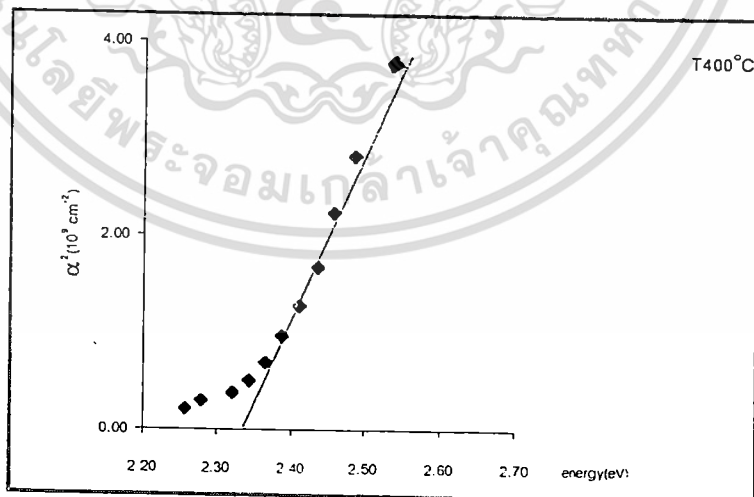


รูปที่ 3.16 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha^2$  กับพลังงานโฟตอน ( $h\nu$ ) ของฟิล์มบางตระกูล Zn40 เมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

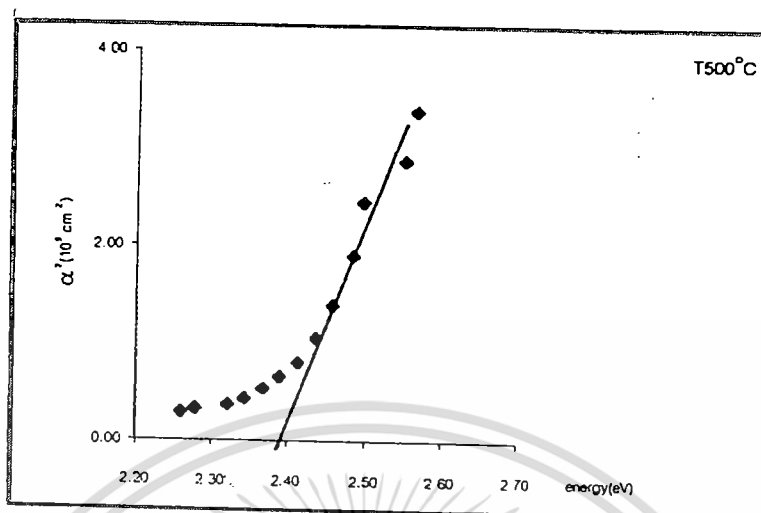
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha^2$  กับพลังงานโฟตอน ( $h\nu$ ) ของฟิล์มบางตระกูล Zn40 เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $300^\circ\text{C}$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 3.18 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha^2$  กับพลังงานโฟตอน ( $h\nu$ ) ของฟิล์มบางตระกูล Zn40 เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $400^\circ\text{C}$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

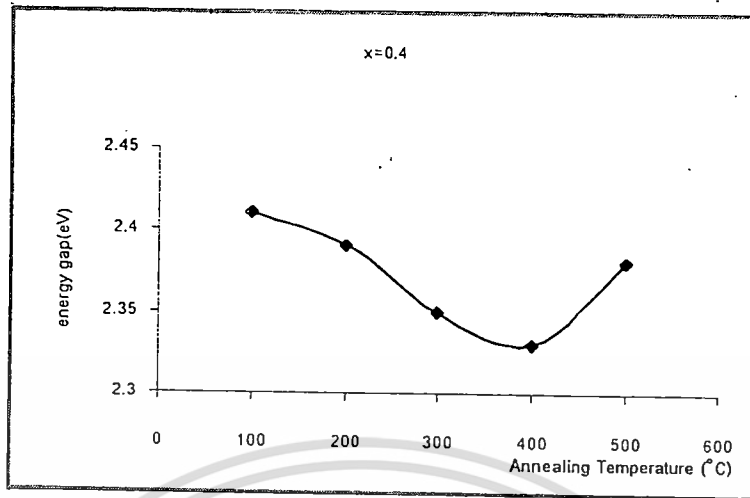


รูปที่ 3.19 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha^2$  กับพลังงานโฟตอน ( $h\nu$ ) ของฟิล์มบางตระกูล Zn40 เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $500^\circ\text{C}$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

ตารางที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางตระกูล Zn40 ทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $100\text{--}500^\circ\text{C}$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

อุณหภูมิที่แอนนัล( $^\circ\text{C}$ )	ค่าช่องว่างแถบพลังงาน( $E_g$ ) (eV)
As-deposited	2.43
100	2.41
200	2.39
300	2.35
400	2.33
500	2.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 กราฟแสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน ( $E_g$ ) ของฟิล์มบางตระกูล Zn40 ที่เปลี่ยนแปลงไป ตามค่าอุณหภูมิแอนนิต

ตารางที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าช่องว่างแถบพลังงาน (หน่วยเป็น eV) ของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่อัตราส่วนผสม (x) และที่อุณหภูมิแอนนิตค่าต่างๆ

อัตราส่วนผสม (x)	ไม่ได้แอนนิต	อุณหภูมิแอนนิต				
		100°C	200°C	300°C	400°C	500°C
X=0.0	2.43	2.42	2.40	2.36	2.32	2.34
X=0.2	2.41	2.39	2.37	2.35	2.33	2.36
X=0.4	2.43	2.41	2.39	2.35	2.33	2.38
X=0.6	2.42	2.41	2.39	2.34	2.32	2.39
X=0.8	2.42	2.41	2.37	2.35	2.33	2.41

