การเตรียมและการวัดลักษณะส่อของผลึกนาโนแคดเมียมซัลไฟด์ที่ฝังตัวอยู่ในฟิล์มบางอลูมินาเตรียมโดยวิธีโซลเจลเทคนิค

นางสาวศุภลักษณ์ อำลอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1018-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CdS NANOCRYSTALS EMBEDDED IN ALUMINA THIN FILM FABRICATED BY SOL-GEL TECHNIQUE

Miss Supaluck Amloy

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Physics

Department of Physics
Faculty of Science
Chulalongkorn University

Academic Year 2004
ISBN 974-53-1018-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและการวัดลักษณะสอของผลึกนาโนแคดเมียมซัลไฟด์ที่ฝังตัวอยู่ในฟิล์มบางอลูมินาเตรียมโดยวิธีโซลเจลเทคนิค
โดย	นางสาวศุภลักษณ์ อำลอย
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชิต ศรีตระกูล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรยศ อยู่ดี)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐชาติ มงคลนาวิน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศุภลักษณ์ อำลอย : การเตรียมและการวัดลักษณะส่อของผลึกนาโนแคดเมียมซัลไฟด์ที่ฝังตัวอยู่ในฟิล์มบางอลูมินาเตรียมโดยวิธีโซลเจลเทคนิค. (PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CdS NANOCRYSTALS EMBEDDED IN ALUMINA THIN FILM FABRICATED BY SOL-GEL TECHNIQUE) อ. ที่ปรึกษา: ผศ.กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ผศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์ 70 หน้า.
ISBN 974-53-1018-2.

ฟิล์มบางผลึกนาโนแคดเมียมซัลไฟด์ที่ฝังตัวอยู่ในอลูมินาเมทริกซ์ถูกเตรียมโดยกระบวนการโซล-เจล ด้วยสารละลายตั้งต้นที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.06 0.09 0.12 0.15 0.18 และ 0.21 โมลต่อลิตร ใช้กระจกโซดา-ไลม์และแผ่นซิลิกอนที่เจือหนักชนิดเอ็นเป็นแผ่นรองรับ และใช้เทคนิคการจุ่มเคลือบที่อัตราเร็วของการดึง 6 เซนติเมตรต่อนาทีเป็นอัตราการเคลือบฟิล์มบาง หลังจากนั้นนำฟิล์มไปเผาในบรรยากาศและผ่านแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้ฟิล์มที่ได้มีสีเหลือง มีผิวเรียบ และยึดติดแน่น นำฟิล์มที่เตรียมบนแผ่นรองรับกระจกโซดา-ไลม์ไปวัดการส่งผ่านแสงและวิเคราะห์หาอัตราส่วนปริมาณธาตุระหว่างแคดเมียมและซัลเฟอร์ด้วยระบบ EDX ผลที่ได้แสดงว่าค่าช่องว่างแถบพลังงาน มีค่าในช่วง 2.57-2.68 eV และอัตราส่วนปริมาณธาตุแคดเมียมต่อซัลเฟอร์มีค่าใกล้เคียง 1:1 ผงจากสารละลายถูกนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่าโครงสร้างเป็นแบบคิวบิก ขนาดอนุภาคจากภาพที่ได้จากการวัดโดยเครื่อง TEM มีค่า 7.4 ± 0.9 นาโนเมตร พบว่ากระแสไฟฟ้าในการวัดลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ของเซลล์ที่สร้างขึ้นสามารถไหลผ่านโครงสร้างได้ทั้งการไบแอสแบบตรงและการไบแอสแบบกลับ สอดคล้องกับลักษณะโครงสร้างแบบ Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) ดังปรากฏในหนังสือมาตรฐาน

ภาควิชา.....ฟิสิกส์.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....ฟิสิกส์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2547..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4472428323 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD: CdS NANOCRYSTALS / SOL-GEL / DIP COATING

SUPALUCK AMLOY: PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CdS NANOCRYSTALS EMBEDDED IN ALUMINA THIN FILM FABRICATED BY SOL-GEL TECHNIQUE. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. KIRANANT RATANATHAMMAPAN, THESIS COADVISOR: ASST. PROF. MONGKOL SUKWATTANASINITT, Ph.D., 70 pp. ISBN 974-53-1018 -2.

