การเตรียมฟิล์มบางแคดเมี่ยมซัลไฟด์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์โดยเทคนิคการเคลือบแบบอาบสารเคมี

นายสิงหเดช แตงจวง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974 - 633 - 330 - 5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17262409

Preparation of Cadmium Sulfide Thin Film for Solar Cells by Chemical Bath Deposition Technique

Mr. Singhadej Tangjuank

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Physics
Graduate School
Chulalongkorn University
1996

ISBN 974 - 633 - 330 - 5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมฟิล์มบางแคดเมี่ยมซัลไฟด์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์โดยเทคนิคการเคลือบแบบอาบสารเคมี
โดย	นายสิงหเดช แตงจวง
ภาควิชา	ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขจรยศ อยู่ดี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิตร เส็งหะพันธุ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ยุทธ อัครมาส)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สิงหเดช แตงจวง : การเตรียมฟิล์มบางแคดเมี่ยมซัลไฟด์สำหรับเซลล์ แสงอาทิตย์โดยเทคนิคการเคลือบแบบอาบสารเคมี (PREPARATION OF CADMIUM SULIFDE THIN FILM FOR SOLAR CELLS BY CHEMICAL BATH DEPOSITION TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์ , 132 หน้า . ISBN 974-633-330-5

ได้พัฒนาวิธีการเตรียมฟิล์มบาง CdS บนแผ่นรองรับกระจก โดยวิธีอาบสารเคมี ฟิล์มเตรียมได้ที่อุณหภูมิ 65 , 75 และ 80 °C มีผิวเรียบ ค่าความต้านทานแผ่นประมาณ 10^{11} Ω/□ และช่องว่างแถบพลังงานมีค่าประมาณ 2.47 - 2.60 eV การส่งผ่านแสงประมาณ 80 % สำหรับพลังงานโฟตอนน้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงาน และความต้านทานแผ่นของฟิล์มสามารถทำให้ลดลงได้โดยการโดปด้วยคลอรีนในสารละลายของ $HgCl_2$ 0.01 molar โดยการจุ่มฟิล์มลงในสารละลายเป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยการแอนนีลฟิล์มในบรรยากาศของกาซไนโตรเจน หรือในอากาศที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 20 นาที ความต้านทานแผ่นของฟิล์มลดลงมาอยู่ในช่วง 10^5 - 10^6 Ω/□ ขณะที่ช่องว่างแถบพลังงานมีค่าลดลงประมาณ 2.36- 2.57 eV เมื่ออุณหภูมิการแอนนีลสูงขึ้น การเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการนี้ได้ถูกใช้ในการเตรียมชั้น CdS ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางของเซลล์ ZnO(Al)/CdS/$CuInSe_2$/MO ได้ประสิทธิภาพ 2.5% ซึ่งวัดภายใต้ความเข้มแสง 844 W/m^2 ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชาฟิสิกส์ (SPRL)

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C625409 : MAJOR PHYSICS
KEY WORD: CADMIUM SULFIDE/THIN FILM/CHEMICAL BATH DEPOSITION
SINGHADEJ TANGJUANK : PREPARATION OF CADMIUM SULIFDE THIN FILM FOR SOLAR CELLS BY CHEMICAL BATH DEPOSITION TECHNIQUE . THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.KIRANANT RATANATHAMMAPAN . 132 pp. ISBN 974-633-330-5

A method for the preparation of CdS thin films on glass substrate by chemical bath deposition was developed. The films prepared at 65 , 75 and 80 °C have a smooth surface with sheet resistance of about $10^{11}\Omega/\square$, and an energy gap of about 2.47 - 2.60 eV. Optical transmittance is about 80 % for photon energy less than enery gap. The sheet resistance of the films can be lowered by doping with chlorine in doping solution of 0.01 molar $HgCl_2$ by immersing the films into solution for 10 minutes followed by annealing in N_2 atmosphere or in air for 20 minutes at 200 °C . It was found that the sheet resistance can be reduced to the value of 10^5 - 10^6 $\Omega/\square$ while the energy gap decreases to be about 2.36-2.57 eV as annealing temperature increases . The preparation of CdS Films by chemical bath deposition technique was used to prepare CdS films layer of thin film ZnO(Al)/CdS/$CuInSe_2$/Mo solar cells with cells efficiency of 2.5% which have been measured under 844 W/m^2 illumination at the Semiconductor Physics Research Laboratary (SPRL).