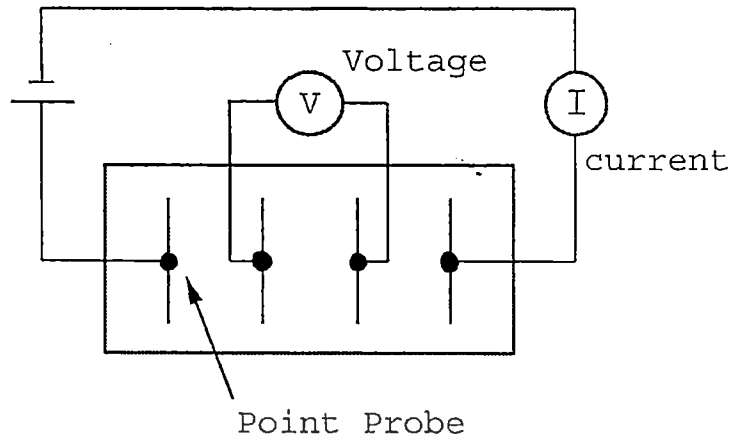
### 3.7 วิธีการทดลองและผลการทดลองวัดค่าความต้านทานแผ่น

#### 3.7.1 อุปกรณ์

1. กาวเงินนำไฟฟ้า
2. แหล่งจ่ายไฟ 30 โวลต์
3. อิเล็กโตรมิเตอร์ Keithley 610 CR
4. มัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ลิขสิทธิ์



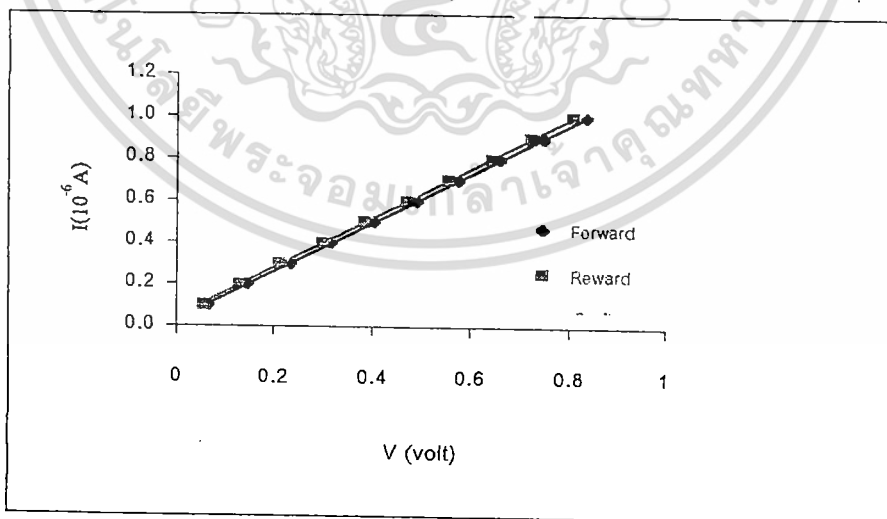
รูปที่ 3.21 แสดงการวัดค่าความต้านทานแผ่นโดยวิธีสี่ขั้วเชิงเส้น

### 3.7.2 วิธีการทดลอง

1. นำฟิล์มบาง CdS และ  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.2, 0.4, 0.6$  และ  $0.8$  ตามลำดับทั้งกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีสล และมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ  $100-500^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที มาทำรอยต่อโดยใช้กาวเงินนำไฟฟ้าเต็มบนผิวหน้าของฟิล์มบาง โดยแบ่งระยะห่างระหว่างจุดที่แต้มให้เท่ากันจำนวน 4 จุด
2. ต่อดวงจรดังรูปที่ 3.21
3. จ่ายกระแสให้แก่วงจรแล้ววัดค่าแรงดันที่ได้ โดยทำการวัดทั้งหมดประมาณ 10 ค่า ซึ่งกระแสที่จ่ายควรมีค่าน้อย ๆ เช่น  $0.1 \mu A, 0.2 \mu A, 0.3 \mu A \dots$  เป็นต้น
4. ทำการทดลองเหมือนข้อ 3 แต่สลับขั้วแหล่งจ่ายกระแส (reverse bias)
5. ทำซ้ำข้อ 3 และ 4 แต่มีการฉายแสงจากหลอดฮาโลเจน ด้วยความเข้ม  $6 \text{ mW/cm}^2$  ให้กับฟิล์มบาง
6. นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

พิจารณารูปที่ 3.22 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-ความต่างศักย์ของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  ที่เตรียมได้เมื่อไม่มีการแอนนีสลขณะที่ไม่มีการฉายแสง ความชันของเส้นกราฟขณะไบอัสตรงและไบอัสกลับมีค่าเท่ากัน แสดงว่ารอยต่อไม่แสดงผลในการขัดขวางการไหลของกระแส อีกทั้งการวัดความต่างศักย์ที่ขั้ว 2 และ 3 เป็นการหลีกเลี่ยงผลของรอยต่อที่ขั้ว 1 และ 4 พิจารณารูปที่ 3.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-ความต่างศักย์ของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  ที่เตรียมได้เมื่อไม่มีการแอนนีสลขณะที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงด้วยความเข้ม  $6 \text{ mW/cm}^2$  ความชันของเส้นกราฟขณะฉายแสงมีค่ามากกว่าขณะไม่มีการฉายแสง แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการฉายแสงแล้วมีผลให้ความต้านทานลดลง พิจารณารูปที่ 3.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนีสลของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  ที่เตรียมได้เมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ  $100-500^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที ขณะไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงด้วยความเข้ม  $6 \text{ mW/cm}^2$  ซึ่งจะพบว่าเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิแอนนีสล  $200-300^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซ

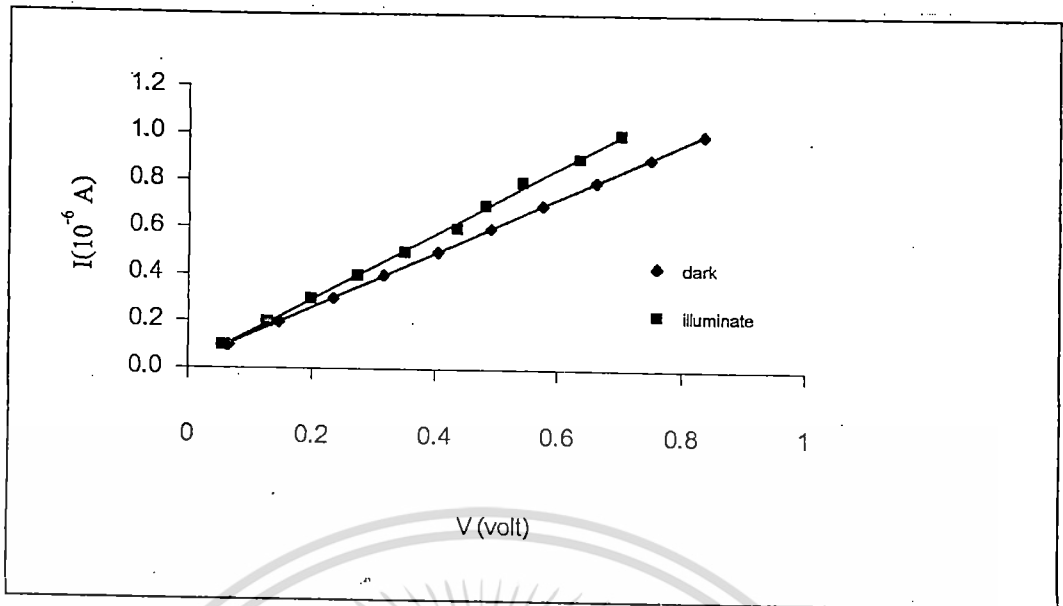
ในโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที เมื่ออุณหภูมิแอนนัลสูงขึ้นจะส่งผลให้ขนาดของเกรนใหญ่ขึ้นซึ่งจะทำให้ปริมาณขอบเขตเกรนลดลงจึงทำให้สภาพต้านทานไฟฟ้าลดลงในขณะที่ข้อบกพร่องของผลึกแบบจุดชนิดแวนเคนซีจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนเมื่ออุณหภูมิแอนนัลประมาณ  $300^{\circ}\text{C}$  จะมีค่าความต้านทานแผ่นต่ำที่สุด เมื่ออุณหภูมิแอนนัลมีค่าสูงกว่า  $300^{\circ}\text{C}$  ค่าความต้านทานแผ่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่า ข้อบกพร่องของผลึกจะมีผลต่อค่าความต้านทานแผ่นมากกว่าที่ข้อบกพร่องของผลึกประพุดิตัวเป็นกับดักอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นระดับพลังงานลึก [18,19] โดยทั่วไปแล้วข้อบกพร่องผลึกจะเกิดขึ้นเสมอใน CdS ส่งผลให้ CdS เป็นแบบ n-type เมื่อมีการฉายแสงก็จะเป็นการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากกับดัก ดังนั้นการนำไฟฟ้าจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเสมอ แต่ข้อบกพร่องใน ZnS น้อยกว่าใน CdS ดังนั้น ZnS จึงไม่ค่อยตอบสนองต่อแสงเนื่องจากพันธะระหว่าง Zn กับ S แรงกว่าพันธะระหว่าง Cd กับ S ดังนั้น ZnS จึงมีข้อบกพร่องผลึกแบบจุดชนิดแวนเคนซีน้อยกว่า เมื่ออุณหภูมิแอนนัลสูงกว่า  $400^{\circ}\text{C}$  ค่าความต้านทานแผ่นจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก พิจารณารูปที่ 3.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  กับอัตราส่วนผสมของ (x) ของฟิล์มบาง  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  เมื่อ  $x=0.2, 0.4, 0.6$  และ  $0.8$  ตามลำดับ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$  ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที ขณะที่ไม่มีแสงและมีการฉายแสงด้วยความเข้ม  $6\text{ mW/cm}^2$  จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนผสมของ Zn ใน  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  มีค่าเพิ่มขึ้นมีผลให้ความต้านทานแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีแนวโน้มการตอบสนองต่อแสงลดลง เนื่องจาก พันธะระหว่าง Zn กับ S สูงกว่าพันธะระหว่าง Cd กับ S ส่งผลให้อิเล็กตรอนและโฮลอิสระมีจำนวนน้อยลง การตอบสนองต่อแสงจะมีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้นซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากจำนวนแวนเคนซีลดลง



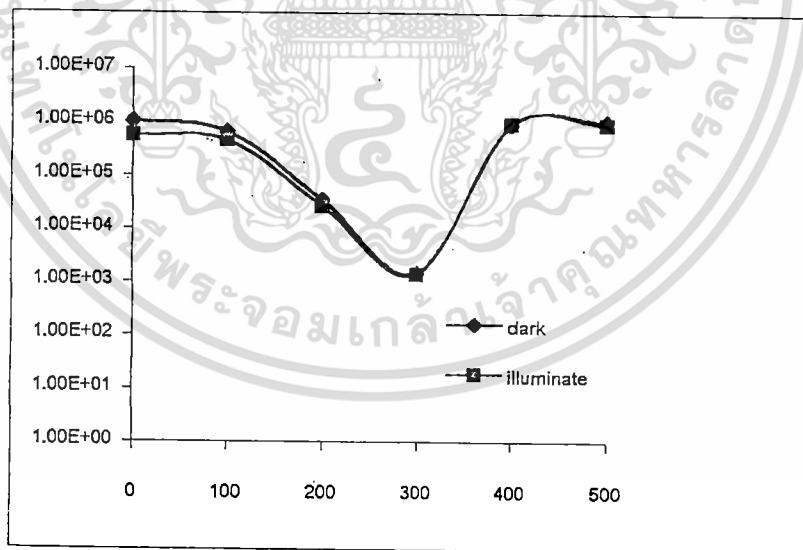
รูปที่ 3.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-ความต่างศักย์ของฟิล์มบาง  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  ที่มี

อัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  ที่เตรียมได้เมื่อไม่มีแสงและมีการฉายแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

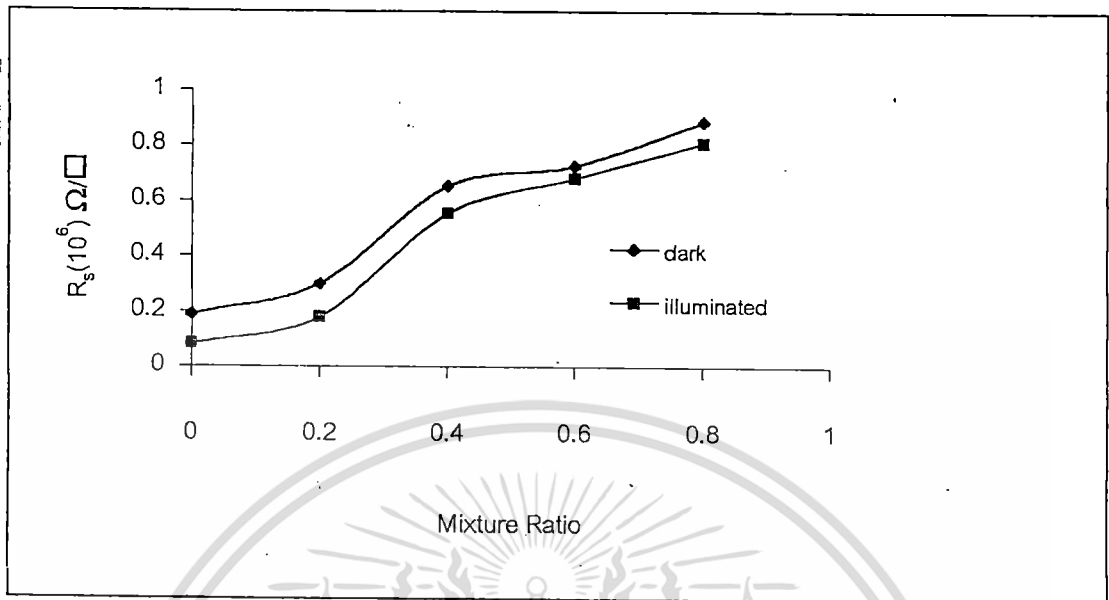


รูปที่ 3.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-ความต่างศักย์ของฟิล์มบาง  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  ที่เตรียมได้เมื่อไม่มีการแอนนีกนัลขณะไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงด้วยความเข้ม  $6 \text{ mW/cm}^2$



รูปที่ 3.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนีกนัล ของฟิล์มบาง  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x=0.4$  ที่เตรียมได้เมื่อมีการแอนนีกนัลที่อุณหภูมิ

100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและต้องอ่านฉลากข้อมูลสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอัตราส่วนผสม (x) ของฟิล์มบาง  $Cd_{1-x}Zn_xS$  เมื่อมีการแอนนัลที่  $500^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ขณะที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงด้วยความเข้ม  $6 \text{ mW/cm}^2$

ตารางที่ 3.5 และ 3.6 แสดงค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางที่ขึ้นกับอัตราส่วนผสมค่าต่างๆ และขึ้นกับอุณหภูมิแอนนัล โดยที่การตอบสนองต่อแสง (photo-response) ในตารางที่ 3.5 และ 3.6 คือ อัตราส่วนของความต้านทานแผ่นในขณะไม่ฉายแสงต่อความต้านทานแผ่นขณะฉายแสง ซึ่งปรากฏว่า เมื่ออัตราส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้น หรือเมื่ออุณหภูมิแอนนัลเพิ่มขึ้นการตอบสนองต่อแสงจะมีค่าลดลง

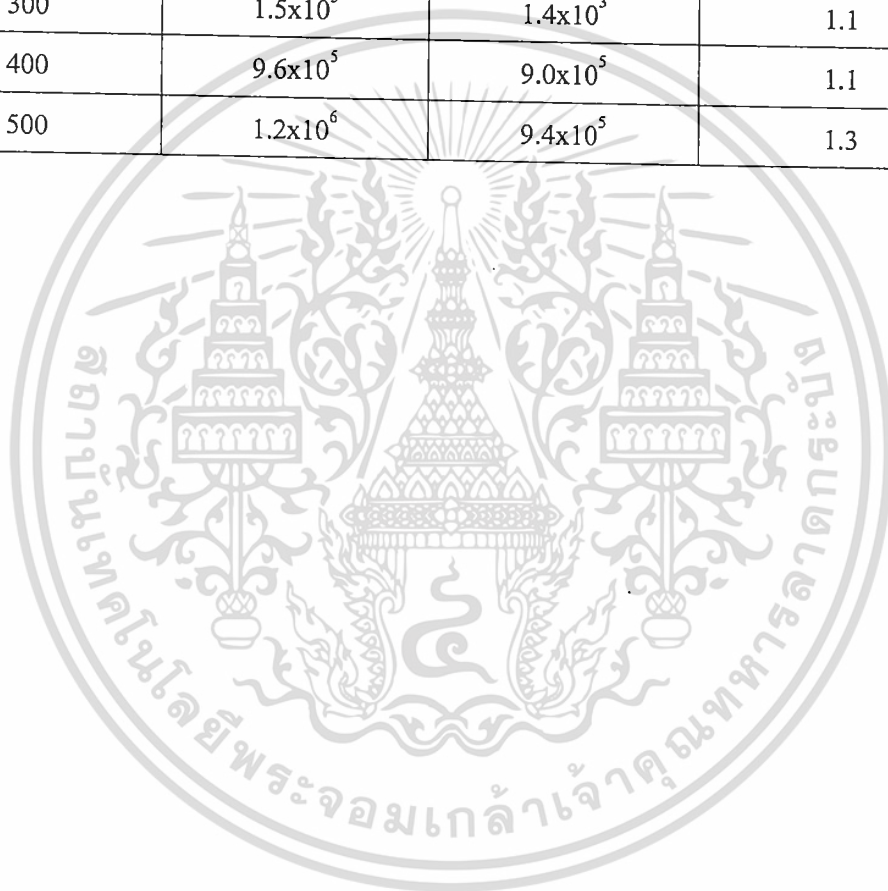
ตารางที่ 3.5 แสดงความต้านทานแผ่นขณะไม่ได้ฉายแสงและขณะมีการฉายแสงของฟิล์มบางที่อัตราส่วนผสมค่าต่างๆ โดยไม่ได้แอนนัล