Thin films of cadmium sulfide (CdS) nanocrystals which embedded in alumina matrices via the sol-gel method from precursor solutions of concentrations, 0.06, 0.09, 0.12, 0.15, 0.18 and 0.21 mol/l were prepared. Soda-lime glass and highly doped n-type silicon wafer were used as substrates. The dip coating technique was used with withdrawal speed of 6 cm/min as the thin film deposit rate. The films were later calcined in air and then treated with gaseous H_2S, yellow and smooth surface and tight stuck films were obtained. The soda-lime glass substrate film was chosen to study the optical transmission, and also the cadmium and sulfur ratio by the EDX system. The results show that the energy band gap of the transmission data are in the range of 2.57-2.68 eV and the cadmium-sulfur ratio is approximately 1:1. The powder from the solution was used to analyze for the structure properties by X-Ray diffraction. From XRD result indicates a cubic CdS structure. The average size of CdS nanoparticles is 7.4 ± 0.9 nm from the TEM images. The I-V characteristic of the complete structure of the fabricated cells displays both forward and reverse currents corresponding to the Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) structure appeared in standard text books.

Department.....Physics.....Student's signature.....

Field of study.....Physics.....Advisor's signature.....

Academic year.....2004.....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเรียบร้อย โดยได้รับคำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ทั้งทางด้านทฤษฎี การวิจัยและการตรวจทานวิทยานิพนธ์ จากผู้ช่วยศาสตราจารย์กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชิต ศรีตระกูล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรยศ อยู่ดี และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐชาติ มงคลนาวิน ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการตรวจทานวิทยานิพนธ์

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณอาจารย์ชนะ ผิวล่อง ที่ได้ช่วยออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และแก้ไขข้อบกพร่องของวงจร ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ชาญวิทย์ จิตรยุทธการ และนายมนตรี เอี่ยมพนากิจ ที่ได้ช่วยสปัตเตอร์ฟิล์ม ITO และให้คำแนะนำในการวัดสมบัติทางแสงของฟิล์มที่เตรียมได้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องสั่นอุลตราโซนิก และ ขอขอบคุณนายดุสิต งามรุ่งโรจน์ ที่ได้ช่วยเผาฟิล์มตั้งแต่เริ่มต้นงานวิจัย

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณนายนพรุจ วงศ์รัตน์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี ที่ได้ช่วยเหลือในเรื่องการใช้อุปกรณ์ Kipp gas generator สำหรับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สำหรับทุนพัฒนาอาจารย์สาขาขาดแคลน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสำหรับทุนอุดหนุนงานวิจัย และภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเงินอุดหนุนในการจัดซื้อวัสดุสำหรับงานวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และพี่ ๆ ที่ให้กำลังใจในการทำวิจัยที่แสนยาวนาน นายปกรณ์ ปรีชาบูรณะ และ เพื่อน ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจให้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญภาพ.....ญ

สารบัญตาราง.....ฑ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....1

1.2 ขั้นตอนงานวิจัย.....2

1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....2

บทที่ 2 สมบัติของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์และการประยุกต์เป็นอุปกรณ์เรืองแสง.....3

2.1 โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์.....3

2.1.1 โครงสร้างผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์.....3

2.1.1.1 โครงสร้างผลึกแบบ Zincblende.....3

2.1.1.2 โครงสร้างผลึกแบบ Wurtzite.....4

2.1.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....5

2.1.2.1 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....5

2.1.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก.....6

2.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์.....7

2.2.1 การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์.....10

2.2.2 การวัดสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ.....11

2.3 การเรืองแสงโดยไฟฟ้าของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ในโครงสร้าง Si/Al_2O_3-CdS/ITO.....13

บทที่ 3 การเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์โดยกระบวนการโซล-เจล.....16

3.1 กระบวนการโซล-เจล.....16

หน้า

3.2 การเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์โดยกระบวนการโซล-เจล.....21
3.2.1 การเตรียมสารละลายสำหรับทำฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์.....21
3.2.2 การเตรียมแผ่นรองรับ.....23
3.2.3 การเตรียมฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์โดยวิธีการจุ่มเคลือบฟิล์ม (Dip coating).....28
3.2.4 การเปลี่ยนฟิล์ม CdO เป็น CdS.....29
3.2.5 การเตรียมฟิล์มเพื่อนำไปวัดลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์.....33

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....35
4.1 การวัดความหนืด.....35
4.2 การวัดความหนาของฟิล์ม.....36
4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....38
4.4 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณของธาตุด้วยระบบ EDX.....40
4.5 การวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง TEM.....45
4.6 การวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์.....48
4.7 ลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์.....56

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะการทดลอง.....61
5.1 สรุปผล.....61
5.2 ข้อเสนอแนะ.....62