ภาควิชา ฟิสิกส์ ..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรยศ อยู่ดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงษ์ ฉัตราภรณ์ และ อาจารย์พงษ์ ทรงพงษ์ ที่ได้ให้คำแนะนำติดตาม และควบคุมการวิจัยอย่างใกล้ชิด รวมทั้งตรวจแก้ไขข้อเขียนวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม ที่ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการและการเตรียมสารเคมี อาจารย์สมฤทธิ์ วงศ์มณีโรจน์ ที่ช่วยประดิษฐ์อุปกรณ์และให้คำแนะนำในการใช้ คุณณรงค์ แสงแก้ว ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการวัดสมบัติเชิงแสง อาจารย์ชาญวิทย์ จิตยุทธการ ที่ให้คำแนะนำในการวัดที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง พร้อมทั้งคณะวิจัยฟิสิกส์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ

ส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติโดยผ่านทางสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในโครงการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง ผู้เขียนจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องที่คอยให้กำลังใจตลอดเวลาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูป.....ญ
บทที่
1. บทนำ.....1
2. โครงสร้างผลึกและโครงสร้างแถบพลังงาน.....3
โครงสร้างผลึกของแคดเมี่ยมซัลไฟด์.....3
1. Cubic zinc sulfide structure (Zincblende).....3
2. Hexagonal zinc sulfide (Wurtzite) structure.....4
โครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมี่ยมซัลไฟด์.....6
ดรรชนีมิลเลอร์.....8
1. ดรรชนีมิลเลอร์ของระนาบในเซลล์หน่วยลูกบาศก์.....8
2. ดรรชนีระนาบในเซลล์หน่วยเฮกซะโกนอล.....9
การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....10
1. การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....10
2. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก.....11
โครงสร้างผลึกแบบซิงเบลนด์ (Zincblende).....11
โครงสร้างผลึกแบบ Wurtzite.....12
3. สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ.....13
ทฤษฎีการดูดกลืนแสง.....13
การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำแคดเมี่ยมซัลไฟด์.....16
การวัดสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำในสารตัวอย่าง.....17

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

4. สมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ.....20

ความหนาแน่นของพาหะอิสระที่สภาวะสมดุลเชิงความร้อน.....20

สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์.....21

สารกึ่งตัวนำแบบไม่บริสุทธิ์.....25

สภาพต้านทานไฟฟ้า.....30

การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า.....32

5. การเตรียมฟิล์มบางแคดเมี่ยมซัลไฟด์โดยเทคนิคการเคลือบด้วย

การอาบสารเคมี.....36

ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางแคดเมี่ยมซัลไฟด์.....38

การวัดความหนาของฟิล์มบางโดยเทคนิคโทลานสกี้.....40

การวัดความต้านทานแผ่น.....41

6. ผลการทดลองและวิเคราะห์.....43

การวัดความหนา.....43

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....44

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยเครื่อง SEM.....52

การวิคราะห์สมบัติเชิงแสง.....65

การวิเคราะห์สมบัติเชิงไฟฟ้า.....105

7. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....124

รายการอ้างอิง.....126

ภาคผนวก.....129

ประวัติผู้เขียน.....132

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงค่า correction factor สำหรับการวัดฟิล์ม.....34

6.1 แสดงตำแหน่งระนาบที่สัมพันธ์กับค่ามุมแบรกก์ของโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal และแบบ cubic ของ CdS 46