อัตราส่วนผสม	$R_s$ (ไม่ฉายแสง) ( $\Omega/\square$ )	$R_s$ (ฉายแสง) ( $\Omega/\square$ )	การตอบสนองต่อแสง
X=0.0	$3.2 \times 10^5$	$1.5 \times 10^5$	2.1
X=0.2	$6.7 \times 10^5$	$3.6 \times 10^5$	1.9
X=0.4	$1.2 \times 10^5$	$2.9 \times 10^5$	4.1
X=0.6	$7.8 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$	1.3
X=0.8	$5.3 \times 10^5$	$2.9 \times 10^5$	1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางขณะไม่ได้ฉายแสงและขณะมีการฉายแสงที่ขึ้น  
กับอุณหภูมิของการแอนนีกของฟิล์มบางที่มีอัตราส่วนผสม  $x=0.4$

อุณหภูมิแอนนีก (°C)	$R_s$ (ไม่ฉายแสง)	$R_s$ (ฉายแสง)	การตอบสนองต่อแสง
As-deposited	$1.2 \times 10^6$	$2.9 \times 10^5$	4.1
100	$6.8 \times 10^5$	$8.0 \times 10^4$	8.5
200	$3.5 \times 10^4$	$2.4 \times 10^4$	1.5
300	$1.5 \times 10^3$	$1.4 \times 10^3$	1.1
400	$9.6 \times 10^5$	$9.0 \times 10^5$	1.1
500	$1.2 \times 10^6$	$9.4 \times 10^5$	1.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในโครงการวิจัยนี้ เป็นการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์  $Cd_{1-x}Zn_xS$  โดยมี อัตราส่วนผสม  $x = 0, 0.2, 0.4, 0.6$  และ  $0.8$  โดยใช้เทคนิคการอบสารละลายเคมี ซึ่งปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้  $[CdSO_4 \cdot 8/3H_2O] + [ZnSO_4 \cdot 7H_2O]$ ,  $SC(NH_2)_2$  และ  $NH_3$  โดยมีความเข้มข้น  $1 \times 10^{-2}$  โมลาร์  $5 \times 10^{-2}$  โมลาร์ และ  $1.5$  โมลาร์ ตามลำดับถูกนำมาทำปฏิกิริยากันในบีกเกอร์ขนาด  $200$  ml ซึ่งมี น้ำปอดประจุ  $125$  ml แล้วเท  $[CdSO_4 \cdot 8/3H_2O] + [ZnSO_4 \cdot 7H_2O]$  ซึ่งทำละลายใน  $NH_3$  ลงก่อน แล้วจึงเท  $SC(NH_2)_2$  ที่ละลายในน้ำปอดประจุตามลงไป จากนั้นใช้น้ำปอดประจุเดิมลงไปจนมีปริมาตรรวมให้ได้  $150$  ml ค่า pH ประมาณ  $11.6$  และอุณหภูมิ  $80^\circ C$  ทำการหมุนแทนยึดแผ่นรองรับตลอดเวลาด้วยอัตราเร็ว  $60$  รอบ/นาที ใช้เวลาในการอบสารละลายเคมี  $60$  นาที จากนั้นนำฟิล์มบางที่เตรียมได้ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ทำการแอนนีสที่อุณหภูมิ  $100, 200, 300, 400$  และ  $500^\circ C$  ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา  $20$  นาที ฟิล์มบางของ  $CdS$  ที่เตรียมได้มีลักษณะสีเหลืองโปร่งแสงในส่วนฟิล์มบางที่ได้มีการเชื่อมอะตอมของซิงค์เข้าไปจะมีลักษณะสีเหลืองส้ม โปร่งแสงที่ผิวหน้าของฟิล์มบางเรียบสม่ำเสมอไม่หลุดลอกง่าย

เมื่อทำการแอนนีสที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สีของฟิล์มบางเข้มมากขึ้น โดยจะสังเกตได้ ชัดเจนกับฟิล์มบางแอนนีสที่อุณหภูมิ  $300^\circ C$  ขึ้นไป และเมื่อทำการแอนนีสที่อุณหภูมิสูงประมาณ  $500^\circ C$  จะพบอะตอมของซัลเฟอร์หลุดมาเกาะที่ปลายหลอดของเตาแอนนีส โดยคิดว่าส่วนใหญ่น่าจะมาจากตะกอนที่เกาะอยู่บนผิวหน้า ส่วนในขั้นตอนของปฏิกิริยานั้นพบว่า เมื่ออัตราส่วนผสม  $x$  เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้าลง สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของสารละลาย โดยเริ่มแรกจะเป็นสีเขียวอ่อนเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนและเป็นสีเหลืองในขั้นตอนสุดท้าย พบว่าเกิดเกลือดีดิวลอยอยู่ด้านบนของสารละลายจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสม  $x$  เพิ่มมากขึ้น โดยคาดว่าเกลือดีดิวลอยเกิดจากอะตอมของ  $ZnS$  หรือ  $Zn(OH)_2$  [5] แต่ในทางกลับกันตะกอนที่เกาะอยู่บนฟิล์มที่เคลือบอยู่บนกระจกสไลด์มีน้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีชนิดการนำไฟฟ้าชนิดอื่น