รายการอ้างอิง.....64
ภาคผนวก.....65
ภาคผนวก ก แสดงผลการวัดความหนืดของสารละลายที่เตรียมในอัตราส่วนโมล ระหว่าง Cd:Al ต่าง ๆ กัน.....66
ภาคผนวก ข ตารางแสดงตำแหน่งระนาบที่สัมพันธ์กับค่ามุมแบรกก์ของ โครงสร้างผลึกแบบ hexagonal และ cubic ของ CdS.....67
ภาคผนวก ค ภาพแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผงอลูมินา.....68

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ภาคผนวก ง ภาพแสดงไดอะแกรมของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ UV-VIR-NIR (spectrometer) และวิธีการวัดการส่งผ่านแสง.....69

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างแบบ Zincblende ของ CdS.....4
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างแบบ Wurtzite ของ CdS.....5
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนสถานะแบบตรงของโครงสร้างแถบพลังงานของโครงสร้างผลึก แบบ cubic.....10
รูปที่ 2.4 แสดงแผนภาพการส่งผ่านแสงในสารตัวอย่าง.....11
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอุปกรณ์เรืองแสงโดยไฟฟ้าของ Liang และ Lin.....14
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ ของอุปกรณ์เรืองแสงบนแผ่นซิลิกอน ชนิดเอ็น แสดงด้วยเส้นทึบ และแผ่นซิลิกอนชนิดพีแสดงด้วยเส้นประ.....14
รูปที่ 2.7 แสดงการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน ของผลึกแคดเมียมซัลไฟด์.....15
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเกิดโพลีเมอร์ (ก) การไฮโดรไลซิส (ข) การควบแน่น.....17
รูปที่ 3.2 แสดงผิวด้านนอกของเจลที่มีความเค้นแตกต่างกันจนทำให้เกิดรอยร้าว.....18
รูปที่ 3.3 แสดงการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แบบต่าง ๆ จากเทคนิคโซล-เจล.....19
รูปที่ 3.4 กระบวนการจุ่มเคลือบฟิล์มฟิล์ม ทั้ง 5 ขั้นตอน.....24
รูปที่ 3.5 แสดงรูปแบบการไหลที่มีความต่อเนื่องขณะจุ่มเคลือบฟิล์มฟิล์มโดย U คือ ความเร็ว ของการจุ่ม S คือ จุดหยุดนิ่งของสารละลาย (stagnation point) δ คือ ชั้นรอยต่อ (boundary layer) h คือ ความหนาของฟิล์ม.....25
รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงกระบวนการจุ่มเคลือบฟิล์ม และการเกิดฟิล์มขณะที่มี การไหล การระเหย และการควบแน่นของตัวทำละลาย.....26
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มกับความหนืด ที่ดึง ฟิล์มด้วยอัตราเร็วต่างกัน.....27
รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องจุ่มเคลือบฟิล์ม ซึ่งขับเคลื่อนด้วย DCมอเตอร์.....28
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการขับมอเตอร์.....28
รูปที่ 3.10 Kipp gas generator สำหรับเตรียมแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์.....30
รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการเตรียมแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์.....31
รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะการเซ็ดฟิล์มด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เพื่อนำไปวัด ความหนาด้วยเครื่อง Dektak.....32
รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมฟิล์ม.....33

หน้า

รูปที่ 3.14 แสดงโครงสร้างของฟิล์มสำหรับวัดลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์.....34
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโมล ระหว่าง Cd:Al กับความหนืด.....35
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ที่เตรียมได้มีสีเหลือง พื้นผิวเรียบ.....36
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับความหนาของฟิล์ม ที่ทำการจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้งเท่ากัน.....37
รูปที่ 4.4 แสดงแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผงเจลที่ไม่ผสม aluminum isopropoxide.....38
รูปที่ 4.5 แสดงค่ามาตรฐานการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผลึก CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ cubic.....39
รูปที่ 4.6 แสดงแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ของผงเจลที่ผสม aluminum isopropoxide.....39
รูปที่ 4.7 ผลการวัดปริมาณธาตุก่อนผ่านแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ของฟิล์ม ซึ่งเตรียมฟิล์มจากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.09 โมลต่อลิตร ทำการจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....41
รูปที่ 4.8 ผลการวัดปริมาณธาตุหลังผ่านแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ของฟิล์ม ซึ่งเตรียมฟิล์มจากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.09 โมลต่อลิตร ทำการจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....41
รูปที่ 4.9 ผลการวัดปริมาณธาตุก่อนผ่านแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ของฟิล์ม ซึ่งเตรียมฟิล์มจากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.15 โมลต่อลิตร ทำการจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....42
รูปที่ 4.10 ผลการวัดปริมาณธาตุหลังผ่านแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ของฟิล์ม ซึ่งเตรียมฟิล์มจากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.15 โมลต่อลิตร ทำการจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....42
รูปที่ 4.11 ผลการวัดปริมาณธาตุหลังผ่านแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ของฟิล์ม ซึ่งเตรียมฟิล์มจากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.06 โมลต่อลิตร ทำการจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....43
รูปที่ 4.12 ผลการวัดปริมาณธาตุหลังผ่านแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ของฟิล์ม ซึ่งเตรียมฟิล์มจากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.18 โมลต่อลิตร ทำการจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....43