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงโครงสร้างแบบเพชร	4
2.2	แสดงโครงสร้างแบบ Zincblende	4
2.3	แสดงการจัดเรียงตัวระนาบของกลุ่มอะตอมแบบ Zincblende และ Wurtzite	5
2.4	แสดงโครงสร้างแบบ Wurtzite ของ CdS	5
2.5	แสดงบริลลันโซนของโครงสร้างแบบ cubic และ wurtzite	6
2.6	แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของ CdS แบบ cubic และ wurtzite	7
2.7	แสดงดรรชนีมิลเลอร์ของระนาบผลึกแบบ cubic	8
2.8	แสดงดรรชนีระนาบของโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal	9
3.1	แสดงการเปลี่ยนสถานะแบบตรง	15
3.2	แสดงการทดลองการส่งผ่านแสงใน sample	17
4.1	แสดงความหนาแน่นสถานะของแถบการนำและแถบวาเลนซ์	21
4.2	แสดงไดอะแกรมแถบพลังงาน ความหนาแน่นของสถานะ การกระจายของของฟังก์ชั่นเฟอร์มิ-ไดแรก และความหนาแน่นพาหะอิสระ	26
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของอิเล็กตรอน กับส่วนกลับของอุณหภูมิ	30
4.4	แสดงวิธีการวัดความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง	33
4.5	แสดงขนาดของฟิล์มยาว l กว้าง w หนา d	33
4.6	แสดงค่า correction factor ของการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า ด้วยวิธี van der Pauw	35
5.1	แสดงอุปกรณ์การเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธี CBD	38
5.2	การวัดความหนาของฟิล์มบางโดยเทคนิคโทลานสกี้	40
5.3	การวัดความหนาฟิล์มบางจากภาพขยายด้วยคอมพิวเตอร์	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.4	แสดงวงจรไฟฟ้าสำหรับการวัดความต้านทานแผ่น	42
6.1	แสดงความหนาของฟิล์มที่สัมพันธ์กับเวลาของการจุ่มฟิล์มในสารละลาย	44
6.2	แสดงการเปรียบเทียบแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CdS เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 65 , 75 , 80 °C	47
6.3	แสดงการเปรียบเทียบแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CdS เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 65 °C กับฟิล์มแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C ในกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	48
6.4	แสดงการเปรียบเทียบแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CdS เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาทีที่อุณหภูมิ 75 °C กับฟิล์มแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C ในกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	49
6.5	แสดงการเปรียบเทียบแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CdS เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 80 °C กับแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C	50
6.6	แสดงค่ามาตราฐานแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผลึก CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal และ Cubic	51
6.7	แสดงเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย SEM	52
6.8	แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที	54
6.9	แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วแอนนีลที่อุณหภูมิ 200 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.10 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่ อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาทีแล้วแอนนีลที่ อุณหภูมิ 300 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็น เวลา 20 นาที.....55

6.11 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่ อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาทีแล้วแอนนีลที่ อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็น เวลา 20 นาที.....55

6.12 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที.....56

6.13 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วแอนนีลที่อุณหภูมิ 200 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที.....57

6.14 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที.....57

6.15 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที 58

6.16 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที แล้วแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที.....58

6.17 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที 59

6.18 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที แล้วแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที.....60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.19 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่ อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วจุ่มลงใน สารละลาย $HgCl_2$ 0.01 molar ในเวลา 10 นาที.....60

6.20 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่ อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วจุ่มลงใน สารละลาย $HgCl_2$ 0.01 molar เป็นเวลา 10 นาที และแอนนีล ที่อุณหภูมิ 200 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที.....61

6.21 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่ อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วจุ่มลง ในสารละลาย $HgCl_2$ 0.01 molar เป็นเวลา 10 นาที และแอนนีล ที่อุณหภูมิ 300 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที.....61

6.22 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วจุ่มลงในสารละลาย $HgCl_2$ 0.01 molar เป็นเวลา 10 นาที และแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C ใน บรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที.....62

6.23 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที 62

6.24 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วแอนนีลที่อุณหภูมิ 200 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที.....63

6.25 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที.....63

6.26 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที 64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.27 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที แล้วแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที....64

6.28 ไดอะแกรมแสดงวิธีการวัดการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตรมิเตอร์ UV-160A....66

6.29 แสดงการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาการเตรียม 30 - 180 นาที....69

6.30 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.29....70

6.31 แสดงการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาการเตรียม 30 - 120 นาที....71

6.32 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.31....72

6.33 แสดงการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาการเตรียม 30 - 120 นาที....73

6.34 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.33....74

6.35 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 90 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนีลกับฟิล์มที่แอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที....75

6.36 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.35....76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.37 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนีลกับฟิล์มที่แอนนีลในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที....77

6.38 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.37....78

6.39 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนีลกับฟิล์มที่แอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที....79

6.40 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.39....80

6.41 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนีลกับฟิล์มที่แอนนีลในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที....81

6.42 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.41 82

6.43 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนีลกับฟิล์มที่แอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที....83

6.44 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.43....84

6.45 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียม ที่อุณหภูมิ 80°C ใช้เวลาเตรียม 30 นาทีระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนีลกับฟิล์มที่แอนนีลในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที....85

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.46 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.45 86

6.47 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C แล้วเติมสารเจือ $HgCl_2$ ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาเตรียม 30 - 180 นาที 87

6.48 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.47 88

6.49 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C แล้วเติมสารเจือ $HgCl_2$ ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาเตรียม 30 - 120 นาที 89

6.50 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.48 90

6.51 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C และเติมสารเจือ $HgCl_2$ ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาเตรียม 30 - 120 นาที 91

6.52 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.51 92

6.53 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียม ที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 90 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติม สารเจือ $HgCl_2$ กับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ แล้วแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที 93

6.54 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.53 94

6.55 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ กับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ แล้วแอนนีลในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที 95

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.56 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูป ที่ 6.55 96

6.57 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียม ทีอุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ กับ ฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ แล้วแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที 97

6.58 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS รูปที่ 6.57 98

6.59 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ กับฟิล์ม ที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ แล้วแอนนีลในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที 99

6.60 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.59 100

6.61 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่ อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ กับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ แล้วแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจน 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที 101

6.62 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.61 102

6.63 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่ อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ กับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ แล้วแอนนีลในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที 103

6.64 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.63 104

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.65 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับเวลาของการเคลือบฟิล์มของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 , 75 , 80 °C.....110
6.66 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับเวลาของการเคลือบฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ 110
6.67 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจน ของฟิล์มเตรียมที่ อุณหภูมิ 65 °C ที่ความหนาต่างๆกัน 111
6.68 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ความหนาต่างๆกัน 111
6.69 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C และเติมสารเจือ $HgCl_2$ ที่ความหนาต่างๆกัน.....112
6.70 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C และเติมสารเจือ $HgCl_2$ ที่ความหนาต่างๆกัน 112
6.71 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$.....113
6.72 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$.....113
6.73 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับเวลาของการเคลือบฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$.....114

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.74 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ที่ความหนาต่างๆกัน.....114

6.75 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ที่ความหนาต่างๆกัน.....115

6.76 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C และเติมสารเจือ $HgCl_2$ ที่ความหนาต่างๆกัน.....115

6.77 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C และเติมสารเจือ $HgCl_2$ ที่ความหนาต่างๆกัน.....116

6.78 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศกาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ 116

6.79 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ 117

6.80 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับเวลาของการเคลือบฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ 117

6.81 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ที่ความหนาต่างๆกัน.....118

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.82 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ที่ความหนาต่างๆกัน.....118

6.83 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียม ที่อุณหภูมิ 80 °C และเติมสารเจือ $HgCl_2$ ที่ความหนาต่างๆกัน.....119

6.84 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C และเติมสารเจือ $HgCl_2$ ที่ความหนาต่างๆกัน.....119

6.85 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศกาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ 120

6.86 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ $HgCl_2$ 120

6.87 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH_4Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ $Hg_2(CH_3COO)_2$ 121

6.88 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH_4Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ $Hg_2(CH_3COO)_2$ 121

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.89 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH_4Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ $Hg_2(CH_3COO)_2$ 122

6.90 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH_4Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ $Hg_2(CH_3COO)_2$ 122

6.91 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH_4Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ $Hg_2(CH_3COO)_2$ 123

6.92 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนีลในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH_4Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ $Hg_2(CH_3COO)_2$ 123