เมื่อทำการศึกษาโครงสร้างผลึกทั้งจุดภาคของฟิล์มบางที่เตรียมได้เชิงจุดภาค ด้วยการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ สังเกตพบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้เมื่อไม่มีการแอนนีสมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิกสำหรับฟิล์มบาง  $CdS$  ( $x = 0$ ) ผลึกพหุพันธ์ส่วนใหญ่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิแอนนีสให้สูงขึ้น ความเข้มของการเลี้ยวเบน (111) จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิแอนนีสสูงกว่า  $400^\circ C$  จะปรากฏพิคของระนาบการเลี้ยวเบนจำนวนมากซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล หรืออาจกล่าวได้ว่าฟิล์มบาง  $CdS$  มีการเปลี่ยนเฟสจากคิวบิกเป็นเฮกซะโกนอลที่อุณหภูมิประมาณ  $400^\circ C$  แต่สำหรับฟิล์มบางที่มีอัตราส่วนผสม  $x$  ตั้งแต่  $0.2$  ขึ้นไปแม้ว่าฟิล์มบางยังไม่ได้แอนนีสแต่จะปรากฏพิคของระนาบการเลี้ยวเบน (220) และ (311) นอกเหนือไปจากระนาบ (111) ซึ่งแสดงว่าผลึกจัดเรียงตัวในลักษณะสุ่ม (random) มากขึ้น

โดยที่โครงสร้างผลึกยังคงเป็นแบบคิวบิก แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถึงประมาณ  $400^{\circ}\text{C}$  พบว่าโครงสร้างผลึกเปลี่ยนจากคิวบิกเป็น เฮกซะโกนอล ในทำนองเดียวกับที่พบใน CdS

จากการเปรียบเทียบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางที่แอนนิลที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$  เหมือนกัน แต่มีอัตราส่วนผสมต่างกัน พบว่าความเข้มของพีค (002) จะลดลงส่วนความเข้มของพีค (100) และ (101) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของ  $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{S}$  (JCPDS 49-1302) โดยที่ความเข้มของพีค (002) เป็นครึ่งหนึ่งของพีค (101) โดยประมาณ ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่ามีอะตอมของ Zn บางส่วนเข้าไปอยู่ในโครงผลึกของ CdS

เมื่อทำการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคโดยการถ่ายภาพ SEM พบว่าเกรนที่ปรากฏจะมีขนาดประมาณ 100 nm และเกรนจะมีการจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบขึ้น เกรนจะมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อได้ทำการแอนนิลที่อุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในฟิล์มบางด้วยเทคนิค EDS จะพบธาตุ Cd, Zn และ S นอกจากนี้ยังพบธาตุ Si, Na และ Ca ซึ่งเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของกระจกสไลด์ เมื่อใช้เทคนิค EDS นี้เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสม x ในสารตั้งต้นกับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของ Zn ที่ปรากฏบนเนื้อฟิล์มบางพบว่าในฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้นมีอัตราส่วนผสมของ Zn น้อยมากซึ่งไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์และพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสม x ในสารตั้งต้นเพิ่มขึ้นอะตอมของ Zn ที่พบในเนื้อฟิล์มก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อนำฟิล์มบางที่ได้ไปศึกษาการส่งผ่านของแสงพบว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน ( $E_g$ ) มีค่าเปลี่ยนไป ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแอนนิลขนาดของช่องว่างแถบพลังงานที่เปลี่ยนไปดังกล่าว อาจเกิดมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้ [11]

- ก. แถบช่องว่างพลังงานของโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันย่อมมีค่าแตกต่างกัน
- ข. อะตอมต่างๆ อยู่ผิดตำแหน่ง (disorder) จะเกิดส่วนหางของแถบพลังงาน (band tail)
- ค. ผลของขนาดควอนตัม (quantum size effect) หรือขนาดของเกรน

ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า  $400^{\circ}\text{C}$  เมื่อเพิ่มอุณหภูมิแอนนิลจะส่งผลให้ผลของขนาดควอนตัมมีค่าน้อย หรือขนาดของเกรน โดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น ซึ่งในกรณีที่ฟิล์มยังไม่ได้แอนนิล ช่องว่างแถบพลังงานมีค่ามากที่สุด เนื่องจากฟิล์มบางมีเกรนขนาดเล็กมากจนกระทั่งผลของขนาดควอนตัมปรากฏออกมาให้เห็น (ส่วนเหตุผล ข้อ (ก) และ ข้อ (ข) ดูเหมือนจะไม่สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้) อุณหภูมิของการเปลี่ยนเฟสจากคิสออร์เดอร์เป็นออร์เดอร์หรือจากคิวบิกเป็นเฮกซะโกนอล จะเกิดขึ้นที่  $T \approx 400^{\circ}\text{C}$  ที่อุณหภูมิสูงกว่า  $400^{\circ}\text{C}$  อะตอมต่าง ๆ จะอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ลดปัญหาจากส่วนหางของแถบพลังงาน ซึ่งก็คือ ช่องว่างแถบพลังงานจะเพิ่มขึ้นแม้ว่าผลต่างของช่องว่างแถบพลังงานของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกกับโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลยังไม่ทราบค่าแน่ชัด [11] แต่เป็นไปได้ว่าช่องว่างแถบพลังงานของโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลมีค่ามากกว่าของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกทั้ง CdS และ  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  ที่มีอัตราส่วนผสมของ  $x = 0.4$  ให้ผลออกมาในแนวเดียวกัน เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ของ Zn ในโครงผลึกมีน้อยมากไม่ส่งผลให้ช่องว่างแถบพลังงานของ  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  เปลี่ยนไปจากช่องว่างแถบพลังงานของ CdS มากนัก

ความต้านทานแผ่นวัดโดยวิธี 4 ขั้วเชิงเส้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิแอนนีสเพิ่มขึ้น ความต้านทานแผ่นมีแนวโน้มลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิแอนนีสประมาณ  $300^{\circ}\text{C}$  จากนั้นความต้านทานแผ่นมีค่าเพิ่มอีกครั้งหนึ่งซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้มีการรายงานไว้ [12] ความต้านทานแผ่นอาจจะขึ้นกับปัจจัยอย่างน้อย 3 ประการ โดยประการแรกคือแวนแคนซีของอะตอมซัลเฟอร์ ( $V_s$ ) ประการที่สองคือ การที่อะตอมอยู่ผิดตำแหน่ง และประการที่สามคือ ผลของควอนตัมหรือขนาดของเกรน เมื่ออุณหภูมิแอนนีสเพิ่มขึ้นเกรนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นจำนวนขอบเขตของเกรนจึงลดลง ทำให้อิเล็กตรอนหรือโฮลไหลได้สะดวกขึ้น ส่วนอะตอมที่อยู่ผิดตำแหน่งจะมีจำนวนลดลงทำให้ส่วนหางของแถบพลังงานลดลง อีกทั้งแวนแคนซีจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งการลดลงของอะตอมที่อยู่ผิดตำแหน่งกับการเพิ่มขึ้นของแวนแคนซี จะส่งผลให้ความต้านทานแผ่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า  $300^{\circ}\text{C}$  ความต้านทานแผ่นจะขึ้นอยู่กับผลของขนาดของเกรน ส่วนการที่อะตอมอยู่ผิดตำแหน่งและแวนแคนซีของอะตอมซัลเฟอร์มีผลน้อยกว่า สำหรับช่วงอุณหภูมิสูงกว่า  $300^{\circ}\text{C}$  ความต้านทานแผ่นจะขึ้นกับอิทธิพลของแวนแคนซีเป็นประการสำคัญ และรวมถึงการที่อะตอมอยู่ผิดตำแหน่งมีจำนวนน้อยลงด้วย จึงส่งผลให้ความต้านทานแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้น

ความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางแต่ละชั้นจะมีค่าลดลงเมื่อมีการฉายแสงจากหลอดฮาโลเจน แสดงว่าพาหะอิสระซึ่งในที่นี้คืออิเล็กตรอนมีจำนวนเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีแสงมากระตุ้นให้หลุดออกจากกักอิเล็กตรอน ซึ่งวาแคนซีซัลเฟอร์ประพติดตัวเป็นกับดักอิเล็กตรอนดังกล่าว อย่างไรก็ตามการตอบสนองต่อแสงจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิแอนนีสเพิ่มขึ้น เนื่องจากส่วนหางของแถบพลังงานลดลงจึงทำให้โอกาสที่อิเล็กตรอนจากกักอิเล็กตรอน (ซึ่งเป็นระดับพลังงานลึก) เคลื่อนย้ายไปยังแถบนำได้น้อยลง

ส่วนในกรณีที่อัตราส่วนผสม  $x$  เพิ่มขึ้น ความต้านทานแผ่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากพันธะระหว่าง Zn กับ S มีค่าสูงกว่าพันธะระหว่าง Cd กับ S ส่งผลให้อิเล็กตรอนและโฮลอิสระมีจำนวนลดลง เช่นเดียวกับการตอบสนองต่อแสงจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้น สืบเนื่องมาจากจำนวนวาแคนซีของซัลเฟอร์ลดลง ดังนั้นความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางจึงขึ้นอยู่กับความไม่สมบูรณ์ของผลึกมากกว่าชนิดของโครงสร้างผลึก

### ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมฟิล์มบาง  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{S}$  โดยวิธีออบสารละลายเคมี พบเทคนิคบางประการที่สามารถนำไปปรับปรุง การทดลองเพื่อให้ผลลัพ์ออกมาดีที่สุด ปัญหาและข้อเสนอแนะมีดังนี้

- คุณภาพของฟิล์มบาง ขึ้นอยู่กับการกัดผิวหน้าของกระจกสไลด์ด้วยกรด HF เจือจาง ดังนั้นเวลากัดผิวหน้าต้องระวังไม่ให้กระจกสไลด์ซึ้นทับกัน มิฉะนั้นกระจกสไลด์ จะถูกกัดไม่สม่ำเสมอทั่วแผ่น
- ขณะที่สารละลายกำลังเกิดปฏิกิริยาเป็นสีเหลือง พยายามอย่าเติมน้ำปอดประจุเพื่อปรับปริมาณ เพราะจะทำให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะไม่สม่ำเสมออย่างเห็นได้ชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีที่ฟิล์มที่เตรียมได้บางมากเกินไป เราสามารถทำการอบด้วยสารละลายเคมีซ้ำอีกครั้งหนึ่งด้วยเงื่อนไขเดิม จึงทำให้ความหนาของฟิล์มบางเพิ่มขึ้น
- ควรมีการศึกษาอัตราเร็วของการเคลือบฟิล์มบาง ที่อัตราส่วนผสม  $x$  ต่างๆ เนื่องจากสังเกตพบว่า เมื่ออัตราส่วนผสม  $x$  เพิ่มขึ้น ฟิล์มบางที่เตรียมได้ในเวลา 60 นาที เท่ากันจะมีความหนาเพิ่มขึ้น
- ควรใช้สารละลายไฮดราซีน (hydrazine,  $\text{NH}_2\text{-NH}_2$ ) ร่วมกับ  $\text{NH}_3$  เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของ Zn ในฟิล์มบาง  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$
- ควรมีการศึกษาผลของการแอนนیلในบรรยากาศของก๊าซอื่นๆ เช่น Ar,  $\text{H}_2\text{S}$  และ  $\text{H}_2+\text{In}$  เป็นต้น ว่ามีต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ หรือไม่อย่างไร
- ควรมีการศึกษาโฟโตลูมิเนสเซนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เนื่องจากวิธีนี้อาจบ่งบอกถึงชนิดของข้อบกพร่องของผลึก
- ควรมีการศึกษาปรากฏการณ์ของฮอลล์ (Hall Effect) เพื่อทราบข้อมูลที่สำคัญของฟิล์มบาง เช่น ความหนาแน่นของพาหะอิสระ, สภาพเคลื่อนไหวได้ (mobility) และ ชนิดของพาหะอิสระ เป็นต้น



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Nakada, T. et al. "High Efficiency Cadmium-Free Cu (In, Ga)Se<sub>2</sub> Thin Film Solar Cells" Technical Digest of the International PVSEC-11, Sapporo, Hokkaido, Japan, 1999, pp. 81-82.
- [2] Dona, J.M. and Herrero, J. "Chemical Bath Codeposited CdS-ZnS Film Characterization", Thin Solid Films. 268(1995) : 5-12.
- [3] Yamaguchi, T. et al. "Preparation and Characterization of (Cd, Zn)S Thin Films by Chemical Bath Deposition for Photovoltaic Devices" Thin Solid Films, 343-344 (1999) : 516-519.
- [4] Yamaguchi, T. et al. "(Cd, Zn)S Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition for Photovoltaic Devices" Thin Solid Films, 281-282 (1996) : 375-378.
- [5] O' Brien, P. et al. "Developing on Understanding of the Processes Controlling the Chemical Bath Deposition of ZnS and CdS" J. Mater. Chem. 8(1998) : 2309-2314.
- [6] Dona, J. M. and Herrero, "Chemical Bath Deposition of CdS Thin Films : An Approach to the Chemical Mechanism Through Study of the Film Microstructure", J. Electrochem. Soc. 144 (1997) : 4081-4090.
- [7] Ortega-Borges, R. and Lincot, D. "Mechanism of Chemical Bath Deposition of Cadmium Sulfide Thin Films in the Ammonia Thioures System" J. Electrochem. Soc., 140(1993) : 3464-3473.
- [8] Vidal, J. et al. "Influence of NH<sub>3</sub> Concentration and Annealing in the Properties of Chemical Bath Deposited ZnS Films", Mater. Chem. Phys. 61(1999) : 139-142.
- [9] Ennaoui, A et al. "High Efficiency Cd-Free CIGSS Thin Film Based Solar Cell with Solution Grown Zinc Compound Buffer Layers", Technical Digest of the International PVSEC-11, Sapporo, Hokkaido, Japan, 1999 ; 79-80.
- [10] Ramirez, R. et al. "Structural Transitions of Chemically Deposited CdS Films on Thermal Annealing", J. Phys. Conds. Matter 9(1997) : 10051-10058.
- [11] Ichimura, M. et al. "Structural and Optical Characterization of CdS Films Grown by Photochemical Deposition" J. Appl. Phys. 85(10)(1999) : 7411-7417.
- [12] Tomas, S.A. et al. "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.

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อผู้ขอรับทุน (ภาษาไทย) นางงามนิตย์ แก้วแดง  
(ภาษาอังกฤษ) Mrs. Ngamnit Gaewdang
2. ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน  
รองศาสตราจารย์ ระดับ 7 ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง  
กรุงเทพฯ 10520 โทร. 737-3000 ต่อ 6213, 6214
3. ประวัติการศึกษา  
วท.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.นครปฐม  
วท.ม. (ฟิสิกส์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ
4. ประสบการณ์ในการวิจัย
  - 4.1 การปลูกผลึกของสารกึ่งตัวนำและสารประกอบอ็อกไซด์ ด้วยวิธีบริดจ์แมน-สโตกบาร์เกอร์ และวิธี CVD
  - 4.2 การเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำด้วยวิธีระเหยในระบบสุญญากาศและวิธีการอบสารละลายเคมี
  - 4.3 การศึกษาสมบัติพื้นฐาน เช่น คุณสมบัติเชิงไฟฟ้า คุณสมบัติเชิงแสง เป็นต้น
5. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ออกเผยแพร่ในวารสารและสิ่งตีพิมพ์ต่าง ๆ
  - 5.1 Gaewdang, T. and Gaewdang, Ng. "Preparation of Indium Tungstate Single Crystals by Chemical Vapor Method", Journal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Vol. 8(1), 2000 : 33-36.
  - 5.2 Gaewdang, T. and Gaewdang, Ng. "Preparation and Some Properties of Cadmium Sulfide Semiconductor", Journal of Science Ladkrabang, Vol. 9(2), 1999 : 25-29.
  - 5.3 Gaewdang, T. and Gaewdang, Ng. "Crystallization of Indium Tungstate by Chemical Vapor Transport Reaction" The First Thailand Materials Science and Technology Conference, 19-20 July 2000, Amari Water Gate Hotel, Bangkok, Thailand : 188-189.
  - 5.4 Gaewdang, T. and Gaewdang, Ng. "Photoluminescence of  $Ce^{3+}$  in Some Fluoride Compounds", Thammasat Int. J. Sc. Tech., Vol. 4(1), 1999 : 54-59.

- 5.5 Gaewdang, T. Gaewdang, Ng. "Crystallization of Indium Titanate by Flux Growth Technique", The Journal of Science Khonkaen University, Vol. 26(3), 1998 : 196-202.
- 5.6 Gaewdang, T. and Wongjareon, Ng. "Luminescence Phenomena and Scintillation Properties of Indium Tungstate", Journal of Science Khonkaen University, Vol. 24(3), 1996 : 173-182.
- 5.7 Gaewdang, T., Gaewdang, Ng., Wongcharoen, T. and Poo-Rakkiat, C. "Ohmic Contact of CuInSe<sub>2</sub> Thin Films Solar Cell" Report has been submitted to Faculty of Science KMITL in 1997.
- 5.8 Wongjareon, Ng., Wongcharoen, T., Gaewdang, T. and Srirakool, W. "Research and Development of Solar Cell in the Heterojunction of CuInSe<sub>2</sub> Semiconductor", Report has been submitted to the National Research Council of Thailand in 1993.