หน้า

รูปที่ 4.13 ภาพจากเครื่อง TEM แสดงอลูมินาที่ผสมอยู่ในผงเจล.....45
รูปที่ 4.14 ภาพจากเครื่อง TEM ของผลึกแคดเมียมซัลไฟด์.....46
รูปที่ 4.15 ภาพจาก TEM ของอลูมินาที่เตรียมโดยกระบวนการโซล-เจล.....46
รูปที่ 4.16 ภาพแสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของฟิล์ม
ที่เตรียมจากสารละลายความเข้มข้น 0.09 โมลต่อลิตร.....48
รูปที่ 4.17 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงและพลังงานโฟตอน
ของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.09 โมลต่อลิตร.....49
รูปที่ 4.18 ภาพแสดงวิธีการที่นำมาใช้หาช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์ม ซึ่งตรียม
จากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.09 โมลต่อลิตร.....50
รูปที่ 4.19 ภาพแสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของฟิล์ม
ที่เตรียมจากสารละลายความเข้มข้น 0.12 โมลต่อลิตร.....51
รูปที่ 4.20 ภาพแสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของฟิล์ม
ที่เตรียมจากสารละลายความเข้มข้น 0.15 โมลต่อลิตร.....51
รูปที่ 4.21 ภาพแสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของฟิล์ม
ที่เตรียมจากสารละลายความเข้มข้น 0.18 โมลต่อลิตร.....52
รูปที่ 4.22 ภาพแสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของฟิล์ม
ที่เตรียมจากสารละลายความเข้มข้น 0.21 โมลต่อลิตร.....52
รูปที่ 4.23 ภาพแสดงวิธีการที่นำมาใช้หาช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์ม ซึ่งตรียม
จากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.12 โมลต่อลิตร.....53
รูปที่ 4.24 ภาพแสดงวิธีการที่นำมาใช้หาช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์ม ซึ่งตรียม
จากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.15 โมลต่อลิตร.....53
รูปที่ 4.25 ภาพแสดงวิธีการที่นำมาใช้หาช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์ม ซึ่งตรียม
จากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.18 โมลต่อลิตร.....54
รูปที่ 4.26 ภาพแสดงวิธีการที่นำมาใช้หาช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์ม ซึ่งตรียม
จากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.21 โมลต่อลิตร.....54
รูปที่ 4.27 ภาพแสดงเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์ม ITO ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ.....55
รูปที่ 4.28 ภาพแสดงวิธีการที่นำมาใช้หาช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์ม ITO.....56

หน้า

รูปที่ 4.29 กราฟแสดงลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ ของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลาย ที่มีความเข้มข้น 0.06 โมลต่อลิตร และจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....57
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ ของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลาย ที่มีความเข้มข้น 0.09 โมลต่อลิตร และจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....57
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ ของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลาย ที่มีความเข้มข้น 0.12 โมลต่อลิตร และจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....58
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ ของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลาย ที่มีความเข้มข้น 0.15 โมลต่อลิตร และจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10.....58
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ ของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลาย ที่มีความเข้มข้น 0.18 โมลต่อลิตร และจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....59
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ ของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลาย ที่มีความเข้มข้น 0.21 โมลต่อลิตร และจุ่มเคลือบฟิล์มจำนวน 10 ครั้ง.....59
รูปที่ 4.35 ลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ ของโครงสร้าง MIS.....60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณสารในการเตรียมฟิล์ม ที่อัตราส่วนโมลต่าง ๆกัน 22
ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณสารในการเตรียมฟิล์ม ที่อัตราส่วนโมล Cd:Al เท่ากับ 1:4 โดยมีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....23
ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราส่วนเปอร์เซนต์ของธาตุแคดเมียมต่อซัลไฟด์ ของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....44
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าของอนุภาคที่วัดได้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในภาพ กำลังขยาย 240,000 เท่า.....47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย