



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ฟิสิกส์)

ปริญญา

ฟิสิกส์

ฟิสิกส์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาสมบัติของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เคลือบบนผลึกพหุพันธ์แคดเมียมเทลลูไรด์โดยวิธีอาบสารละลายเคมีเพื่อประยุกต์เป็นเซลล์สุริยะ

Study of CdS Thin Film Coated on CdTe Polycrystalline Substrate by Chemical Bath Deposition Method for Solar Cell Application.

นางผู้วิจัย นางสาวชลีพร สุวัฒนาพิบูล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชิดศักดิ์ คุณสมบัติ, วท.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรศักดิ์ เชียงกา, Dr.rer.nat.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สมจิตต์ ปาละกาศ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ศิวาพร สหวัฒน์, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาสมบัติของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เคลือบบนผลึกพหุพันธ์แคดเมียมเทลลูไรด์โดยวิธี
อาบสารละลายเคมีเพื่อประยุกต์เป็นเซลล์สุริยะ

Study of CdS Thin Film Coated on CdTe polycrystalline Substrate by Chemical Bath Deposition
Method for Solar Cell Application.

โดย

นางสาวชุลีพร สุวัฒนาพิบูล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์)

พ.ศ. 2552

ชูลีพร สุวัฒนาพิบูล 2552: การศึกษาสมบัติของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เคลือบบน
ผลึกพหุพันธ์แคดเมียมเทลลูไรด์โดยวิธีอบสารละลายเคมีเพื่อประยุกต์เป็นเซลล์สุริยะ
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์) สาขาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชิดศักดิ์ คุณสมบัติ, วท.ด. 62 หน้า

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เคลือบบน
ผลึกพหุพันธ์แคดเมียมเทลลูไรด์โดยวิธีอบสารละลายเคมี อุณหภูมิที่ใช้ในการอบสารละลายมี
ค่า 40 °C ถึง 80 °C โดยมีการกวนสารละลายตลอดเวลา ค่า pH ของสารละลายประมาณ 10-11.5
หลังจากนั้นนำฟิล์มที่เตรียมได้ไปเจือปนด้วยสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ แล้วนำฟิล์มไปศึกษา
โครงสร้างผลึก คุณสมบัติเชิงแสงและคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า พบว่า โครงสร้างผลึกเชิงมหภาคที่
ศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน มีโครงสร้างผลึกทั้งแบบคิวบิกและแบบเฮกซะ
โกนอล ลักษณะการเรียงตัวของผลึกเป็นแถวต่อกัน ขนาดเกรนของฟิล์มมีค่า 15-33 นาโนเมตร
จากการศึกษาโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ค่าช่องว่างแถบพลังงานที่หาได้จากสเปกตรัม
การสะท้อนแสงจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มีค่าเท่ากับ 2.21 อิเล็กตรอนโวลต์ ส่วนค่าความ
ต้านทานแผ่นและค่าความไวแสงจะทำการศึกษาโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น พบว่า ค่าความต้านทาน
แผ่นจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการอบสารละลาย การตอบสนองต่อแสง
ของฟิล์มที่เจือปนจะมีความไวต่อแสงมากกว่าฟิล์มที่ไม่ได้เจือปน จากการศึกษาที่กล่าวมา จะพบ
ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการอบสารละลาย ขนาดเกรน และการตอบสนองต่อแสง ที่บ่งถึง
คุณสมบัติที่ดีในการนำไปพัฒนาเป็นเซลล์สุริยะประสิทธิภาพสูงได้

Chuleeporn Suwattanaphiboon 2009: Study of CdS Thin Film Coated on CdTe polycrystalline Substrate by Chemical Bath Deposition Method for Solar Cell Application. Master of Science (Physics), Major Field: Physics, Department of Physics. Thesis Advisor: Assistant Professor Cherdasak Kunsombat, Ph.D. 62 pages.

Cadmium Sulphide (CdS) thin films have been deposited by chemical bath deposition method (CBD) on CdTe substrates. The temperature of the deposition was varied from 40 °C to 80°C under stirring, pH of complexing agent about 10-11.5 and doping by CdCl₂. The doping sample was sensitive with visible light and sensitivity increases when compared with undoping sample. The morphology was composed of small columnar crystals, characterized by TEM. The crystallographic structure contains a mixture of hexagonal and cubic structures, the grain size between 15-33 nm observed study by XRD. The energy gap of 2.21 eV for undoping sample were calculated by reflectance spectra using UV-VIS spectrometer. This study showed the correlation of deposition temperature, grain size and sensitivity which indicated that some properties of high efficiency CdS/CdTe Solar Cells

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ. นพปฎล สุทธิศิริ ผู้ควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. เชิดศักดิ์ คุณสมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. สุรศักดิ์ เชียงกา กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก ดร. สมจิตต์ ปาละภาส กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชารอง ที่ให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ รศ. เพ็ญจันทร์ ชิงห์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ รศ. ดร. ฐิตินัย แก้วแดง และ รศ. งามนิตย์ วงษ์เจริญ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งได้อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการและให้คำปรึกษาแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา สำหรับทุกสิ่งทุกอย่างที่ช่วยเหลือ ดูแลและให้กำลังใจอันเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ผ่านความยากลำบากในการศึกษานี้ไปได้ ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณ ความชอบทั้งปวงแก่ผู้ให้ชีวิตทั้งสองของข้าพเจ้า และท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณ รุ่นพี่ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคน สำหรับคำปรึกษา ความช่วยเหลือประสบการณ์ต่างๆ กำลังกายและกำลังใจที่มีให้เสมอมา

ชลีพร สุวัฒนาพิบูล

เมษายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์	27
สรุปและข้อเสนอแนะ	51
สรุป	51
ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	55
ภาคผนวก	58
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	62

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงระนาบผลึกและมุม 2θ ของฟิล์ม CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ	28
2	แสดงค่าคงที่ของผลึกของฟิล์ม CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ	29
3	แสดงลักษณะที่พิจารณาได้จากภาพถ่าย TEM	40
4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอ่างอบสารละลายกับค่าช่องว่างพลังงานของฟิล์ม CdS/CdTe	43
5	แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์ม CdS ที่เคลือบบนผลึกพหุพันธ์ CdTe	49
6	แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์ม CdS/CdTe CdS ที่เคลือบบนผลึกพหุพันธ์ CdTe แล้วนำไปเจือด้วย CdCl_2	50
7	ความสัมพันธ์จากการศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของฟิล์ม CdS/CdTe	52

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของแบรกก์	11
2	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการเลี้ยวเบนที่มุม 2θ ของผลึก SiC	11
3	แสดงวิธีการหา $\beta_{2\theta}$ เพื่อนำไปหาขนาดของเกรนจากสเปกตรัมของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	12
4	แสดงสเปกตรัมการสะท้อน R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้จากการวัด, R_s คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแผ่น และ R_{∞} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนตั้งฉาก	15
5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าดัชนีหักเห	17
6	แสดงขนาดของฟิล์มยาว l กว้าง w หนา d	19
7	แสดงการต่อวงจรในการวัดค่าความต้านทานแผ่นโดยวิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสองขั้วเชิงเส้น	20
8	พลาสติกเทฟลอนสำหรับบรรจุแผ่นรองรับ	21
9	แสดงการจัดเรียงอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม CdS/CdTe โดยวิธีอบสารละลายเคมี	22
10	แสดงการจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมผิวหน้าผลึกแคลเซียมเทลลูไรด์	23
11	เตาเผาพิสัยอุณหภูมิ 30-3000°C ผลิตโดยบริษัท Nabertherm	23
12	แสดงฟิล์ม CdS/CdTe ที่อบสารละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ	27
13	แสดงฟิล์ม CdS/CdTe ที่อบสารละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วนำไปเจือด้วย CdCl ₂	27
14	แสดงฟิล์ม CdS บนกระจกสไลด์ที่อบสารละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ	27
15	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และระนาบของฟิล์มบาง CdS ที่เคลือบลงบนกระจกสไลด์ ณ อุณหภูมิ 40-80°C	29
16	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CdS ที่เคลือบลงบนกระจกสไลด์ ณ อุณหภูมิ 40-80°C	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40° C	31
18	แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 50° C	31
19	แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 60° C	32
20	แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 70° C	32
21	แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 80° C	33
22	แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางฟิล์มบาง CdS /CdTe 50° C	33
23	ภาพถ่ายจาก TEM ของฟิล์มCdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40° C (a) แสดงลักษณะผลึกของฟิล์ม (b) แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ C(311)	35
24	ภาพถ่ายจาก TEM ของฟิล์มCdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 50° C (a) แสดงลักษณะผลึกของฟิล์ม (b) แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ H(102)	36
25	ภาพถ่ายจาก TEM ของฟิล์มCdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 60° C (a) แสดงลักษณะผลึกของฟิล์ม (b) แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ C(220)	37
26	ภาพถ่ายจาก TEM ของฟิล์มCdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 70° C (a) แสดงลักษณะผลึกของฟิล์ม (b) แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ C(220)	38
27	ภาพถ่ายจาก TEM ของฟิล์มCdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 80° C (a) แสดงลักษณะผลึกของฟิล์ม (b) แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ H(103)	39
28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนของฟิล์มที่ อบสารละลาย ณ อุณหภูมิต่าง ๆ	41
29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนของฟิล์มที่ อบสารละลาย ณ อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วนำไปเจือด้วย CdCl ₂	41
30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างแถบพลังงานกับครรชนหักเหของฟิล์ม CdS ที่ ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40° C	42
31	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างแถบพลังงานกับครรชนหักเหของฟิล์ม CdS ที่ ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 50° C	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
32	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างแถบพลังงานกับครรชนหักเหของฟิล์ม CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 50° C	43
33	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 40° C	44
34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 40° C แล้วทำการเจือด้วย CdCl ₂	44
35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 50° C	45
36	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 50° C แล้วทำการเจือด้วย CdCl ₂	45
37	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 60° C	46
38	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 60° C แล้วทำการเจือด้วย CdCl ₂	46
39	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 70° C	47
40	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 70° C แล้วทำการเจือด้วย CdCl ₂	47
41	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 80° C	48
42	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 80° C แล้วทำการเจือด้วย CdCl ₂	48
43	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอ่างอบสารละลายกับความต้านทานแผ่นของฟิล์ม CdS ที่เคลือบบนผลึกพหุพันธ์ CdTe	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- 44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอย่างอาบสารละลายกับความต้านทานแผ่นของ
ฟิล์ม CdS ที่เคลือบบนผลึกพหุพันธ์ CdTe แล้วนำไปเจือด้วย CdCl_2 50

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CdS	=	แคดเมียมซัลไฟด์
CdTe	=	แคดเมียมเทลลูไรด์
CdS/CdTe	=	แคดเมียมซัลไฟด์บนผลึกพหุพันธ์แคดเมียมเทลลูไรด์
CdCl ₂	=	แคดเมียมคลอไรด์
n	=	ดรรชนีหักเห
T _D	=	อุณหภูมิอ่างอาบสารละลาย
D	=	ขนาดเกรน
E _g	=	ช่องว่างแถบพลังงาน
eV	=	อิเล็กตรอน โวลต์
R _s	=	ความต้านทานแผ่น
CBD	=	การอาบสารละลายเคมี (Chemical Bath Deposition)
XRD	=	การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction)

การศึกษาสมบัติของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เคลือบบนผลึกพหุพันธ์แคดเมียมเทลลูไรด์โดยวิธีอบสารละลายเคมีเพื่อประยุกต์เป็นเซลล์สุริยะ

Study of CdS Thin Film Coated on CdTe polycrystalline Substrate by Chemical Bath Deposition Method for Solar Cell Application

คำนำ

เซลล์สุริยะเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ทันทีที่มีแสงตกกระทบ จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทันทีและไฟฟ้าที่ได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เซลล์สุริยะเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าสะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใด ๆ ขณะใช้งาน ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมเพียงติดตั้งไว้กลางแสงแดดก็สามารถใช้งานได้ทันที โดยไม่สร้างเสียงรบกวนและยังเป็นการประหยัดน้ำมัน สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างไม่มีสิ้นสุด มีอายุการใช้งานยาวนาน

เซลล์สุริยะชนิดฟิล์มบางมีวิธีการเตรียมได้หลายวิธี แต่วิธีอบสารละลายเคมีเป็นวิธีการที่นิยมในการเตรียมเพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์สุริยะเนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายและไม่ยุ่งยากมากนักในการเตรียม สามารถเตรียมฟิล์มได้ในพื้นที่ตามที่ต้องการ จึงเหมาะสมกับอุตสาหกรรมของการผลิตเซลล์สุริยะ ส่วนมากนิยมใช้กระจกสไลด์เป็นแผ่นรองรับ เนื่องจากง่ายและสะดวกในการเตรียมอีกทั้งการนำฟิล์มที่เตรียมแล้วไปศึกษาสมบัติการส่งผ่านแสงทำได้ง่าย ฟิล์มที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีนี้อาจจะมีข้อเสียคือฟิล์มที่ติดบนแผ่นรองรับอาจหลุดออกมาได้ง่าย สำหรับการทำการวิจัยครั้งนี้จะเป็นการเตรียมฟิล์ม CdS ด้วยวิธีอบสารละลายเคมี แต่ใช้ผลึก CdTe เป็นแผ่นรองรับ แล้วนำมาศึกษาคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ เช่น โครงสร้างและสมบัติทางแสง แล้วนำมาประดิษฐ์เป็นเซลล์สุริยะโดยการนำทำให้เกิดขั้วบนแผ่นฟิล์มบางที่ได้แล้วนำมาศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่ประดิษฐ์ได้

วัตถุประสงค์

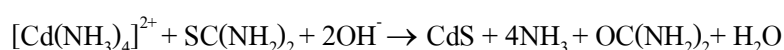
1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์ม CdS โดยวิธีอาบสารละลายเคมี
2. เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างเชิงจุลภาคของฟิล์ม CdS โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD)
3. เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างเชิงมหภาคของฟิล์ม CdS/CdTe โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope, TEM)
4. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงแสงของฟิล์ม CdS/CdTe โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (UV-VIS spectrometer)
5. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าของฟิล์ม CdS/CdTe โดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น (linear two point probe method)
6. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอ่างอาบสารละลายต่าง ๆ และฟิล์มที่ผ่านการเจือด้วย CdCl_2

การตรวจเอกสาร

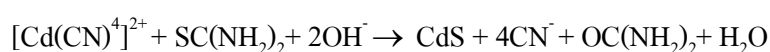
การเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี

วิธีการอาบสารละลายเคมี คือ วิธีการที่จุ่มแผ่นรองรับ(Substrate) ลงในภาชนะที่บรรจุสารละลายที่ประกอบด้วยเกลือของแคดเมียม เช่น แคดเมียมซัลเฟต (CdSO_4), แคดเมียมคลอไรด์ (CdCl_2), แคดเมียมไอโอไดด์ (CdI_2) เป็นต้น ร่วมกับ ไธโอยูเรีย ($\text{SC}(\text{NH}_2)_2$) ซึ่งจะแตกตัวให้อิออนของซัลเฟอร์ที่อุณหภูมิต่ำไม่เกิน $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในสารละลายที่มีความเป็นเบส $\text{pH} > 9$ กระบวนการเคลือบฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์เกิดจากการรวมตัวกันของแคดเมียมไอออน (Cd^{2+}) ที่แตกตัวจากเกลือของแคดเมียมซึ่งอยู่ในรูปของสารเชิงซ้อนและซัลเฟอร์ไอออน (S^{2-}) ที่แตกตัวมาจากไธโอยูเรีย ในสารละลายอย่างช้า ๆ การเคลือบเป็นฟิล์มบางของแคดเมียมซัลไฟด์จะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณของแคดเมียมไอออนและซัลเฟอร์ไอออนมากกว่าค่าผลิตภัณฑ์ของการละลายของแคดเมียมซัลไฟด์ (Solubility Product ; K_{sp}) ซึ่งนี้ที่อุณหภูมิ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะมีค่าประมาณ 1.4×10^{-29} จึงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคดเมียมไอออนและซัลเฟอร์ไอออนเกิดเป็นฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์บนแผ่นรองรับ เนื่องจากเกลือของแคดเมียมจะอยู่ในรูปของสารเชิงซ้อนซึ่งมีหลายรูปแบบด้วยกัน ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงมีหลายแบบ เช่น

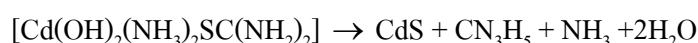
แบบที่ 1 Tetraammine complex



แบบที่ 2 Cyano complex

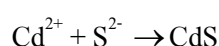
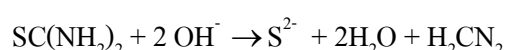
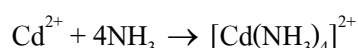
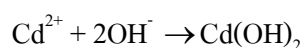
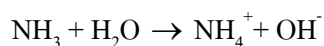


ในการวิจัยครั้งนี้ได้เตรียมฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์จากเกลือของแคดเมียมซัลเฟต โดยมีสมการหลักของการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนี้



แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้เกลือของแคดเมียมที่อยู่ในรูปของสารเชิงซ้อนเตตระอามีน (Tetraammine Complex) สำหรับการวิจัยครั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาจะอยู่ในรูปแบบที่ 1 เนื่องจากฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่ได้นั้นเตรียมขึ้นมาจากแคดเมียมไอออนของเกลือแคดเมียมซัลเฟต

กับซัลเฟอร์ไฮไดรด์ของไฮโดรเจน ในสารละลายแอมโมเนีย ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาในกรณีนี้จะพิจารณาได้ดังต่อไปนี้



การเคลือบฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์บนแผ่นรองรับมี 2 รูปแบบ ซึ่งแบ่งตามลักษณะการเกิดได้ดังนี้

1. กระบวนการควมแน่นของไฮไดรด์ระหว่างแคดเมียมไฮไดรด์กับซัลเฟอร์ไฮไดรด์ เมื่อพิจารณาจากสมการด้านบน พบว่าแอมโมเนีย (NH_3) ในสมการนี้จะทำให้สารละลายมีสมบัติเป็นเบสและเมื่อเติมเกลือของแคดเมียมลงไปจะทำให้แคดเมียมที่เติมลงไปอยู่ในรูปของสารแขวนลอยแคดเมียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Cd}(\text{OH})_2$) ซึ่งแคดเมียมไฮดรอกไซด์นี้มีลักษณะเป็นผงสีขาวและจะเกาะอยู่ที่ผิวของแผ่นรองรับ นอกจากนี้เกลือของแคดเมียมยังอยู่ในรูปของสารเชิงซ้อนเตตระอามีนแคดเมียมไฮไดรด์ ($[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$) ซึ่งจะปลดปล่อยแคดเมียมไฮไดรด์ออกมาอย่างช้า ๆ ส่วนซัลเฟอร์ไฮไดรด์จะได้มาจากการแตกตัวของไฮโดรเจน โดยกระบวนการแยกสลายด้วยน้ำ (Hydrolysis) ซึ่งอัตราการแตกตัวขึ้นกับค่า pH และ อุณหภูมิของสารละลาย ฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์จะเกิดขึ้นเมื่อแคดเมียมไฮไดรด์กับซัลเฟอร์ไฮไดรด์ทำปฏิกิริยากันและควมแน่นเป็นฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์บนแผ่นรองรับ หรือเกิดจากซัลเฟอร์ไฮไดรด์ดูดซับสารแขวนลอยแคดเมียมไฮดรอกไซด์ที่เกาะอยู่ที่ผิวของแผ่นรองรับแล้วควมแน่นเป็นฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์บนผิวของแผ่นรองรับ ซึ่งกระบวนการนี้จะได้แคดเมียมซัลไฟด์เป็นฟิล์มบาง

2. กระบวนการดูดซับอนุภาคคอลลอยด์ของแคดเมียมซัลไฟด์เมื่อเติมเกลือของแคดเมียมและไฮโดรเจนลงไปในภาชนะบรรจุสารเคมี และ ในภาชนะบรรจุสารเคมีจะมีสารละลายของแคดเมียมไฮไดรด์กับซัลเฟอร์ไฮไดรด์ซึ่งจะทำให้เกิดคอลลอยด์ของแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งคอลลอยด์นี้จะไปเกาะที่ผิวของแผ่นรองรับและจะถูกดูดซับเป็นชั้นของแคดเมียมซัลไฟด์บนผิวของแผ่นรองรับ และสิ้นสุดการดูดซับเมื่อคอลลอยด์จับตัวกันและ ตกตะกอนเป็นอนุภาคแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ชั้นของแคดเมียมซัลไฟด์ที่ได้ในกระบวนการนี้มีลักษณะ เป็นผง

ผลึกพหุพันธ์แคดเมียมเทลลูไรด์

แคดเมียมเทลลูไรด์ เป็นผลึกพหุพันธ์ที่ประกอบด้วยแคดเมียมและเทลลูเรียม มีโครงสร้างผลึกเป็นลูกบาศก์ ช่องว่างในผลึกมีผลโดยตรงต่อแถบพลังงานสารกึ่งตัวนำ แคดเมียมเทลลูไรด์เป็นวัสดุที่นำไปทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางได้อย่างดี ส่วนมากจะนำไปเรียงซ้อนแบบแซนวิชกับแคดเมียมซัลไฟด์ทำให้เกิดรอยต่อพี-เอ็นของเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนการนำแคดเมียมเทลลูไรด์ไปประยุกต์ใช้ นั้นกล่าวคือแคดเมียมเทลลูไรด์เป็นวัสดุที่มีประโยชน์มากสำหรับเซลล์สุริยะ เพราะมีราคาถูกกว่าซิลิกอนโดยเฉพาะในเทคโนโลยีเซลล์สุริยะชนิดฟิล์มบาง และสามารถนำไปทำเป็นตัวตรวจหาอินฟราเรดเมื่อนำไปเจือกับปรอท ตัวตรวจหารังสีแกมมาเมื่อนำไปเจือกับสังกะสี และยังนำไปใช้เป็นวัสดุเกี่ยวกับด้านแสง สำหรับวินโดว (windows) หรือเลนส์ โดยมี คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความหนาแน่น 5850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าคงที่แลตทิซ 0.648 นาโนเมตร ที่ 300 เคลวิน โดยมีค่าช่องว่างแถบพลังงานมีขนาด 1.56 อิเล็กตรอน โวลต์ ที่ 300 เคลวิน คุณสมบัติด้านแสง มีดัชนีหักเห 2.629 ที่ 10 ไมโครเมตร และ คุณสมบัติด้านเคมี แคดเมียมเทลลูไรด์ ละลายได้น้อยในน้ำ สามารถกัดโดยกรดได้หลายชนิด เช่น กรดไฮโดรคลอริกและกรดไฮโดรฟลูออริก ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนเทลลูไรด์ซึ่งเป็นพิษ ซึ่งแคดเมียมเทลลูไรด์นั้นเป็นสารอันตราย ไม่ควรกินหรือหายใจฝุ่นเข้าไปในร่างกาย และไม่ควรหยิบหรือถือโดยไม่สวมถุงมือ แต่อย่างไรก็ตาม แคดเมียมเทลลูไรด์ก็มีประโยชน์ด้านการค้าเหมือน ผงหรือผลึก และสามารถทำเป็นผลึกนาโนได้

เมื่อเห็นถึงความสะดวกในการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์โดยวิธีการอบสารละลายเคมีและสมบัติที่เหมาะสมของแคดเมียมเทลลูไรด์จึงมีผู้นำไปทำการวิจัยดังนี้

Touskova *et al.* (1998) ได้ทำการศึกษา อิทธิพลของการเตรียมต่อโครงสร้างภายในของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมี ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าเพื่อหาสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนสำคัญ คือ คุณภาพของรอยต่อซึ่งมีผลต่อค่าความต่างศักย์ปลายเปิดที่ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับไอออนของแคดเมียมขณะเตรียมฟิล์ม สำหรับการพอกพูนของแคดเมียมซัลไฟด์และค่า pH ของสารละลาย จำนวนของชั้นแคดเมียมซัลไฟด์ในเซลล์มีความสำคัญสำหรับการหาความต่างศักย์ปลายเปิดประมาณ 700 มิลลิโวลต์ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเงื่อนไขของการพอกพูนของแคดเมียมซัลไฟด์ด้วย ต่อมา Ramaiah *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์เตรียมโดยใช้วิธีการอบสารละลายเคมี ทำการวิเคราะห์โครงสร้าง (โดยใช้ XRD และ TEM) แสดงให้เห็นว่า มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลโดยที่ ค่าคงที่ของผลึก a เท่ากับ 0.4015 นาโนเมตร

และ c เท่ากับ 0.6545 นาโนเมตร ผลจากการแอนนัล พบว่า มีการเกิดเฟสลำดับที่สองของเบต้า แคดเมียมซัลไฟด์ (β -CdS) เฟสคิวบิก ร่วมกับเฟสเฮกซะโกนอล แต่ความหนาแน่นของความผิดปกติเนื่องจากการขาดอะตอมลดลง กลุ่มความผิดพลาดจากการจัดเรียงตัวของผลึกพบได้โดยกล้อง HRTEM ค่าแถบช่องว่างพลังงานย่อย เท่ากับ 2.35 อิเล็กตรอน โวลต์ ตามลำดับโดยวิเคราะห์จากการวิเคราะห์เชิงแสง การแอนนัลมีผลทำให้ความต้านทานของฟิล์มมีค่าลดลงจาก 3×10^6 เป็น 1×10^3 โอห์ม.เซนติเมตร จุดบกพร่องของแคดเมียมและซัลเฟอร์หลายจุดพบได้จาก วิธีการวาวแสง (photoluminescence, PL) โดยใช้ความเข้มข้นของฟิสิกการปลดปล่อยของฟิล์มที่แอนนัลแตกต่างจากฟิล์มที่ไม่ได้แอนนัลมาใช้ในการอธิบาย หลังจากนั้น Metin and Esen (2003) ได้ทำการเตรียมฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมีที่อุณหภูมิ 60°C โดยที่ไม่มีการคนสารเคมี โครงสร้างผลึกของฟิล์มและขนาดของผลึกในฟิล์มที่ทำการศึกษาโดยวิธีการกระเจิงด้วยรังสีเอกซ์ แถบพลังงานของฟิล์มจะลดลงโดยวิธีการแอนนัล อุณหภูมิแอนนัลที่ดีที่สุดสำหรับฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี คือ 300°C ดูได้จากคุณสมบัติทางแสง คำนวณโดยใช้วิธีเอนเวลอป (Envelope) ครรชนหักเหลดลงเนื่องจาก ความยาวคลื่นและการแอนนัล ขนาดของผลึกพบว่าเพิ่มขึ้นและลักษณะการสะท้อนของการกระเจิงด้วยรังสีเอกซ์นั้นชัดเจนขึ้นด้วยการแอนนัล คุณสมบัติทางแสงของฟิล์มขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์ม แถบพลังงานที่ขอบของการดูดกลืนแสงแปรผันโดยการแอนนัล การออกซิเดชันตัวเองและการระเหยของซัลเฟอร์พบว่าตอบสนองต่อพฤติกรรมแปรผัน การแอนนัลที่อุณหภูมิมากกว่า 300°C ทำให้คุณสมบัติทางแสงของฟิล์มลดลง และ (Sharma *et al.*, 2004) แคดเมียมซัลไฟด์ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (optoelectronic) หลายชนิด ซึ่งแถบช่องว่างพลังงานมีขนาด 2.43 อิเล็กตรอน โวลต์ จึงเหมาะต่อการนำไปทำเป็นหน้าต่างของเซลล์สุริยะแบบรอยต่อเฮเทอโร ซึ่งแคดเมียมซัลไฟด์, คอปเปอร์ซัลเฟต หรือ คอปเปอร์อินเดียมซีลีไนด์ ที่ทำหน้าที่เหมือนกับตัวดูดซับ ฟิล์มผลึกพหุพันธ์ของแคดเมียมซัลไฟด์มีความหนาประมาณ 15 ไมโครเมตร ทำการเคลือบบนแผ่นรองรับกระจกและทำความสะอาดด้วยสารเคมี ได้ทำการเตรียมโดยกระบวนการเผา ใช้เวลาในการเผา 10 นาทีและอุณหภูมิในการเผา 500°C เป็นอย่างน้อย ในขณะที่การเคลือบของฟิล์มบ่งบอกลักษณะการส่งผ่านของแสง, โครงสร้าง และคุณสมบัติการส่งผ่านของไฟฟ้า โดยการใช้ กล้องจุลทรรศน์ที่สะท้อนด้วยแสง, เครื่องวัดการกระเจิงของรังสีเอกซ์ และ เทคนิคการวัดลักษณะกระแสและความต่างศักย์

อดุลย์ และคณะ (ม.ป.ป.) ได้ทำการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์เคลือบบนกระจกสไลด์ โดยวิธีระเหิดในระยะประชิดภายในห้องสุญญากาศความดันต่ำระดับ 2.0×10^{-2}

มิลลิบาร์ จากการวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ มีโครงสร้างแบบลูกบาศก์ และมีการจัดเรียงตัวในระนาบ (111) ความเข้มของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์มีค่าสูงสุดที่ระยะสารตั้งต้นกับฐานรองเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มคำนวณจากการส่งผ่านแสง ความต้านทานแผ่นโดยไม่ฉายแสงมีค่าต่ำสุดที่ระยะสารตั้งต้นกับฐานรองเท่ากับ 6 มิลลิเมตร จากผลการทดลองระยะระหว่างสารตั้งต้นกับฐานรองเท่ากับ 6 มิลลิเมตร มีความเหมาะสมกับการเตรียมฟิล์มบางสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ และ (Cruz and Avilez, 2000) ได้ศึกษาฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ โดยใช้เทคนิคสแต็กเคิลเลเยอร์ (Stacked Elemental Layer) ในการสร้างและศึกษา ลักษณะการสะท้อนโดยรังสีเอ็กซ์, ระยะการส่งผ่านของแสงและการสะท้อนและแรงอะตอม การพัฒนาปฏิกิริยาของฟิล์มบางและข้อมูลของสารประกอบศึกษาโดยใช้ข้อมูลของรังสีเอ็กซ์ ผลที่ได้คือ การปลูกผลึกโดยการควบคุมการแพร่และพลังงานในการกระตุ้นให้เท่ากับ 81.8 กิโลจูล. โมล และยังได้คุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเพิ่มเติม

Sharma *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษา การปลูกฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์และแคดเมียมเทลลูไรด์สำหรับใช้ในการประดิษฐ์ เซลล์สุริยะแบบแคดเมียมซัลไฟด์ชนิดเอ็นบนแคดเมียมเทลลูไรด์ชนิดพี (n-CdS/p-CdTe) พบว่า ฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ชนิดเอ็นและแคดเมียมเทลลูไรด์ชนิดพีที่เตรียมด้วยวิธีเคมีคอลสเปรย์ไพโรไลซิส (Chemical spray pyrolysis) และวิธีอิเล็กโตรเคมีคอลดีปโพอิซัน (Electrochemical deposition) ตามลำดับ ซัลเฟอร์ที่ในสารละลายที่พ่นออกมามากเกินไปจะกระตุ้นให้เกิดเกรนในฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ โครงสร้างภายในของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างแคดเมียมกับซัลเฟอร์ในสารละลาย ทำให้เกิดเกรนแบบวิวิธพันธ์มากขึ้น ขณะที่ฟิล์มซึ่งมีซัลเฟอร์มากเกินไป เกรนจะมีรูปแบบไม่คงที่ นั่นคือ เกรนจะถูกลดความต่อเนื่อง ทำให้มีความต้านทานมากขึ้น และวิธีการพอกพูนด้วยไฟฟ้าของฟิล์มแคดเมียมเทลลูไรด์ ไม่มีผลกระทบต่อความไม่ต่อเนื่องของตัวแปรต่าง ๆ เหมือนกับผลกระทบต่อ ลวดลายของผลึก และ โครงสร้างภายในซึ่งอยู่ใต้ชั้นของแคดเมียมซัลไฟด์ สมรรถนะของเซลล์ขึ้นอยู่กับชั้นหน้าต่างของแคดเมียมซัลไฟด์และคุณสมบัติของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความเข้มข้นระหว่างแคดเมียมซัลไฟด์กับซัลเฟอร์ในสารละลายที่พ่นออกมา ปริมาณของซัลเฟอร์สูงกว่าในฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ ทำให้การส่งผ่านแสงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนช่องว่างแถบพลังงาน การเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์ทำได้โดยการลดสภาพต้านทานไฟฟ้าในฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพจาก 8% เป็น 10.5% ทำได้โดยใช้ฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ ที่มีอัตราส่วนของความเข้มข้นระหว่างแคดเมียมซัลไฟด์กับซัลเฟอร์เป็น 1:1.1 และ 1:1.3 ตามลำดับ หลังจากนั้น (Vigil-Galán *et al.*, 2005) ทำการวิจัยเพื่อจะศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโทโอ

ยูเรียในสารละลายที่ใช้ในการอบสารละลายชั้นแคดเมียมซัลไฟด์ที่เป็นชั้นบนสุดที่ต้องตอบสนองต่อแสงของเซลล์แสงอาทิตย์แคดเมียมซัลไฟด์บนแคดเมียมเทลลูไรด์ ที่ทำขึ้นโดยใช้วิธีอบสารละลายเคมี แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงในความยาวคลื่นช่วงสั้นและยาวของสเปกตรัมที่ตอบสนองต่อเซลล์ที่เราวิเคราะห์ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไทโอยูเรีย และยังไม่มียผลต่อระยะการแพร่เข้าไปสู่ชั้น แคดเมียมเทลลูไรด์ โดยวิเคราะห์ได้จากวิธีการหาค่ากระแสแสงที่ เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของไทโอยูเรียในสารละลายที่ทำการอบสารละลายชั้นแคดเมียมซัลไฟด์ ในปีเดียวกันนั้น (Morales-Acevedo, 2005) ฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ที่มีการเรียงตัวเป็นผลึกพหุพันธ์ ยังคงเป็นวัสดุซึ่งยังมีความสำคัญในการพัฒนาเพราะมีราคาถูกและมีค่าทางโฟโตโวลต์ทาคิกที่เหมาะสมสมบัติที่สำคัญ 2 ชนิดของวัสดุนี้คือ ช่องว่างแถบพลังงาน (1.5 อิเล็กตรอน โวลต์) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพโฟโตโวลต์ทาคิกในอุดมคติ (1.45 อิเล็กตรอน โวลต์) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน เซลล์สุริยะของฟิ์มบางแคดเมียมซัลไฟด์บนแคดเมียมเทลลูไรด์ มีรอยต่อแบบเชิงซ้อน (Hetro-junctions) ซึ่งแคดเมียมซัลไฟด์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) โดยที่ประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะแบบนี้จะสูงถึง 16.5% และยังมีศักยภาพในการพัฒนาประสิทธิภาพให้เพิ่มขึ้นได้ โดยทำการวิเคราะห์ผิวด้านบนของเซลล์สุริยะแคดเมียมซัลไฟด์บนแคดเมียมเทลลูไรด์เพื่อหาแนวทางใหม่และแตกต่างในการพัฒนาประสิทธิภาพ ซึ่งจากข้อมูลที่มีการบันทึกไว้จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่จะพัฒนาเพื่อที่จะได้นำไปใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพได้ และ (Estela Calixto *et al.*, 2007) ได้ศึกษาโดยทำการอบสารละลายแคดเมียมซัลไฟด์สองชั้น โดยแคดเมียมซัลไฟด์ชั้นแรกทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 75°C เป็นเวลา 10 นาที และชั้นที่สองทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 45 นาที การที่ฟิ์มชั้นที่สองทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิต่ำกว่าเพื่อความสะดวกในขั้นตอนการปฏิบัติ ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาโครงสร้าง 4 โครงสร้างที่ต่างกันและทำการศึกษาสมบัติเชิงแสงเพื่อจะได้นำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบของแคดเมียมเทลลูไรด์บนแคดเมียมซัลไฟด์ โดยการนำผลการตอบสนองต่อแสงและตัวแปรโฟโตโวลต์ทาคิกของเซลล์แสงอาทิตย์แคดเมียมซัลไฟด์บนแคดเมียมเทลลูไรด์ทั้ง 4 มาวิเคราะห์

Wenyi *et al.* (2005) ฟิ์มบางแคดเมียมซัลไฟด์เฟสเฮกซะโกนอล มีระนาบ (002) ที่ชัดเจนเตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีเกิดการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแคดเมียมเทลลูไรด์และไทโอยูเรีย โดยโพลิไกลคอลจะใช้ในการปรับปรุงระบบ การอบสารละลายเคมีโดยไม่มีการคนสารละลาย ในการวิจัยพบว่าอุณหภูมิของอ่างสารละลายมีผลต่อคุณสมบัติฟิ์มแคดเมียม เช่น การส่งผ่านแสง, พื้นผิวของฟิ์ม และโครงสร้าง โพลิไกลคอลสามารถทำให้ฟิ์มเรียบมากขึ้นและรูของฟิ์มลดลง ผลการทดสอบโดย XRD และ TEM พบว่า ฟิ์มแคดเมียมซัลไฟด์ที่ได้มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลและ

ไม่มีการเกิดเฟสสองเฟสผสมกันและลักษณะของฟิล์มจะเป็นแถวที่ขนานไปกับขอบของตัวรองรับ ส่วนอุณหภูมิของอ่างมีผลต่อคุณภาพของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิอ่างเพิ่มขึ้น พื้นผิวของฟิล์มจะเรียบขึ้นและรูพรุนของฟิล์มจะลดลงโดยที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 85°C แถบช่องว่างพลังงานคำนวณได้จากสเปกตรัมการส่งผ่านมีค่าประมาณ 2.56-2.336 อิเล็กตรอน โวลต์ ต่อมา (Jae-Hyeong Lee and Dong-Jin Lee, 2007) ทำการวิเคราะห์ผลจาก ความหนาของชั้น แคดเมียมคลอไรด์และการแอนนัล ที่มีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ที่เตรียมโดยวิธีการสปัตเตอร์ พบว่า การแอนนัลให้แคดเมียมคลอไรด์ระเหยออกมาเป็นไอ ในอากาศที่อุณหภูมิ 300-500 °C เป็นเวลา 20 นาที จะทำให้ความหนาของชั้นแคดเมียมคลอไรด์ เพิ่มขึ้น พิก (002) ของแคดเมียมซัลไฟด์จะเห็นชัดขึ้นและจะมีพิกอื่นเพิ่มขึ้นที่ความหนา 200 นาโนเมตรระนาบ (002) จะไม่ปรากฏและแกน C ของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์จะขนานกับแผ่นรองรับ ขณะที่ชั้นแคดเมียมคลอไรด์มีความหนาเพิ่มขึ้น ขนาดเกรนก็จะใหญ่ขึ้นเช่นกัน คุณสมบัติเชิงแสงที่เพิ่มขึ้นของฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีชั้นแคดเมียมคลอไรด์ที่หนา น่าจะทำให้การพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในเชิงอุตสาหกรรม เพิ่มขึ้นได้

และในปีล่าสุด (González de la Cruz *et al.*, 2008) ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนแคดเมียมซัลไฟด์จากการตกตะกอนของสารละลาย ตะกอนที่เกิดจากการสังเคราะห์เป็นอนุภาคนาโนของแคดเมียมที่จับตัวเป็นสารเชิงซ้อนที่เสถียรในตะกอน การวิเคราะห์โครงสร้างและความเป็นผลึกจะทำการวิเคราะห์โดยใช้ HRTEM และ XRD ขนาดเกรนที่เป็นอนุภาคนาโนมีขนาด 5 นาโนเมตร วิเคราะห์โดยการกระเจิงแบบรามานและโฟโตะอะคูสติกสเปกโตรสโกปี (Photoacoustic spectroscopy)

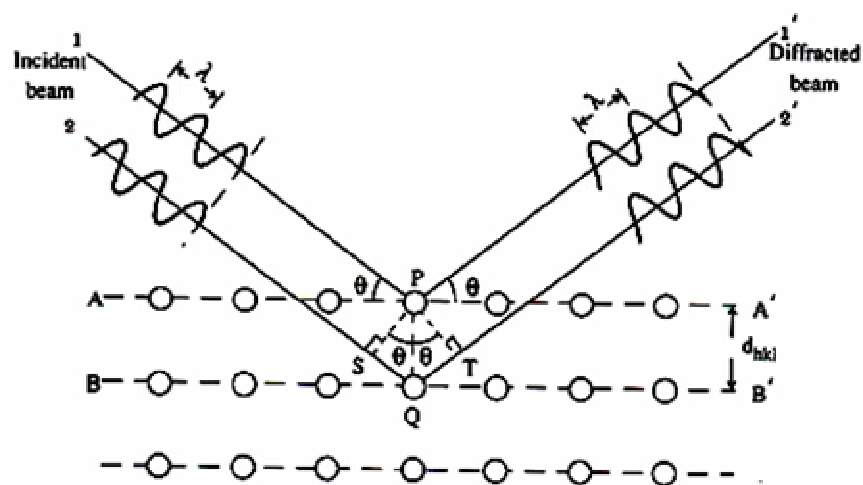
การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค

การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยวิธี $\theta - 2\theta$ ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์โดยใช้รังสีเอกซ์ความยาวคลื่นเดียวตกกระทบตัวอย่าง ซึ่งอาจเป็นผลึกเดี่ยวหรือผลึกพหุพันธ์ก็ได้ ตัวอย่างจะหมุนไปเป็นมุม θ ในขณะที่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณรังสีเอกซ์ จะเคลื่อนที่ไปเป็นมุม 2θ เพื่อให้การเลี้ยวเบนสอดคล้องกับกฎของแบรกก์ (Bragg's Law) ในปี พ.ศ. 2455 (ค.ศ. 1912) W.H. Bragg ได้เสนอแนวคิดที่เราสามารถมองได้ว่า ผลึกจัดเรียงตัวเป็นชั้น (layer) หรือ ระนาบ (plane) ของอะตอมซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบ โดยมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ทั้งนี้ ลำคลื่นที่สะท้อนออกไปจากระนาบต่าง ๆ ดังกล่าวจะมีความเข้มสูงและแทรกสอดแบบเสริม ถ้าหากความแตกต่างระหว่างทางเดิน (path difference) ของคลื่นที่สะท้อนจากระนาบที่อยู่ข้างเคียง จะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นที่ตกกระทบดังสมการ

$$2 d_{hkl} \sin \theta = n \lambda \quad (1)$$

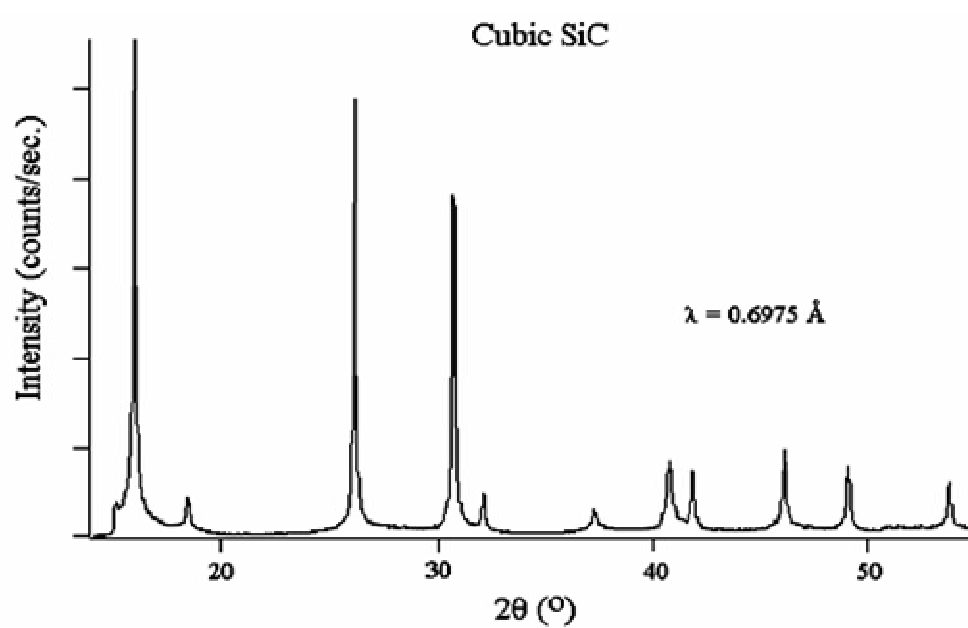
เมื่อ	d_{hkl}	คือ ระยะระหว่างระนาบ
	θ	คือ มุมตกกระทบและมุมสะท้อนของรังสีเอกซ์เมื่อเทียบกับระนาบของผลึก
	n	คือ อันดับการเลี้ยวเบน มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., n
	λ	คือ ความยาวคลื่น

ระนาบต่าง ๆ ของผลึก ไม่ได้ก่อให้เกิดการสะท้อนเสมอไป ระนาบใดที่รังสีเอกซ์ตกกระทบแล้ว กระจิงออกมาอย่างสอดคล้องกับกฎของแบรกก์ เรียกว่า ระนาบแบรกก์ (Bragg plane) และมุมที่รังสีสะท้อนกับแนวที่ขนานกับรังสีตกกระทบเรียกว่า มุมเลี้ยวเบน (diffraction angle) ซึ่งมีค่าเป็น 2 เท่าของมุมสะท้อน ดังแสดงใน ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของแบรกก์

ที่มา: ปัญญา (2544)



ภาพที่ 2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการเลี้ยวเบนที่มุม 2θ ของผลึก SiC

ที่มา: ปัญญา (2544)

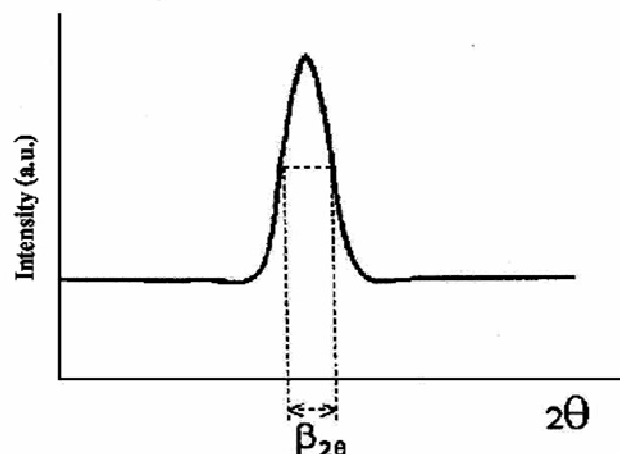
จากภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์กับมุมเลี้ยวเบน เรียกว่า รูปแบบการเลี้ยวเบน (diffraction pattern) ซึ่งสำหรับธาตุหรือสารประกอบต่างชนิดกัน ก็จะมี รูปแบบการเลี้ยวเบนต่างกัน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากพีค (peak) ในรูปแบบการเลี้ยวเบนสำหรับการ วิเคราะห์โครงสร้างผลึกนั้นสามารถทำได้โดยการคำนวณหาค่าคงที่ของผลึก และขนาดของเกรน ค่าคงที่โครงสร้างผลึก (lattice constant) สำหรับโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ (คิวบิก) หาได้จาก สมการ

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (2)$$

และสำหรับโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซด์ (เฮกซะโกนอล) หาได้จากสมการ

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

เมื่อ a, c คือ ค่าคงที่ของโครงผลึก
 h, k, l คือ ระบายของผลึก



ภาพที่ 3 แสดงวิธีการหา $\beta_{2\theta}$ เพื่อนำไปหาขนาดของเกรนจากสเปกตรัมของการเลี้ยวเบนของ รังสีเอกซ์

ที่มา: ปัญญา (2544)

พิจารณาภาพที่ 3 จะสามารถคำนวณหาขนาดของเกรน (grain size) ได้จากสมการ

$$D = \frac{k\lambda}{\beta_{2\theta} \cos \theta} \quad (4)$$

เมื่อ D คือ ขนาดของเกรน (nm)

k คือ ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นกับขนาดและรูปร่างของเกรน

$\beta_{2\theta}$ คือ ระยะ ความกว้างของพีคที่ความเข้มที่มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ

ค่าความเข้มสูงสุด (full width at half maximum of diffraction peak; FWHM) (Culity, 1956)

การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาค

การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาค ในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ซึ่งใช้อิเล็กตรอนช่วยในการมองเห็นภาพ ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากพฤติกรรมของโฟตอนซึ่งมีธรรมชาติเป็น ได้ทั้งคลื่นและอนุภาค จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัม p กับความยาวคลื่น λ ที่มีความถี่ ν คือ

$$p = \frac{h\nu}{c} \quad (5)$$

แทนค่า $\frac{\nu}{c}$ และ $\frac{1}{\lambda}$ จะได้

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (6)$$

เมื่อ $h = 6.625 \times 10^{-34}$ จูล.วินาที

$c = 2.9998 \times 10^8$ เมตรต่อวินาที

ในกรณีของอิเล็กตรอนที่มีมวล m มีความเร็ว v โมเมนตัมของอิเล็กตรอนจะมีค่าเป็น mv ดังนั้นจากสมการ 6 จะได้ จะได้ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนหรือความยาวคลื่นของเดอบรอย คือ

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (7)$$

ขณะที่อิเล็กตรอนมีค่าประจุไฟฟ้า q เท่ากับ 1.602×10^{-19} คูลอมบ์ ถูกบังคับให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ในสนามไฟฟ้าโดยมีศักย์ไฟฟ้าแรง พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนจะมีค่าเป็นสมการ (8)

$$\frac{1}{2}mv^2 = qV \quad (8)$$

จากสมการที่ 7 และ 8 จะได้ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนเป็น

$$\lambda = \sqrt{\frac{h^2}{2mqV}} \quad \text{โดยที่ } V \text{ มีหน่วยเป็น โวลต์} \quad (9)$$

ในกรณีที่ศักย์ไฟฟ้าแรง มีค่าเกินกว่า 50 กิโลโวลต์ ความเร็วอิเล็กตรอนจะเข้าใกล้ความเร็วแสง มวลของอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนไปจากมวลที่หยุดนิ่ง (m_0) ตามทฤษฎีสัมพัทธภาพของไอน์สไตน์ ดังนั้น มวลของอิเล็กตรอนจะมีค่าเป็น

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

ความยาวคลื่นจะมีค่าเป็น

$$\lambda = \frac{h}{m_0 v} \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \quad (10)$$

และเนื่องจากพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่ได้จากสนามไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ

$$qe = mc^2 - m_0c^2 \quad (11)$$

ดังนั้นสมการของความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนเมื่อศักย์ไฟฟ้าแรงเกินกว่า 50 กิโลโวลต์ จึงมีค่าเป็น

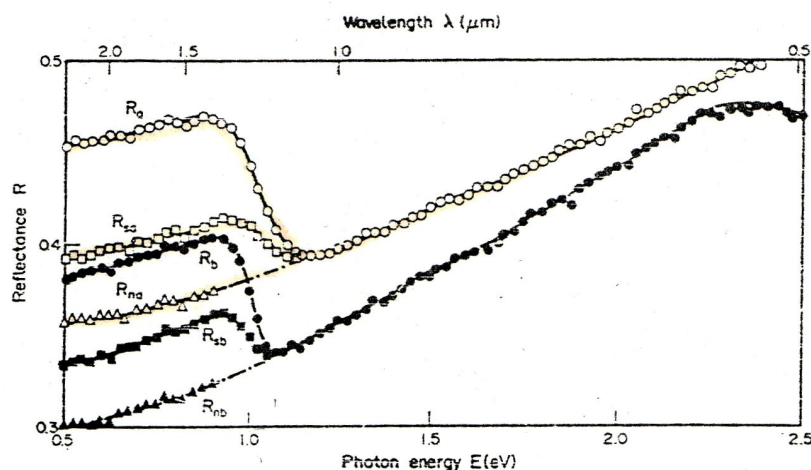
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0qV + \frac{2q^2V^2}{e^2}}} \quad (12)$$

หรือ $\lambda \approx \frac{12.3}{\sqrt{V}}$ อังสตรอม (13)

จากสมการ 13 จะเห็นว่าเมื่อศักย์ไฟฟ้าแรงเพิ่มขึ้น ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนจะสั้นลง ดังนั้นถ้าให้ศักย์ไฟฟ้าแรงกับลำอิเล็กตรอน 80 กิโลโวลต์ ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนในคอลัมน์สุญญากาศจะมีค่าประมาณ 0.04 อังสตรอม ซึ่งถ้าเทียบกับความยาวคลื่นของแสงแล้ว อิเล็กตรอนจะความเร็วสูงและมีความยาวคลื่นสั้นมาก

การศึกษาคุณสมบัติเชิงแสง

การศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงจะทำการศึกษาโดยใช้สเปกโตรมิเตอร์ ที่ใช้แสงที่ตามองเห็น และแสงเหนือม่วง โดยจะนำไปวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนเพื่อนำไปหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน ด้วยวิธีดรรชนีหักเห



ภาพที่ 4 แสดงสเปกตรัมการสะท้อน R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้จากการวัด, R_s คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแผ่น และ R_n คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนตั้งฉาก

ที่มา: Elkorashy (1990)

จากภาพที่ 4 เส้นสเปกตรัมการสะท้อนที่วัดได้ จะนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้จากการวัด เมื่อ T คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านตั้งฉาก, α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน และ d คือ ความหนาของฟิล์ม

$$R = R_s \left\{ 1 + \left[\frac{(1 - R_s^2) \exp(-2\alpha d)}{1 - R_s^2 \exp(-2\alpha d)} \right] \right\} \quad (14)$$

$$R = R_s \left\{ 1 + \left[\frac{(1 - R_s^2) \exp(-\alpha d)}{1 - R_s^2 \exp(-\alpha d)} \right] \exp(-\alpha d) \right\}$$

เนื่องจากว่า

$$T = \frac{(1 - R_s^2) \exp(-\alpha d)}{1 - R_s^2 \exp(-2\alpha d)} \quad (15)$$

$$R = R_s [1 + T \exp(-\alpha d)]$$

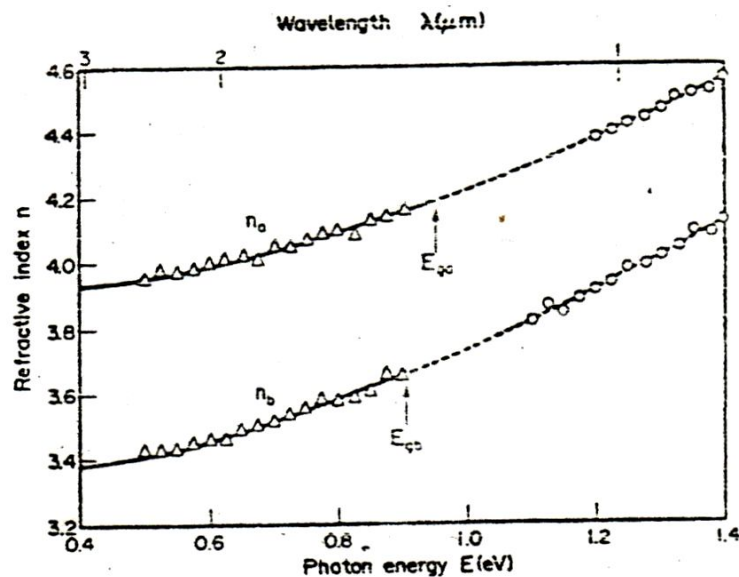
$$R_s = \frac{R}{1 + T \exp(-\alpha d)} \quad (16)$$

กรณีนี้หาค่าจำนวนได้จาก สัมประสิทธิ์การสะท้อนตั้งฉาก (R_n) คือ

$$n = \frac{1 + \sqrt{R_n}}{1 - \sqrt{R_n}} \quad (17)$$

แต่ในการวิจัยนี้ได้วัดค่า R ในแนวตั้งฉาก ($R=R_n$) ดังนั้น

$$n = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \quad (18)$$



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าดัชนีหักเห

ที่มา: Elkorashy (1990)

จากภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าดัชนีหักเหที่คำนวณได้จากสมการที่ 18 เมื่อลากเส้นตรงจากช่องว่างของเส้นกราฟไปตัดกับแกนในแนวนอนก็จะได้ค่าช่องว่างของแถบพลังงาน ซึ่งวิธีการนี้จะนำไปใช้ในการหาค่าช่องว่างของแถบพลังงานในการวิจัยครั้งนี้

การศึกษาคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า

การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีที่ใช้ส่วนของอุปกรณ์ต่อเข้าสัมผัสกับชิ้นสารตัวอย่างและวิธีที่ไม่ต้องสัมผัสโดยตรง สำหรับวิธีที่จะกล่าวถึงในที่นี้เป็นวิธีที่ใช้การสัมผัสกับชิ้นสารตัวอย่าง มีหลักการทั่วไปคือ ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในชิ้นสารตัวอย่างแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดบนชิ้นสารนั้น ซึ่งสามารถแบ่งย่อยไปได้หลายวิธี คือ วิธีแวนเดอเพาว (Van Der Pauw Method), วิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสี่ขั้วเชิงเส้น (linear four point probe method) และวิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสองขั้วเชิงเส้น (linear two point probe method)

ถ้าป้อนสนามไฟฟ้าเข้าไปในวัสดุยาว l มีพื้นที่ภาคตัดขวาง A จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าดังสมการ

$$V = EI \quad (19)$$

และมีการไหลของกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นโดย

$$I = nqv_d A \quad (20)$$

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าหาได้จาก

$$J = \frac{I}{A} = nqv_d = nq \mu E \quad (21)$$

เมื่อ	n	คือ ความหนาแน่นของพาหะ
	q	คือ ขนาดประจุไฟฟ้า
	v_d	คือ อัตราเร็วของพาหะ
	μ	คือ สภาพคล่องตัว
	E	คือ สนามไฟฟ้า

และจากกฎของโอห์ม $I = \frac{V}{R}$ และ $J = \sigma E$ เมื่อเทียบกับสมการ (20) และ (21) จะได้

$$\sigma = \frac{I}{RA} \quad (22)$$

และ $\sigma = nq\mu \quad (23)$

สำหรับในสารกึ่งตัวนำการนำไฟฟ้าจะเกิดจากพาหะคืออิเล็กตรอนและโฮล ดังนั้น สภาพนำไฟฟ้า เขียนได้เป็น

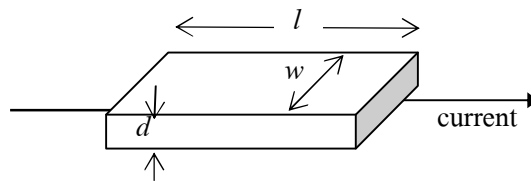
$$\sigma = q (n \mu_n + p \mu_p) \quad (24)$$

และจากความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับสภาพต้านทานไฟฟ้า $\sigma = \frac{1}{\rho}$ ดังนั้น สภาพต้านทานไฟฟ้า มีค่าเป็น

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q(n\mu_n + p\mu_p)} \quad (25)$$

หรือเทียบกับสมการ (22) จะได้

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (26)$$



ภาพที่ 6 แสดงขนาดของฟิล์มยาว l กว้าง w หนา d

เมื่อพิจารณาฟิล์มยาว l กว้าง w หนา d ตามภาพที่ 6 จากกฎของโอห์มและใช้สมการ (26) จะคำนวณหาความต้านทานของฟิล์มได้ดังนี้

$$R = \frac{V}{I} = \frac{\rho l}{A} = \frac{\rho l}{wd} \quad (27)$$

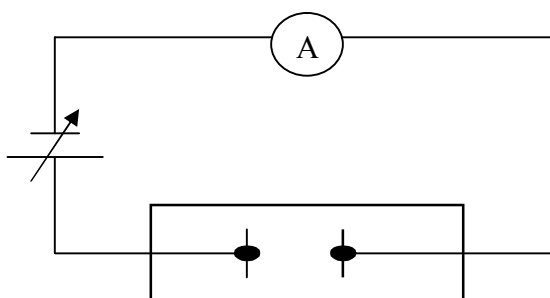
ในกรณีที่ฟิล์มเป็นรูปสี่เหลี่ยม ($l = w$) ดังนั้น สมการที่ (27) เขียนได้ใหม่เป็น

$$R = R_s = \frac{\rho}{d} \quad (28)$$

R_s	คือ	ความต้านทานแผ่น (sheet resistance)
ρ	คือ	สภาพต้านทานไฟฟ้า

แต่ถ้า $l \neq w$ จะได้ว่า

$$R_s = \frac{\rho}{d} = R \frac{w}{l} \quad (29)$$



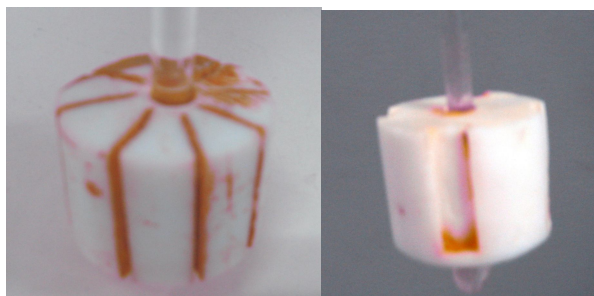
ภาพที่ 7 แสดงการต่อวงจรในการวัดค่าความต้านทานแผ่นโดยวิธีวัดด้วยขั้วปลายแหลมสองขั้วเชิงเส้น

ในการวิจัยนี้จะทำการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธี 2 ขั้วเชิงเส้น โดยจะใช้กาวเงินป้ายบนตัวอย่างเพื่อทำเป็นขั้วที่มุมสองด้าน แล้วทำการจ่ายกระแสไฟฟ้า (I) ที่ขั้วด้านหนึ่งและทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V) อีกด้านหนึ่ง เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโดยจะแสดงผลการทดลองเป็นกราฟ I - V จากโปรแกรม Lab View แล้วนำค่าความชันของกราฟนำไปคำนวณหาความต้านทานแผ่นจากสมการที่ (29) ก็จะได้ค่าความต้านทานแผ่น

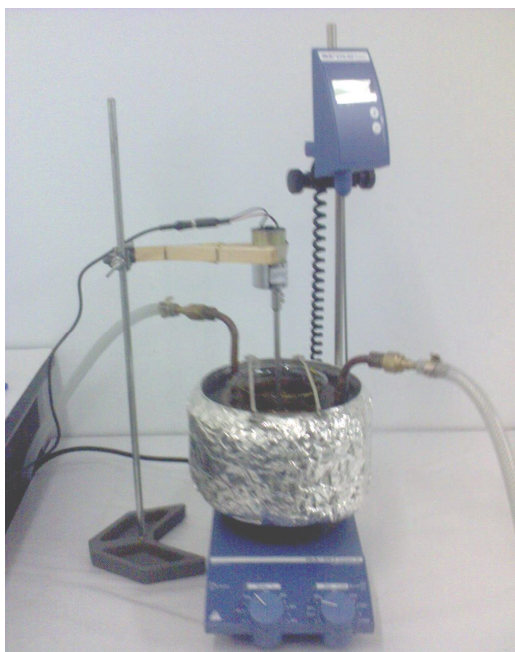
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม CdS/CdTe โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี
 - 1.1 อ่างสารเคมี (chemical bath)
 - 1.2 บีกเกอร์ขนาด 600 ml
 - 1.3 ตัวให้ความร้อนและเครื่องกวนสารละลาย (hot plate and magnetic stirrer)
 - 1.4 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller)
 - 1.5 พลาสติกเทฟลอนสำหรับบรรจุแผ่นรองรับ
 - 1.6 เทอร์โมคัปเปิ้ล (thermocouple)
 - 1.7 เทอร์โมมิเตอร์
 - 1.8 ก้านยึดแผ่นรองรับ
 - 1.9 ก้านยึดเทอร์โมมิเตอร์
 - 1.10 สารละลายผสม $\text{CdSO}_4 + \text{SC}(\text{NH}_2)_2 + \text{NH}_4\text{OH}$
 - 1.11 น้ำกลั่น
 - 1.12 ฐานยึดเสา
 - 1.13 เสาตั้งก้านยึดแผ่นรองรับ
 - 1.14 แม่เหล็กกวนสารละลาย



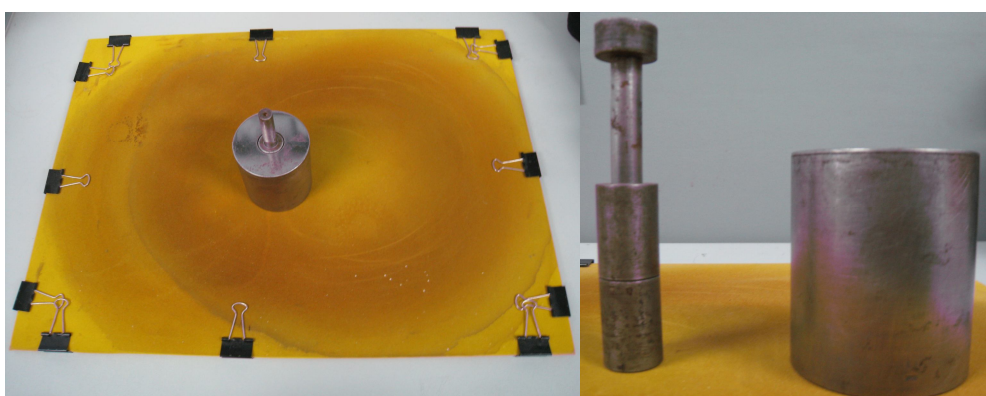
ภาพที่ 8 พลาสติกเทฟลอนสำหรับบรรจุแผ่นรองรับ



ภาพที่ ๑ แสดงการจัดเรียงอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม CdS/CdTe โดยวิธีออบสารละลายเคมี

2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมผิวหน้าของผลึกแคดเมียมเทลลูไรด์

- 2.1 แผ่นติดผลึก
- 2.2 ผ้าสักหลาด
- 2.3 กระชก
- 2.4 ผงขัดเพชร (Diamond Powder)
- 2.5 กรดโบรมีนเมทานอล



ภาพที่ 10 แสดงการจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมผิวหน้าผลึกแคดเมียมเทลลูไรด์

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเจือ CdCl_2

- 3.1 ท่อควอทซ์
- 3.2 สารละลาย CdCl_2
- 3.3 เตาเผา พิสัยอุณหภูมิ 30-3000°C ผลิตโดยบริษัท Nabertherm



ภาพที่ 11 เตาเผาพิสัยอุณหภูมิ 30-3000°C ผลิตโดยบริษัท Nabertherm

4. อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์ม CdS
 - 4.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-5600LV ผลิตโดยบริษัท JEOL
 - 4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน รุ่น JEM-2010 ผลิตโดยบริษัท JEOL
5. อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์ม CdS
 - เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ รุ่น PW 3710 ผลิตโดยบริษัท Philips
6. อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์ม CdS/CdTe
 - สเปกโตรมิเตอร์ รุ่น Lamda 650 ผลิตโดยบริษัท Pekin Elmer UK
7. อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของฟิล์ม CdS/CdTe
 - 7.1 อิเล็กโตรมิเตอร์ รุ่น 610 C ผลิตโดยบริษัท Keithley
 - 7.2 แหล่งจ่ายไฟ 30 โวลต์
 - 7.3 มัลติมิเตอร์
 - 7.4 หลอดฮาโลเจน 300 วัตต์
 - 7.5 กาวเงินนำไฟฟ้า (conduction silver paint)

วิธีการ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์ม CdS/CdTe โดยวิธีออบสารละลายเคมี โดยอุณหภูมิของอ่างอบสารละลาย คือ 40, 50, 60, 70 และ 80 °C หลังจากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปเจือด้วยสารละลาย CdCl₂ และ นำฟิล์มที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติในด้านต่างๆ ได้แก่ ศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน, ศึกษาการส่งผ่านแสงเพื่อบอกลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานของฟิล์ม และ คำนวณค่าช่องแถบพลังงาน (E_g) และศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์ม โดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น (linear two point probe)

1. การเตรียมผิวหน้าของผลึก CdTe

1.1 ขัดผิวหน้าของผลึก โดยการนำผลึก CdTe ไปติดที่แท่นติดผลึก แล้วนำไปขัดด้วยผงขัดเพชรละลายน้ำบนผ้าสักหลาดที่ขึงตึงบนกระจก จนกระทั่งผิวเรียบ และ เป็นมันวาว

1.2 ทำความสะอาดผิวหน้าของผลึก โดยการนำผลึกที่ขัดแล้วมากัดผิว (Etching) ด้วยสารละลายโบรมีนเมทานอลเป็นเวลา 5 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำปอดประจุ

2. การเตรียมฟิล์ม CdS/CdTe

2.1 ติดตั้งอุปกรณ์ในการเตรียมฟิล์มดังภาพที่ 9

2.2 เติมน้ำปอดประจุ 200 ml ในบีกเกอร์ ขนาด 600 ml แล้วนำไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิซึ่งภายในบรรจุน้ำโดยที่ระดับน้ำต้องสูงกว่าระดับของสารละลายผสมภายในบีกเกอร์ หลังจากนั้นตั้งอุณหภูมิของอ่างให้คงที่ที่ 40 °C

2.3 เตรียมสารละลาย CdSO₄ (0.025 M) ใน NH₄OH (25 %) (3 M) ปริมาตร 50 ml ไว้ในบีกเกอร์ 100 ml

2.4 เตรียมสารละลาย SC(NH₂)₂ (0.035 M) ปริมาตร 50 ml ไว้ในบีกเกอร์ 100 ml

2.5 ทำการบรรจุผลึก CdTe และกระจกสไลด์ ที่ใช้เป็นแผ่นรองรับ ลงในเทฟลอนสำหรับบรรจุแผ่นรองรับ

2.6 ใส่แม่เหล็กกวนสารละลายลงในบีกเกอร์ของสารละลายผสม

2.7 หลังจากอุณหภูมิของอ่างควบคุมอุณหภูมิกำลังที่ 40°C ให้เติมสารละลายผสม CdSO_4 กับ NH_4OH ลงไปในบีกเกอร์กวนสารละลายไปเรื่อยๆ ประมาณ 5 นาที จากนั้น นำแผ่นรองรับที่เตรียมไว้ตามข้อ 2.5 ใส่ลงไปในสารละลายโดยให้แผ่นรองรับจุ่มอยู่ในสารละลายผสมพอประมาณ กวนสารละลายต่อไปอีกประมาณ 20 นาที จากนั้นเติมสารละลาย $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ ลงไปในบีกเกอร์ วัดค่า pH ของสารละลายแล้วบันทึกไว้ และ สังเกตสีของสารละลาย กวนสารละลายต่อไปเรื่อยๆ จนครบ 60 นาที จากนั้นหยุดการกวนแล้วนำแผ่นรองรับขึ้นจากบีกเกอร์ นำไปล้างในน้ำปอดคประจุ เพื่อ กำจัดตะกอน สังเกตสีและลักษณะของฟิล์ม CdS ที่อยู่บนแผ่นรองรับ

2.8 นำแผ่นรองรับที่มีฟิล์ม CdS เคลือบอยู่ด้านบนไปอบโดยใช้อุณหภูมิ 90°C ประมาณ 5 นาที สังเกตสีของฟิล์ม CdS บนแผ่นรองรับ

2.9 ทำการเตรียมฟิล์ม CdS ตามขั้นตอนในข้อ 2.1 – 2.9 โดยตั้งอุณหภูมิของอ่างที่ 50°C , 60°C และ 70°C ตามลำดับ แล้วนำฟิล์มที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ

3 การเจือฟิล์ม CdS/CdTe ด้วยสารละลาย CdCl_2

3.1 นำฟิล์มที่เตรียมได้มาจุ่มสารละลาย CdCl_2

3.2 เปิดเตาเผาให้อุณหภูมิเท่ากับ 500°C

3.3 นำฟิล์มที่จุ่มสารละลาย CdCl_2 ใส่ในเตาเผา ทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที

3.4 รอให้อุณหภูมิของเตาเผาลดมาที่อุณหภูมิห้องจึงจะฟิล์มออกจากเตาไปถึงศึกษาคุณสมบัติด้านไฟฟ้า

4. การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์ม CdS/CdTe

4.1 นำฟิล์ม CdS ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ไปศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคโดยใช้กล้องเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์

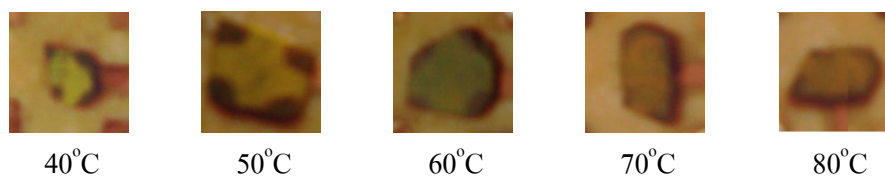
4.2 นำฟิล์ม CdS ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ไปศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM และ TEM)

4.3 นำฟิล์ม CdS/CdTe ไปศึกษาคุณสมบัติเชิงแสง

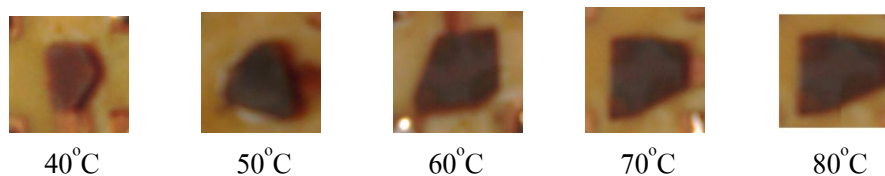
4.4 นำกาวเงินป้ายบนฟิล์ม CdS/CdTe เพื่อทำเป็นขั้วที่มุมสองด้าน แล้วนำไปศึกษาคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า

ผลและวิจารณ์

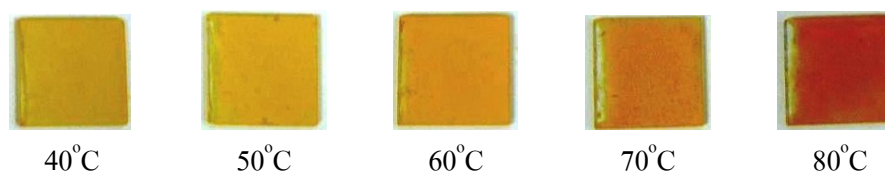
1. ลักษณะของฟิล์ม



ภาพที่12 แสดงฟิล์ม CdS/CdTe ที่อบสารละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพที่13 แสดงฟิล์ม CdS/CdTe ที่อบสารละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วนำไปเจือด้วย CdCl_2



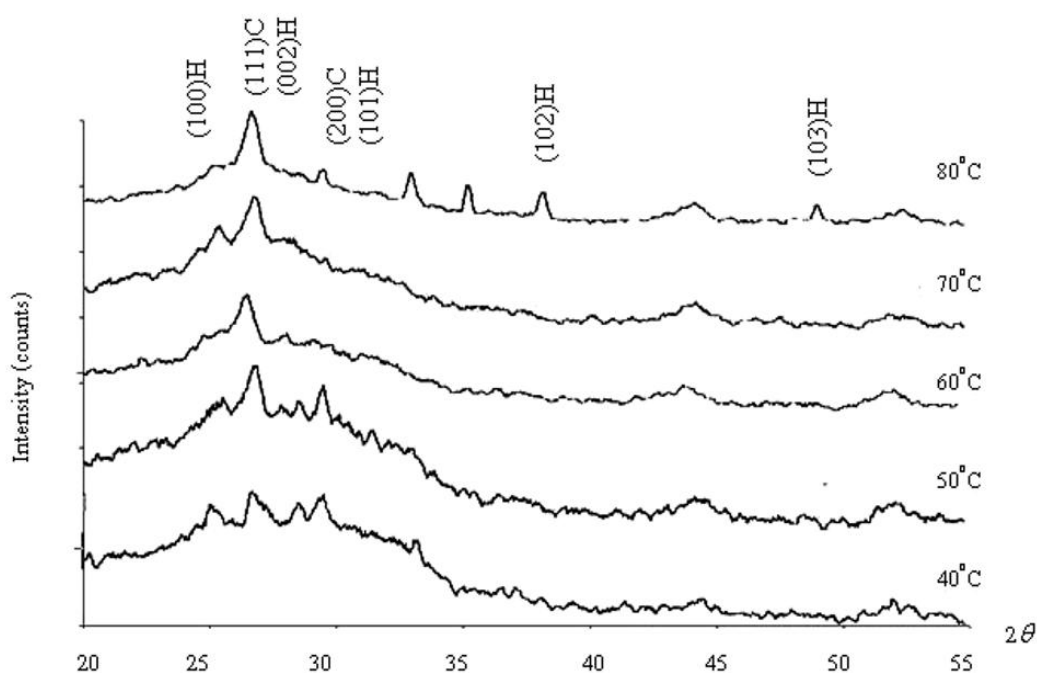
ภาพที่14 แสดงฟิล์ม CdS บนกระจกสไลด์ที่อบสารละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาภาพที่ 14 พบว่า ฟิล์มที่เตรียมได้มีสีเหลืองและสีจะเข้มขึ้นเป็นสีเหลืองเข้มจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอมส้มที่อุณหภูมิอ่างอบสารละลาย 80°C ผิวหน้าของฟิล์มมีลักษณะเรียบและสม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะของฟิล์มในภาพที่ 12 ก็มีสีเหลืองและสีเข้มขึ้นตามอุณหภูมิอ่างอบสารละลายเช่นเดียวกับภาพที่ 14 ส่วนภาพที่ 13 เมื่อผ่านการเจือด้วย CdCl_2 แล้วพบว่าสีฟิล์มมีสีเข้มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเดียวกัน แต่ลักษณะผิวหน้าของฟิล์มในภาพที่ 12 และภาพที่ 13 เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า แตกต่างจากภาพที่ 14 กล่าวคือ มีลักษณะผิวหน้าเรียบและสม่ำเสมอน้อยกว่า

2. ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค

เนื่องจากเราต้องการทราบลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบาง CdS ดังนั้นเราจึงนำฟิล์มบางเคลือบบนกระจกสไลด์แล้วนำไปศึกษาการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยวิธี $\theta - 2\theta$ ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์โดยจะศึกษาลักษณะของพีคที่ปรากฏและนำไปเปรียบเทียบกับพีคมาตรฐานเพื่อที่จะได้ทราบข้อมูลของโครงสร้างผลึก

เมื่อพิจารณาภาพที่ 15 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับพีคมาตรฐาน JCPDS 80-0019 และ JCPDS 80-0006 จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 1 โดยพบว่าที่อุณหภูมิอ่างอาบสารละลาย ฟิล์มที่เตรียมได้ คือ ฟิล์ม CdS มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลและแบบคิวบิกปนกัน ซึ่งจะจัดเรียงตัวในระนาบ C (111) และ H (002) แล้วยังพบว่าที่อุณหภูมิอ่างอาบสารละลาย 80°C จะแสดงโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 15 แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และระนาบของฟิล์มบาง CdS ที่เคลือบลงบนกระจกสไลด์ ณ อุณหภูมิ 40-80°C

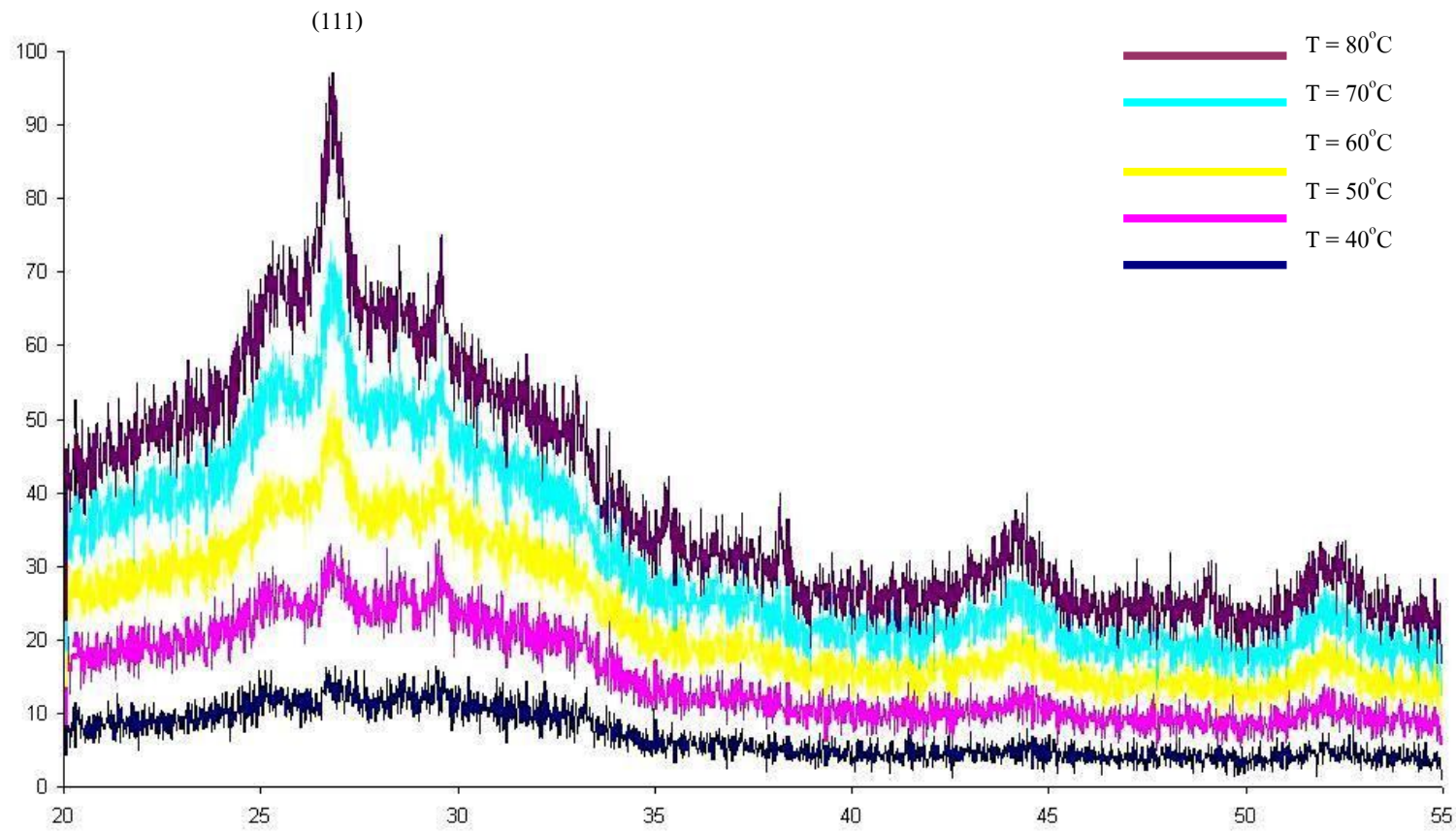
ตารางที่ 1 แสดงระนาบผลึกและมุม 2θ ของฟิล์ม CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิอบสารละลาย ($^{\circ}\text{C}$)	ระนาบ และ มุม 2θ
40	C (111), C (200), H (100), H (002), H (101) 26.70 $^{\circ}$, 29.52 $^{\circ}$, 25.01 $^{\circ}$, 26.77 $^{\circ}$, 28.66 $^{\circ}$
50	C (111), C (200), H (002), H (101) 26.90 $^{\circ}$, 29.54 $^{\circ}$, 26.90 $^{\circ}$, 29.54 $^{\circ}$
60	C (111), H (002) 26.96 $^{\circ}$, 26.80 $^{\circ}$
70	C (111), H (100), H (002) 26.89 $^{\circ}$, 25.56 $^{\circ}$, 26.83 $^{\circ}$
80	C (111), C (200), H (002), H (101), H (102), H (103) 26.78 $^{\circ}$, 29.53 $^{\circ}$, 26.75 $^{\circ}$, 29.55 $^{\circ}$, 35.32 $^{\circ}$, 48.90 $^{\circ}$

และเมื่อพิจารณาฟลักของการเลี้ยวเบนจากภาพที่ 16 แล้วทำการคำนวณหาค่าคงที่ของผลึกและขนาดของเกรน ค่าคงที่โครงสร้างผลึกของผลึกทั้งสองชนิดได้ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากข้อมูลมาตรฐาน ค่าคงที่ของผลึกแบบคิวบิก $a = 5.811 \text{ \AA}$ และของผลึกแบบเฮกซะโกนอล $a = 4.121 \text{ \AA}$ $c = 6.682 \text{ \AA}$ เมื่อนำไปพิจารณาเปรียบเทียบกับตารางที่ 2 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2 แสดงค่าคงที่ของผลึกของฟิล์ม CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ

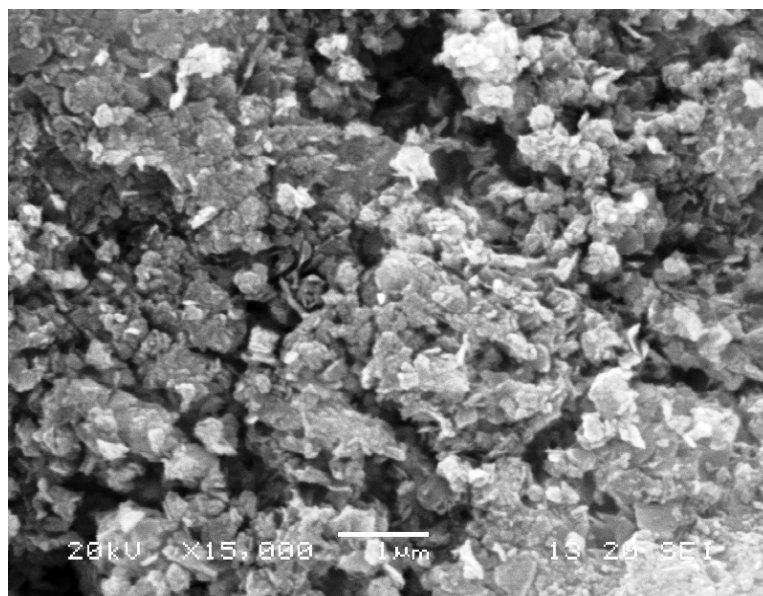
อุณหภูมิอบสารละลาย ($^{\circ}\text{C}$)	คิวบิก $a (\text{\AA})$	เฮกซะโกนอล $a (\text{\AA})$	$c (\text{\AA})$	ขนาดเกรน (nm)
40	5.751	4.114	6.657	-
50	5.749	3.485	6.628	15.808
60	5.749	3.528	6.654	13.242
70	5.755	4.024	6.643	21.081
80	5.774	3.378	6.663	33.493



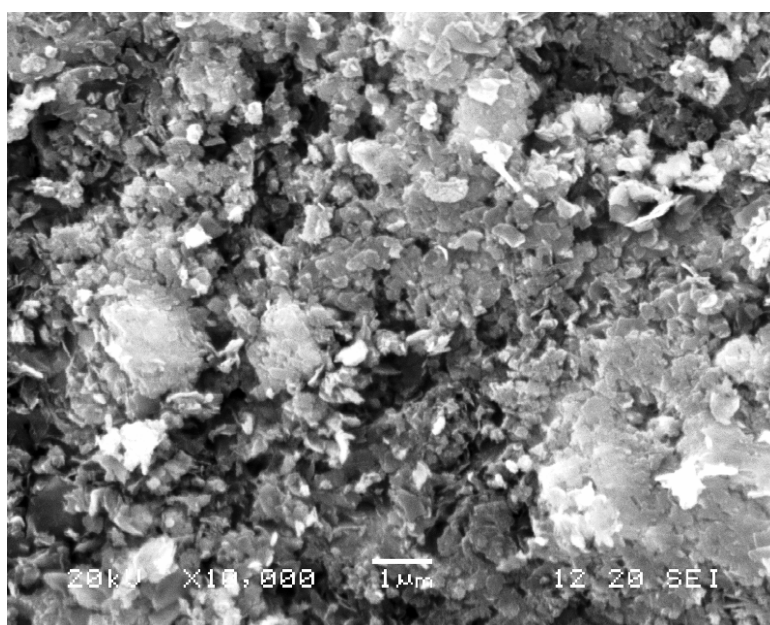
ภาพที่ 16 แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CdS ที่เคลือบลงบนกระจกสไลด์ ณ อุณหภูมิ 40-80°C

3. ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาค

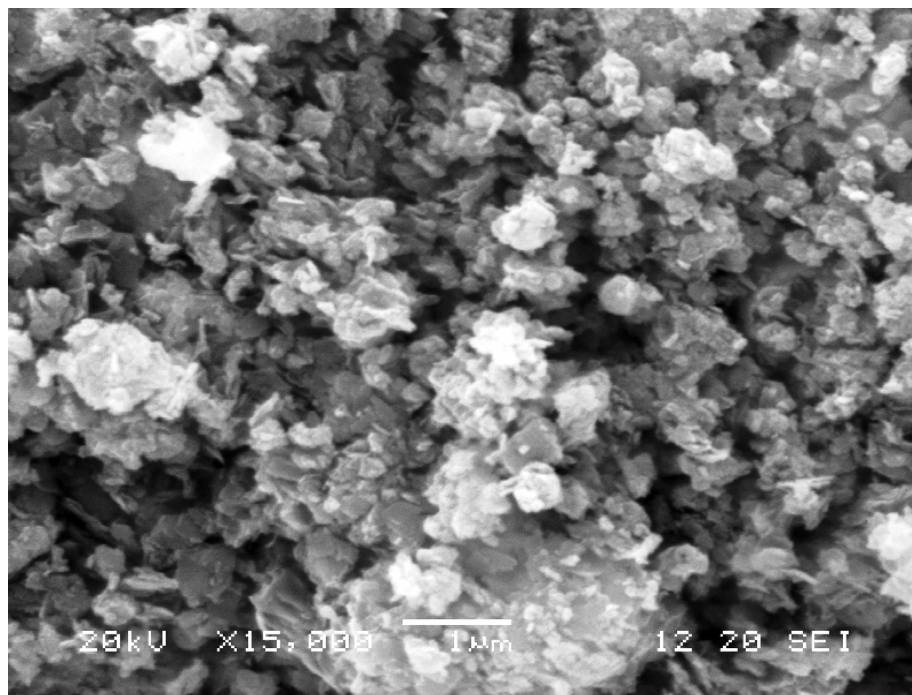
3.1 ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



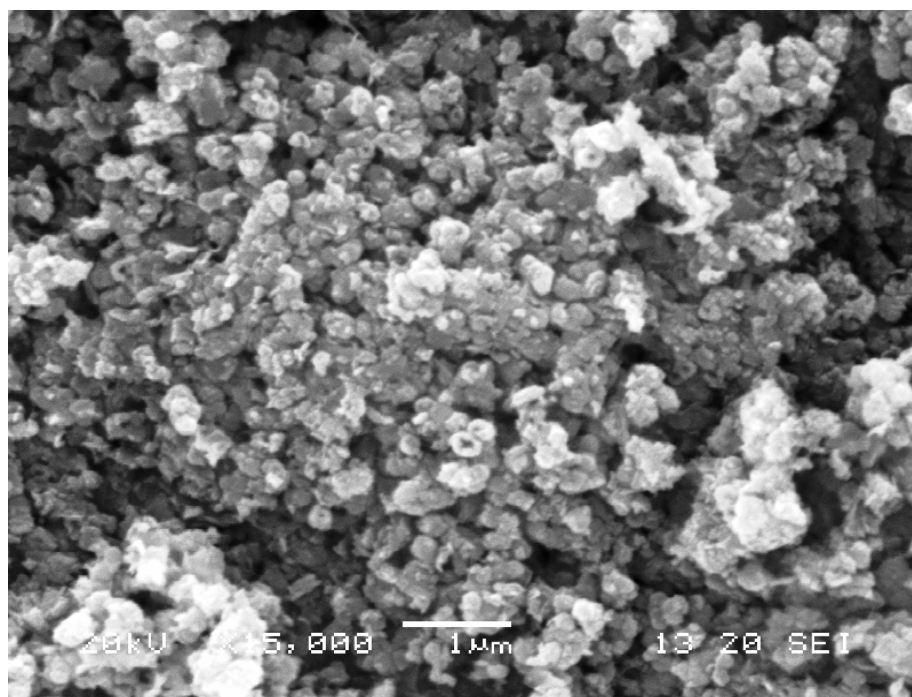
ภาพที่ 17 แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40° C



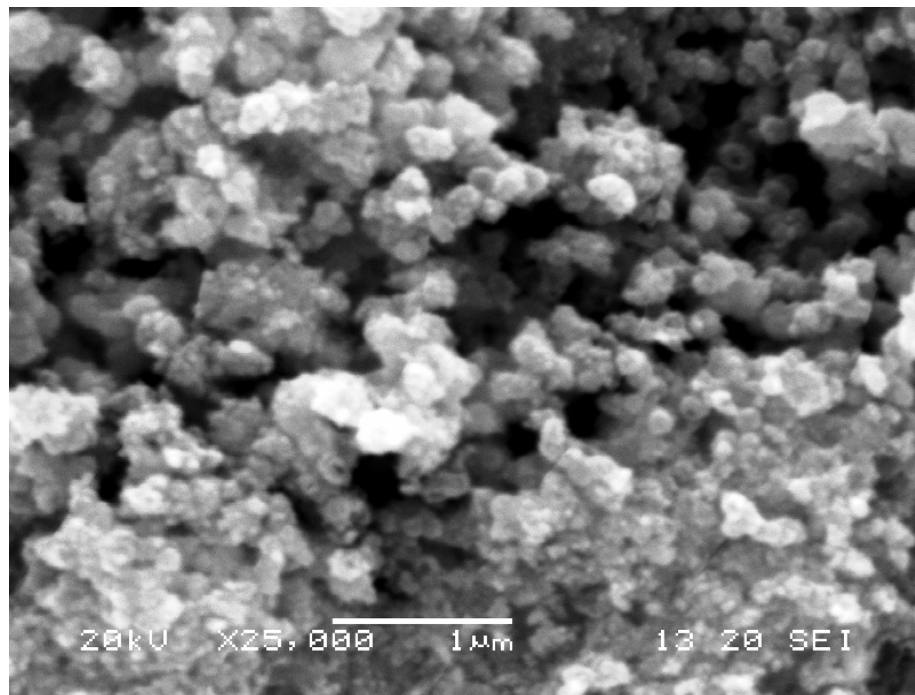
ภาพที่ 18 ภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 50° C



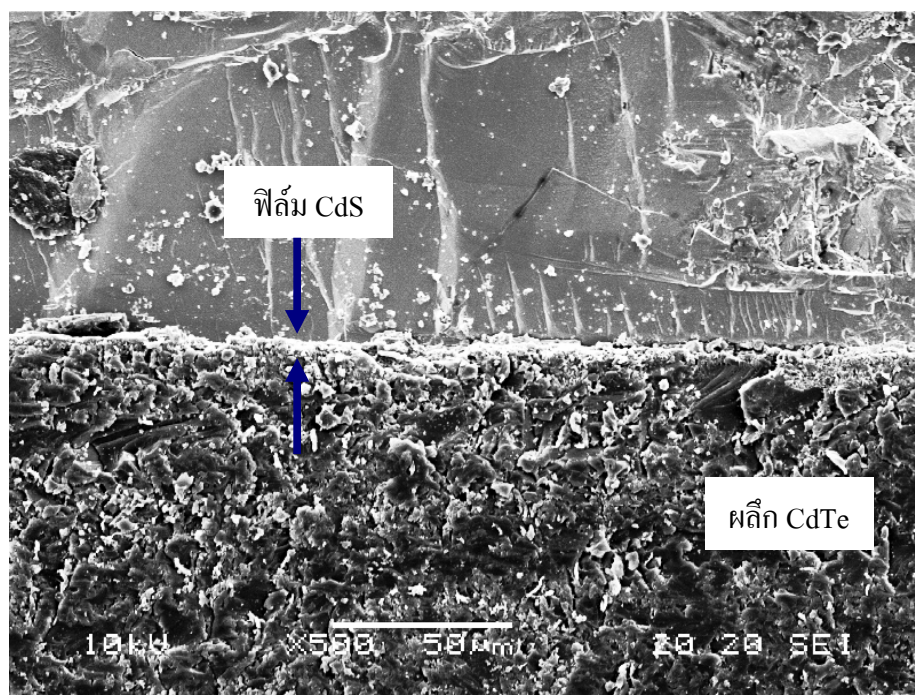
ภาพที่ 19 แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 60° C



ภาพที่ 20 แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 70° C



ภาพที่ 21 แสดงภาพถ่ายผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 80° C

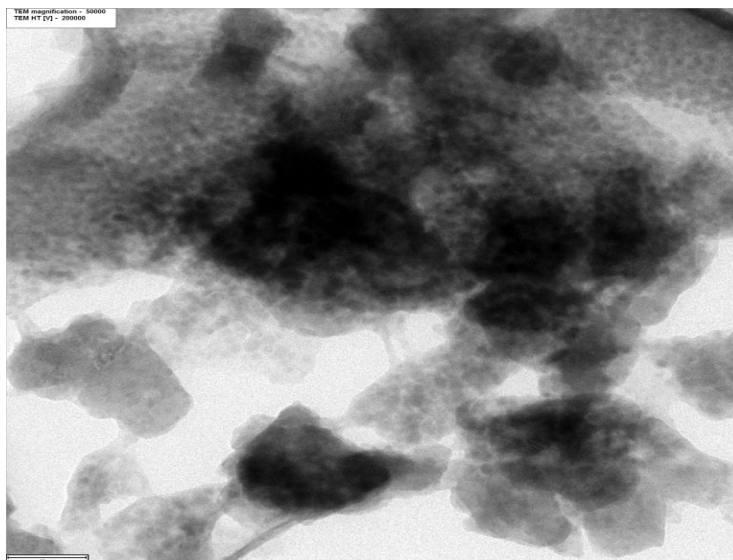


ภาพที่ 22 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางฟิล์มบาง CdS /CdTe

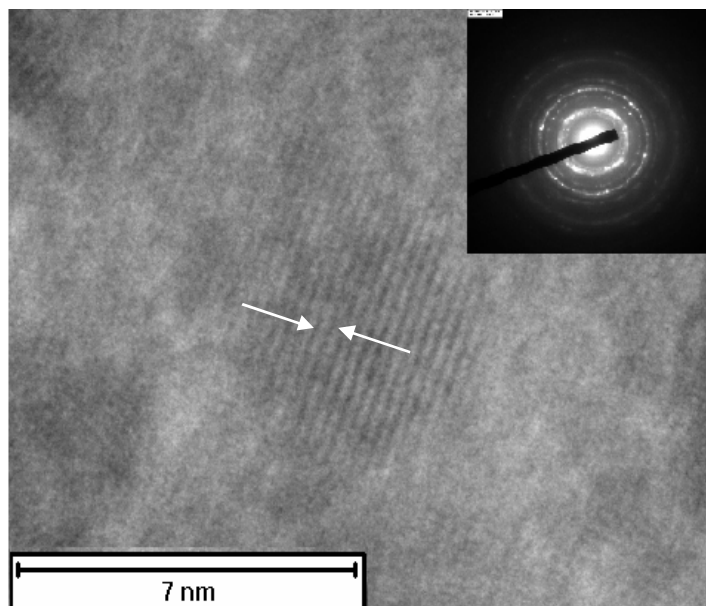
เมื่อพิจารณาภาพที่ 17 และ ภาพที่ 18 พบว่ามีการเรียงตัวของชั้นฟิล์มเป็นแผ่นไม่เกิดเกรน โดยที่ในภาพที่ 19 พบว่าเริ่มมีเกรนเรียงตัวเห็นได้ชัดเจนเป็นกลุ่ม ๆ แต่ในภาพที่ 20 จะเห็นเกรนเป็นรูปร่างและเรียงตัวต่อกันได้ชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาภาพที่ 21 ที่อุณหภูมิอบสารละลาย 80°C จะเห็นได้ว่าเกรนมีการแบ่งขอบเขตชัดเจนมาก มีลักษณะของเกรนที่มีด้านเท่ากันทุกด้าน ทำมุมกันเป็นค่ามุมประมาณ 90° ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นผลึกแบบคิวบิก และมีลักษณะเป็นเหลี่ยมทำมุมประมาณ 60° ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นผลึกแบบเฮกซะ โกนอล มีขนาดเกรนใหญ่กว่าภาพที่ 19 และภาพที่ 20 แต่อย่างไรก็ตามจากสเกลของภาพพบว่าขนาดเกรนมีขนาดเล็กกว่า $1\ \mu\text{m}$ จึงกล่าวได้ว่าเกรนมีขนาดเล็กมากและสามารถสังเกตเห็นว่าฟิล์มมีช่องว่างซึ่งแสดงถึงความพร่องหรือความไม่สมบูรณ์ของผลึก

ภาพที่ 22 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางฟิล์มบาง CdS/CdTe ส่วนบนแสดงชั้นของผลึก CdTe และ ส่วนที่มีสีขาวตรงกลางแสดงชั้นของฟิล์ม CdS ซึ่งจากการคำนวณด้วยสเกลจากภาพ พบว่าชั้นของฟิล์ม CdS มีความหนาประมาณ $38\ \text{nm}$ ซึ่งจัดว่าเป็นฟิล์มประเภท ฟิล์มบาง

3.2 ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

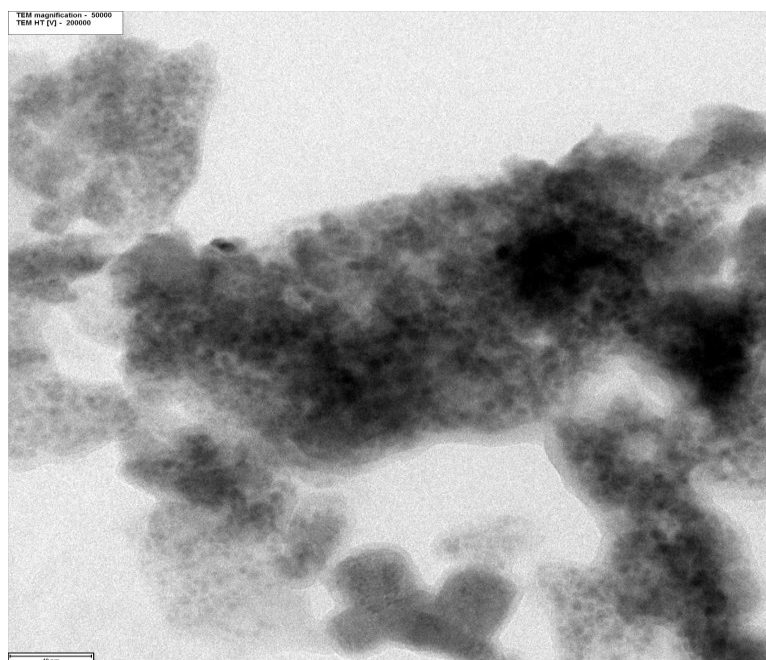


(a)

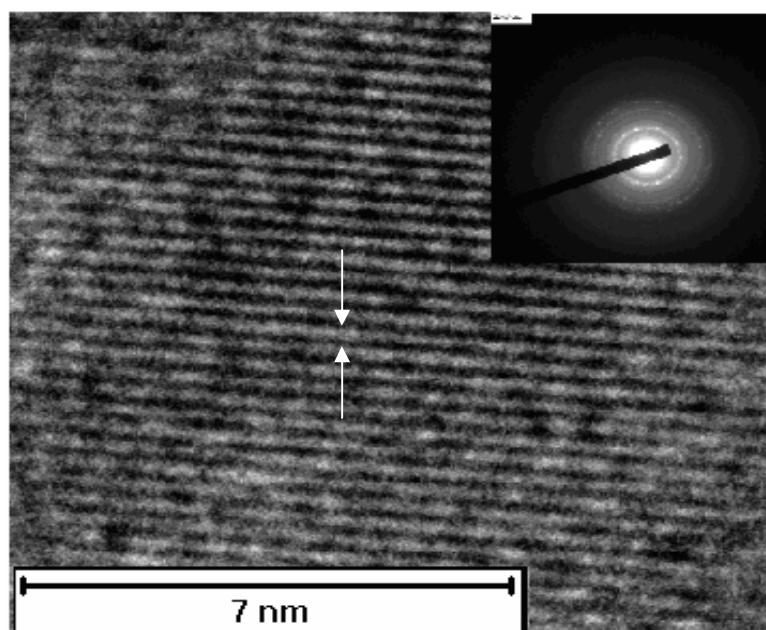


(b)

ภาพที่ 23 ภาพถ่ายจาก TEM ของฟิล์มCdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40° C
 (a) แสดงลักษณะผลึกของฟิล์ม (b) แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ C(311)

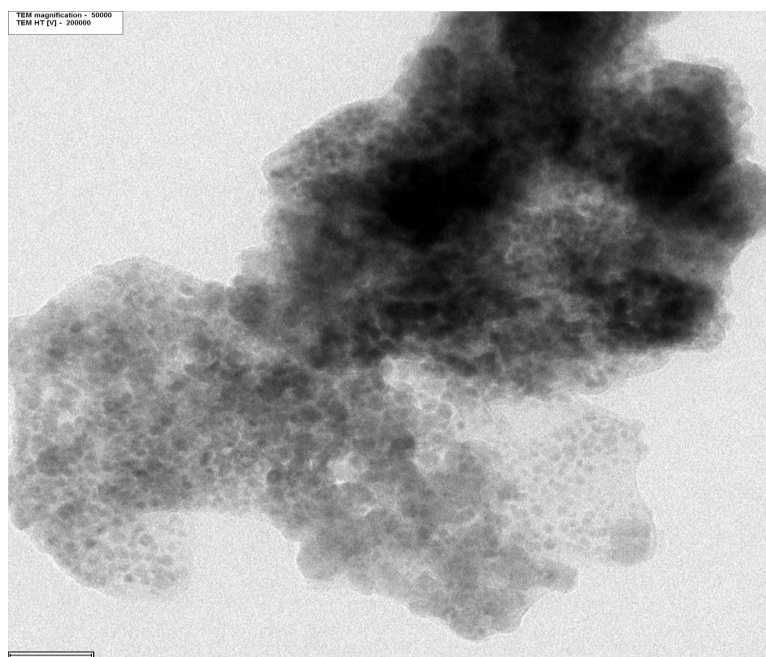


(a)

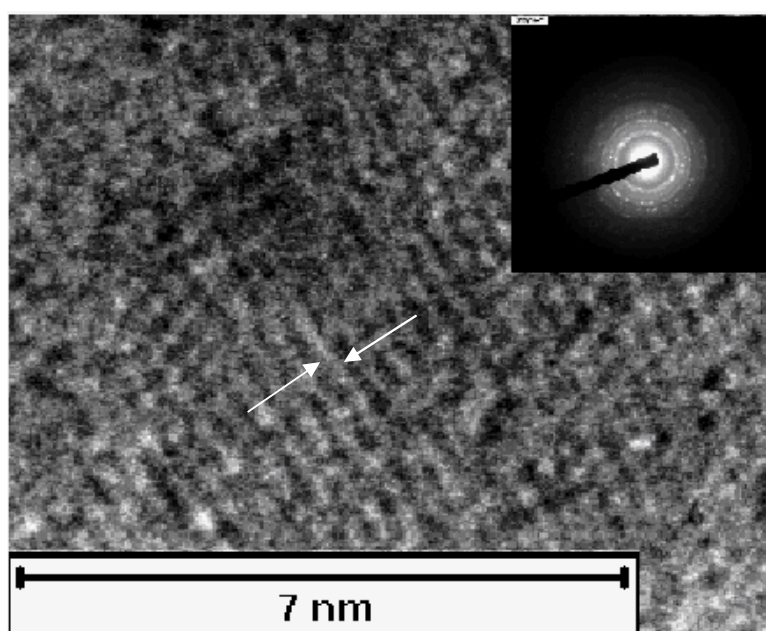


(b)

ภาพที่ 24 ภาพถ่ายจาก TEM ของฟิล์มCdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 50°C
 (a) แสดงลักษณะผลึกของฟิล์ม (b) แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ H(102)



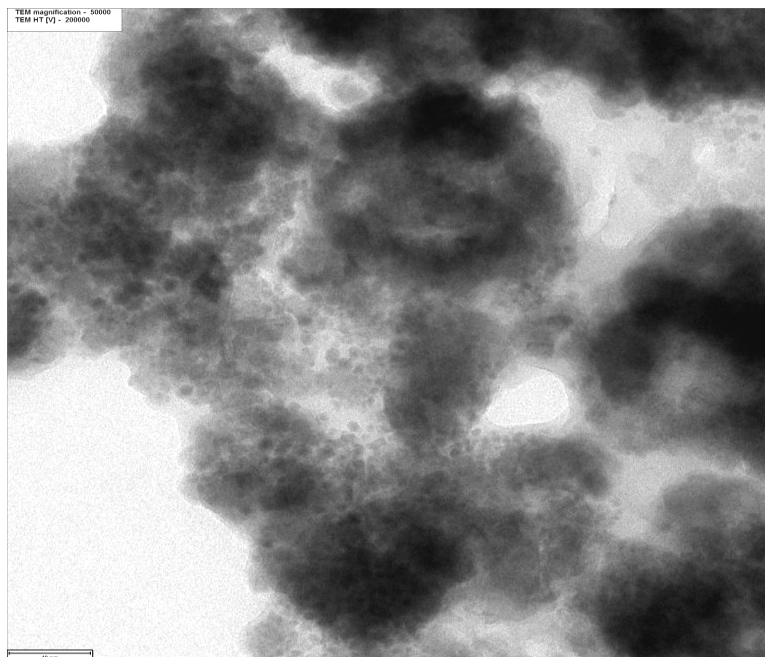
(a)



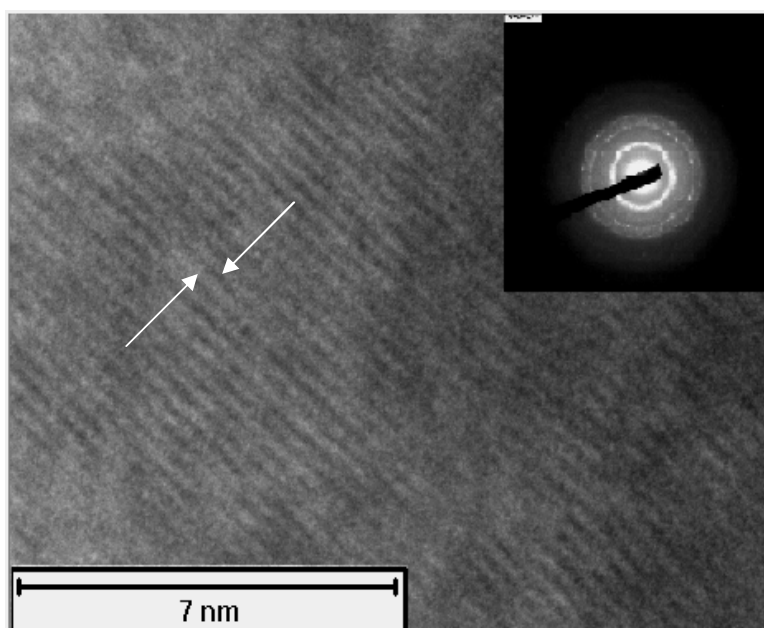
(b)

ภาพที่ 25 ภาพถ่ายจาก TEM ของฟิล์มCdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 60°C

(a) แสดงลักษณะผลึกของฟิล์ม (b) แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ C(220)

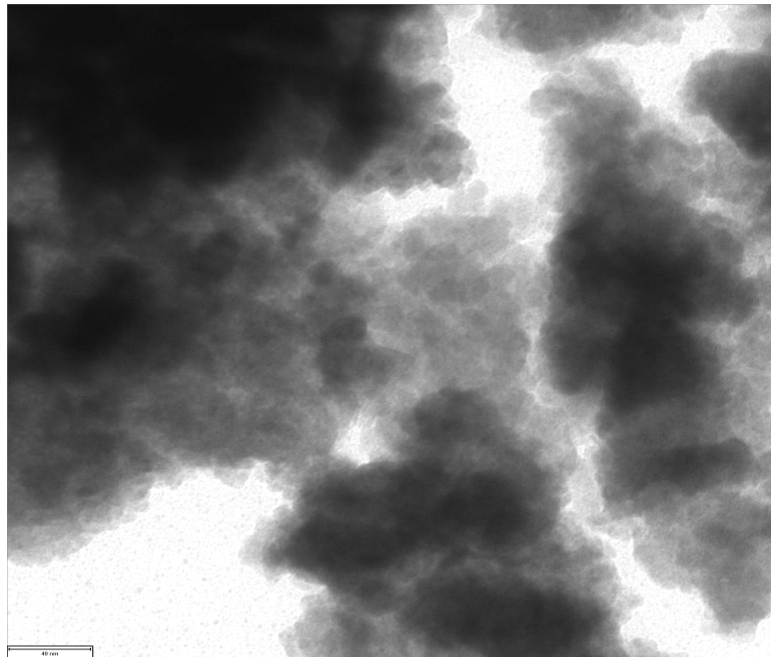


(a)

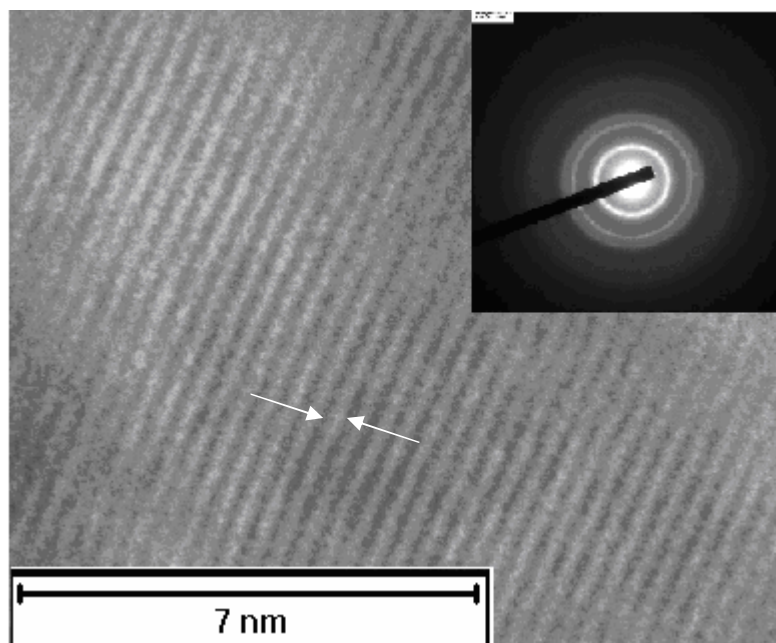


(b)

ภาพที่ 26 ภาพถ่ายจาก TEM ของฟิล์มCdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 70°C
 (a) แสดงลักษณะผลึกของฟิล์ม (b) แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ C(220)



(a)



(b)

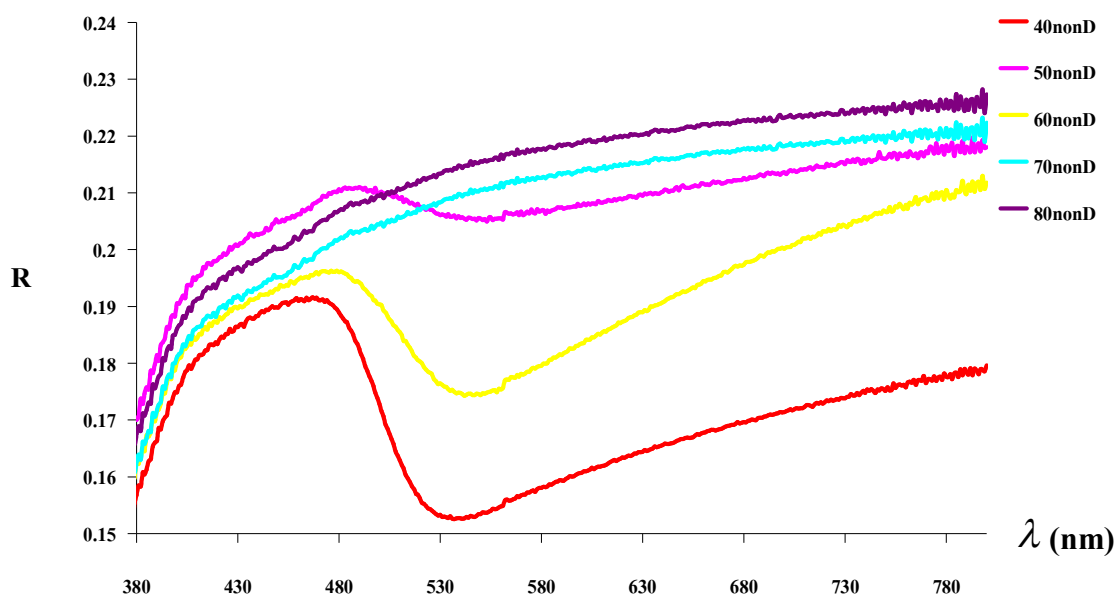
ภาพที่ 27 ภาพถ่ายจาก TEM ของฟิล์มCdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 80°C
 (a) แสดงลักษณะผลึกของฟิล์ม (b) แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ H(103)

เมื่อพิจารณาภาพที่ 23 ถึงภาพที่ 27 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 ดังนี้

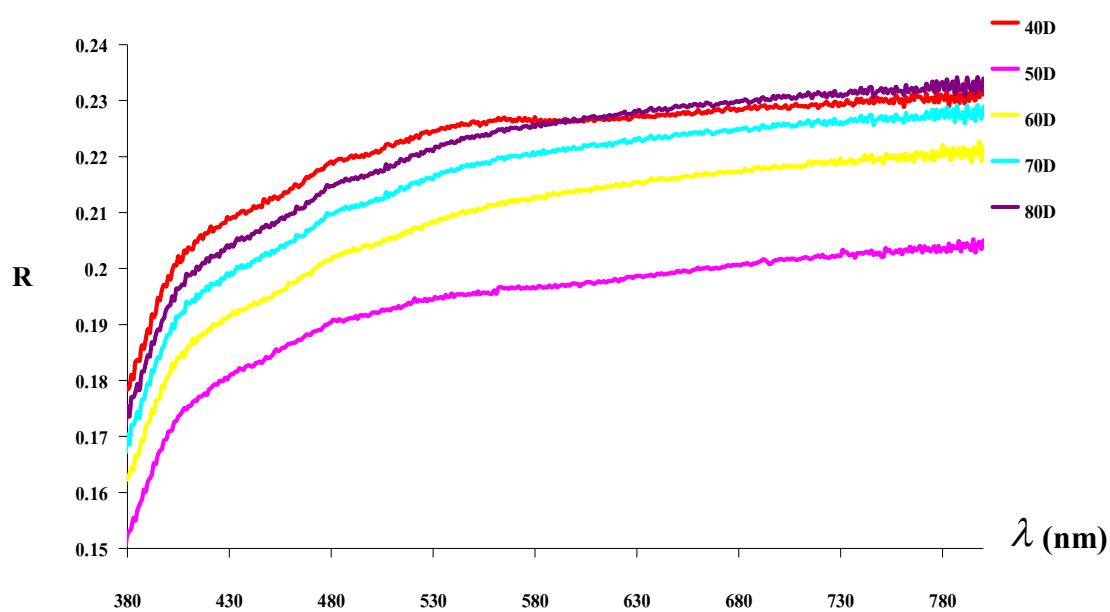
ตารางที่ 3 แสดงลักษณะที่พิจารณาได้จากภาพถ่าย TEM

อุณหภูมิอ่างอบสารละลาย (°C)	ระนาบผลึก	ลักษณะของฟิล์ม CdS
40	C(311)	มีการกระจายเม็ดของผลึกสม่ำเสมอ ขนาดของเม็ดผลึกมีขนาดใกล้เคียงกัน มีลักษณะกลม
50	H(102)	ขนาดของเม็ดผลึกมีทั้งใหญ่เล็กไม่เท่ากัน มีทั้งลักษณะกลม และเป็นเหลี่ยมเอียง
60	C(220)	มีการกระจายเม็ดของผลึก ผลึกมีลักษณะกลมและมีขนาดใหญ่เล็กไม่เท่ากัน
70	C(220)	ผลึกมีลักษณะกลมมีขนาดใหญ่เล็กไม่เท่ากัน ลักษณะของฟิล์มซ้อนกันเป็นชั้น
80	H(103)	ลักษณะฟิล์มซ้อนกันเป็นชั้นค่อนข้างหนา เห็นเม็ดผลึกไม่ชัดเจน แต่ยังพอสังเกตเห็นเหลี่ยมมุมของเม็ดผลึกได้

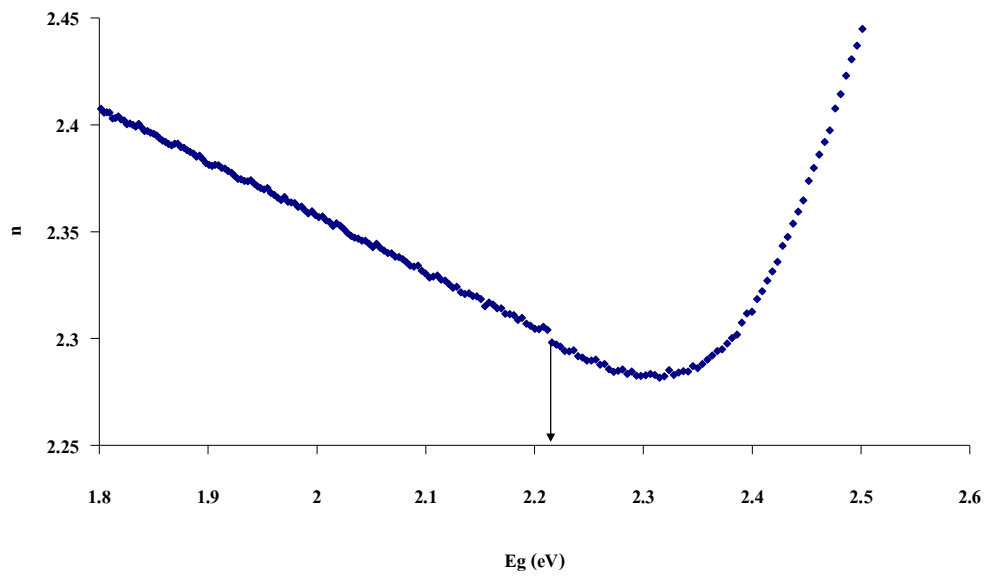
4. ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสง



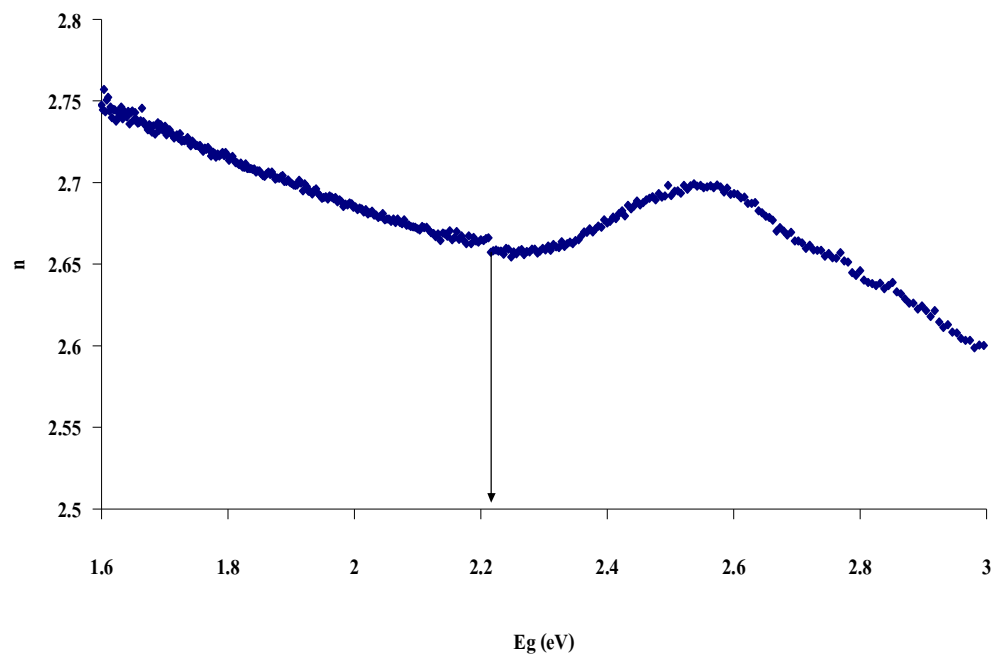
ภาพที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนของฟิล์มที่อบสารละลาย ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



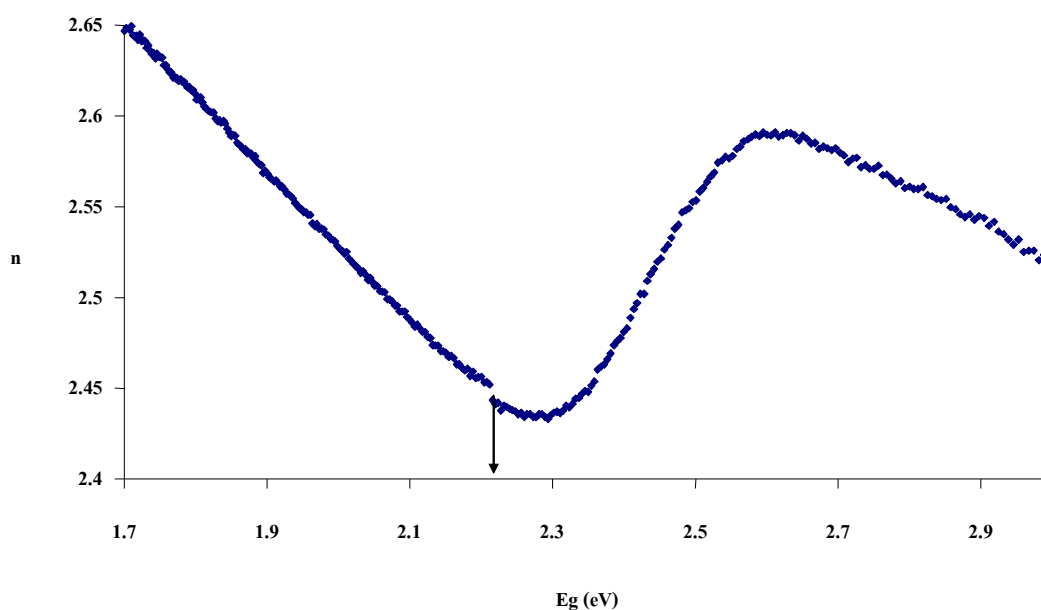
ภาพที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนของฟิล์มที่อบสารละลาย ณ อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วนำไปเจือด้วย CdCl_2



ภาพที่ 30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างแถบพลังงานกับดัชนีหักเหของฟิล์ม CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40° C



ภาพที่ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างแถบพลังงานกับดัชนีหักเหของฟิล์ม CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 50° C



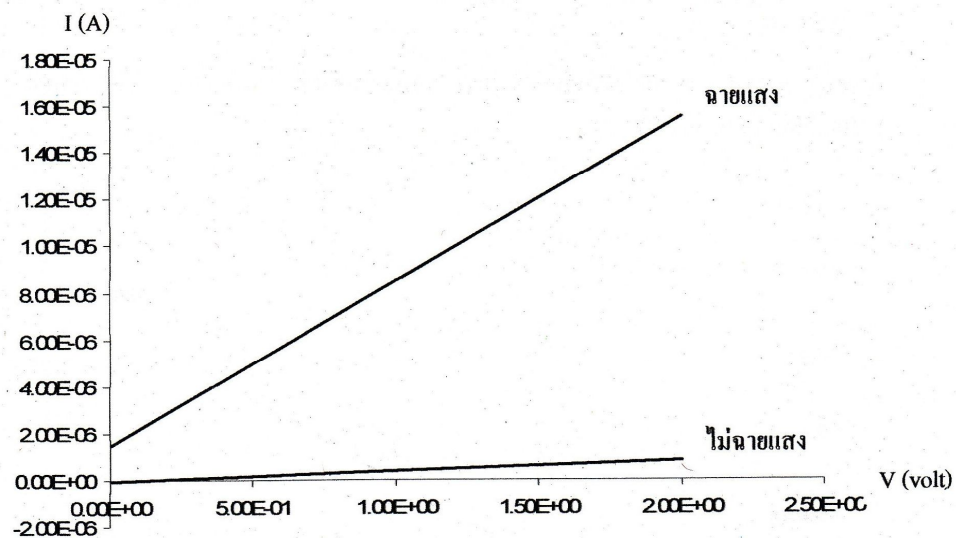
ภาพที่ 32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างแถบพลังงานกับดัชนีหักเหของฟิล์ม CdS ที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 60° C

เมื่อพิจารณาภาพที่ 28 พบว่าฟิล์มที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60°C มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงมีค่าลดลงในช่วง 480-530 nm และเมื่อพิจารณาภาพที่ 29 จะเห็นได้ชัดเจนว่าไม่เกิดการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงเลย แล้วเมื่อนำภาพที่ 28 และภาพที่ 29 ไปคำนวณตามสมการที่ 18 แล้วไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างแถบพลังงานกับดัชนีหักเห พบว่ามีเพียงฟิล์มที่ทำการอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60°C ที่ไม่ผ่านการเจือที่สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ได้สอดคล้องกับทฤษฎีและช่วงการดูดกลืน ซึ่งจะไม่พบในฟิล์มผ่านการเจือ ทำให้สามารถสรุปค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์ม ได้ดังตารางที่ 4

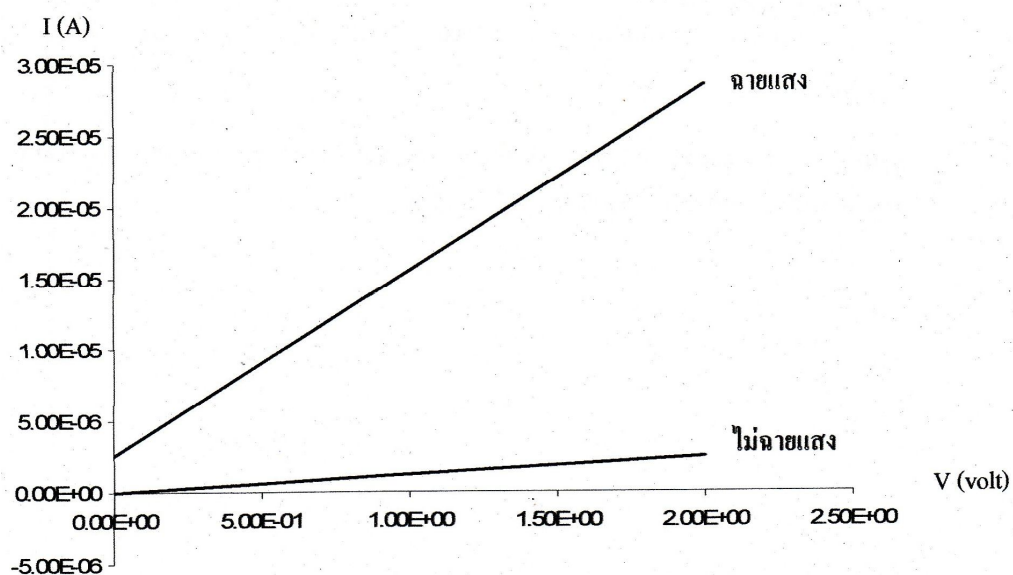
ตารางที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอ่างอบสารละลายกับค่าช่องว่างพลังงานของฟิล์ม CdS/CdTe

อุณหภูมิอ่างอบสารละลาย (°C)	ค่าช่องว่างพลังงาน (eV)
40	2.21
50	2.22
60	2.21

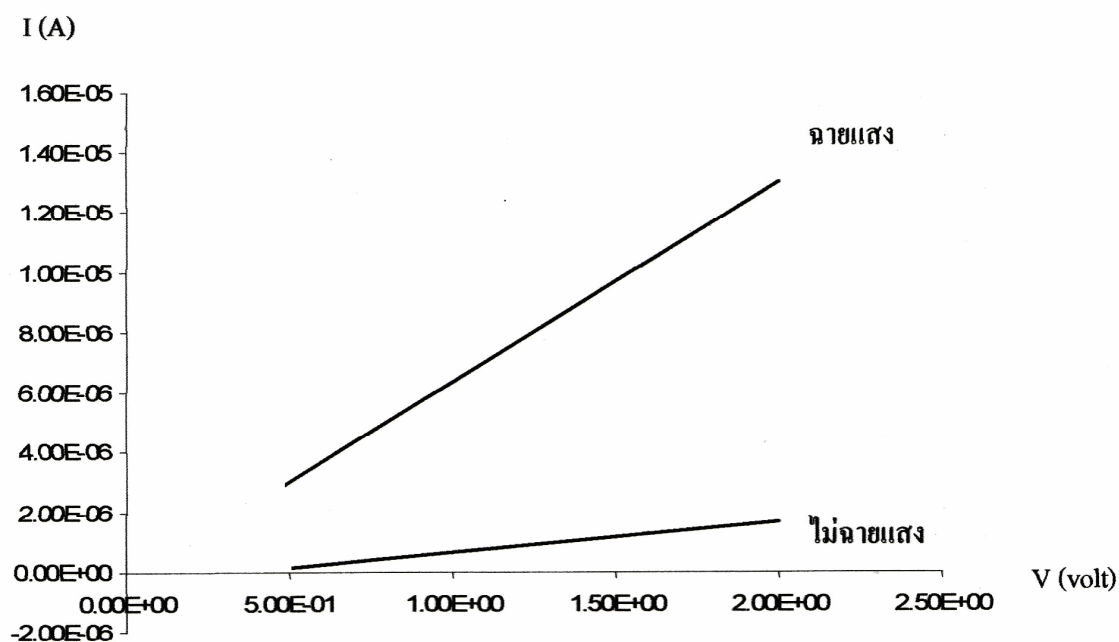
5. ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า



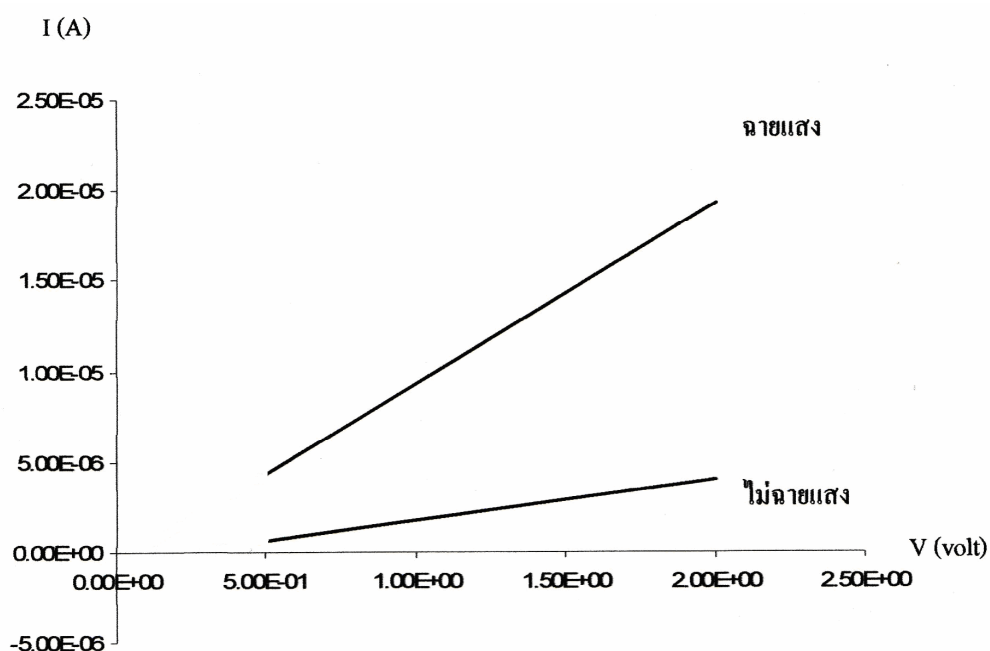
ภาพที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40° C



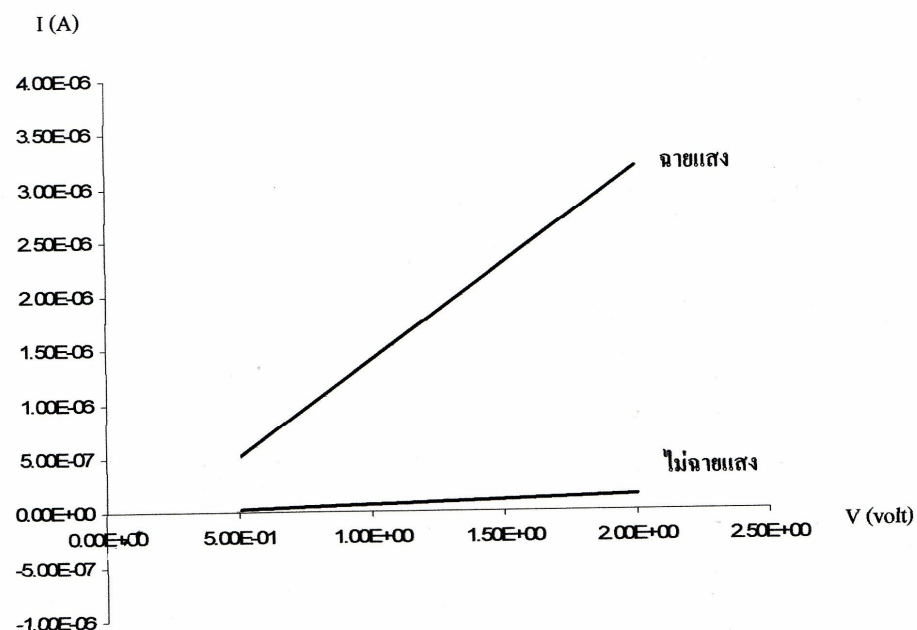
ภาพที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลายที่อุณหภูมิ 40° C แล้วทำการเจือด้วย CdCl₂



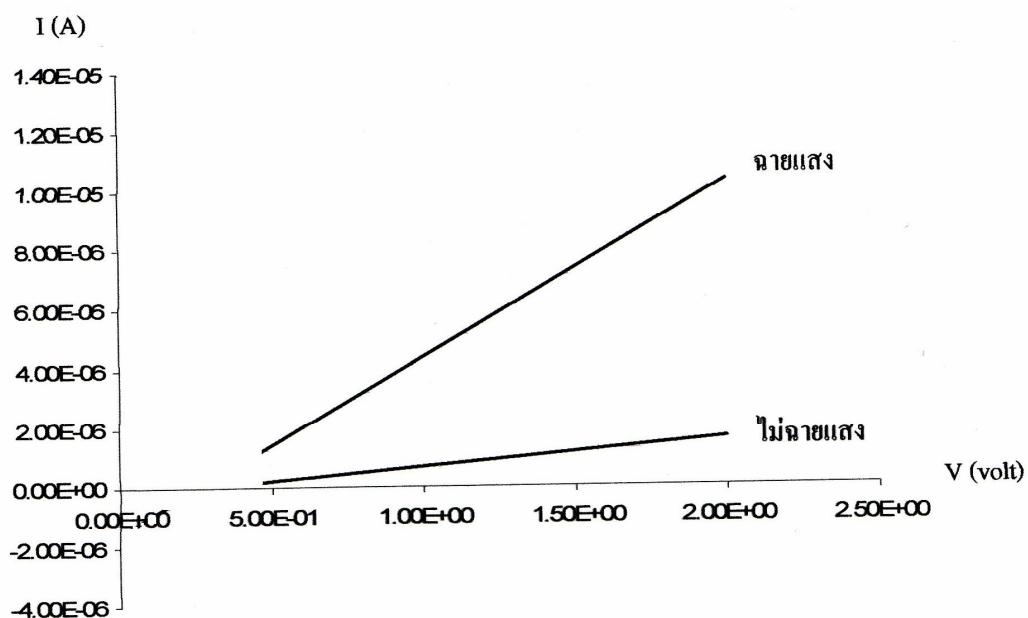
ภาพที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลายที่อุณหภูมิ 50°C



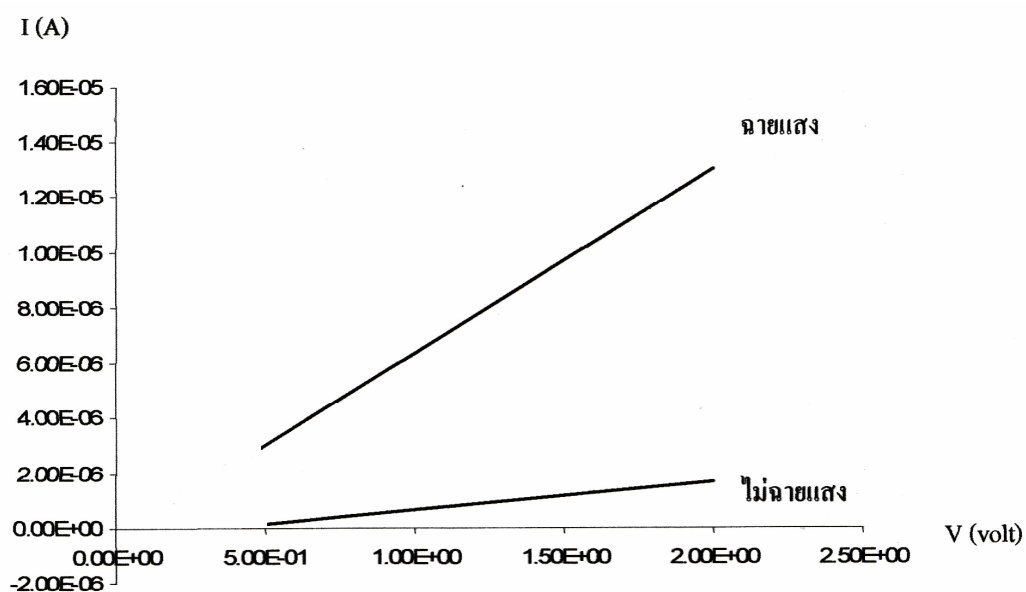
ภาพที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลายที่อุณหภูมิ 50°C แล้วทำการเจือด้วย CdCl_2



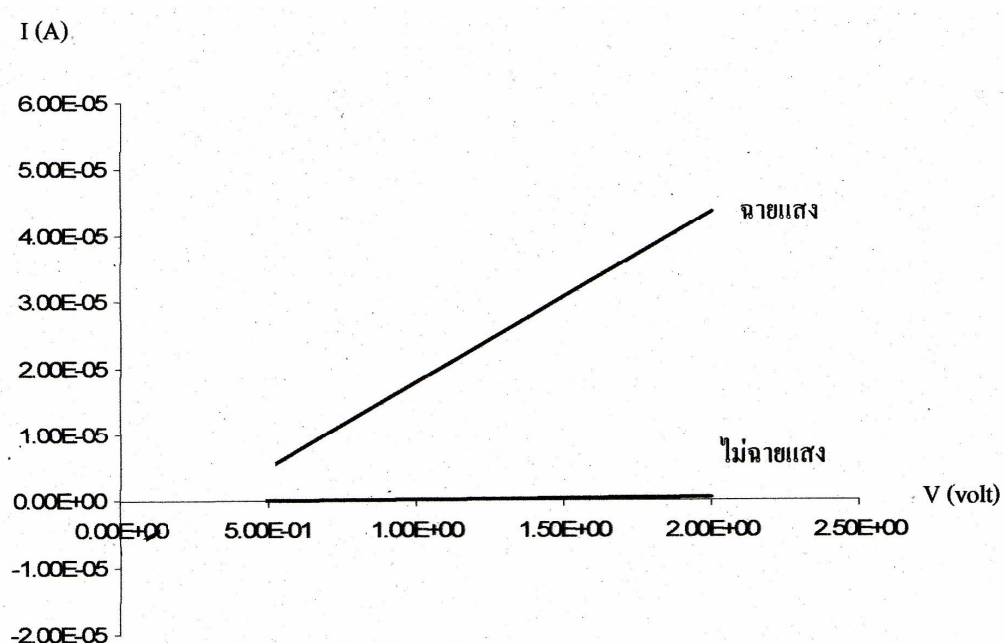
ภาพที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลายที่อุณหภูมิ 60° C



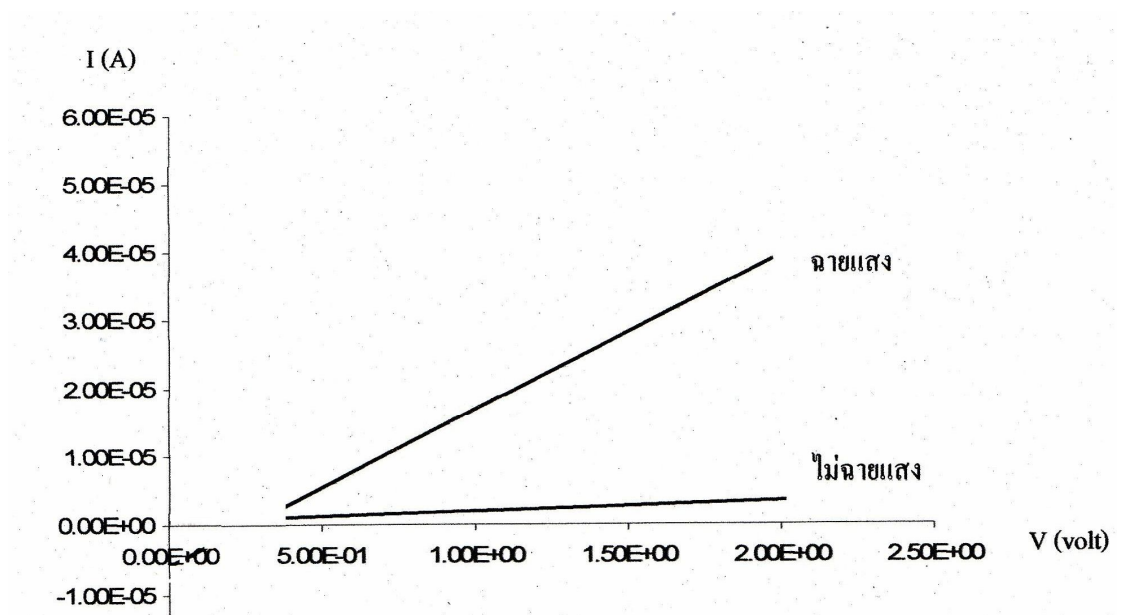
ภาพที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลายที่อุณหภูมิ 60° C แล้วทำการเจือด้วย CdCl_2



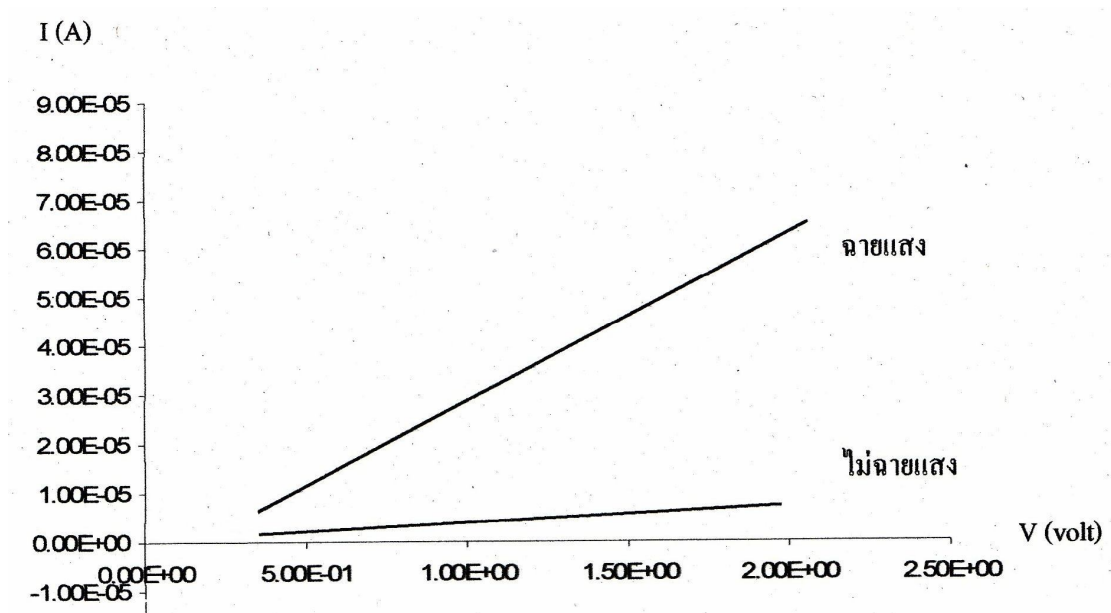
ภาพที่ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลายที่อุณหภูมิ 70° C



ภาพที่ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลายที่อุณหภูมิ 80° C แล้วทำการเจือด้วย CdCl₂



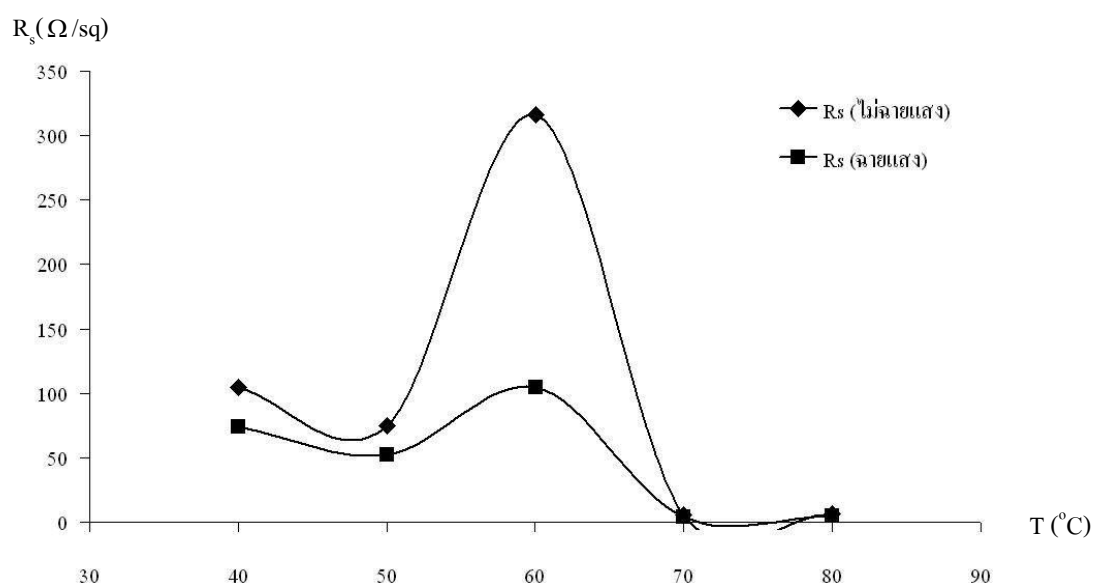
ภาพที่ 41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลายที่อุณหภูมิ 80° C



ภาพที่ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของฟิล์ม CdS/CdTe ที่อุณหภูมิอบสารละลายที่อุณหภูมิ 80° C แล้วทำการเจือด้วย CdCl₂

ตารางที่ 5 แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์ม CdS ที่เคลือบบนผลึกพหุพันธ์ CdTe

อุณหภูมิอ่างอาบ สารละลาย (°C)	R_s (ไม่ฉายแสง) (Ω /sq)	R_s (ฉายแสง) (Ω /sq)	ความไวแสง
40	1.05×10^5	7.37×10^4	1.43
50	7.47×10^4	5.23×10^4	1.43
60	3.16×10^5	1.05×10^5	3.00
70	5.52×10^3	4.14×10^3	1.33
80	6.17×10^3	5.02×10^3	1.23

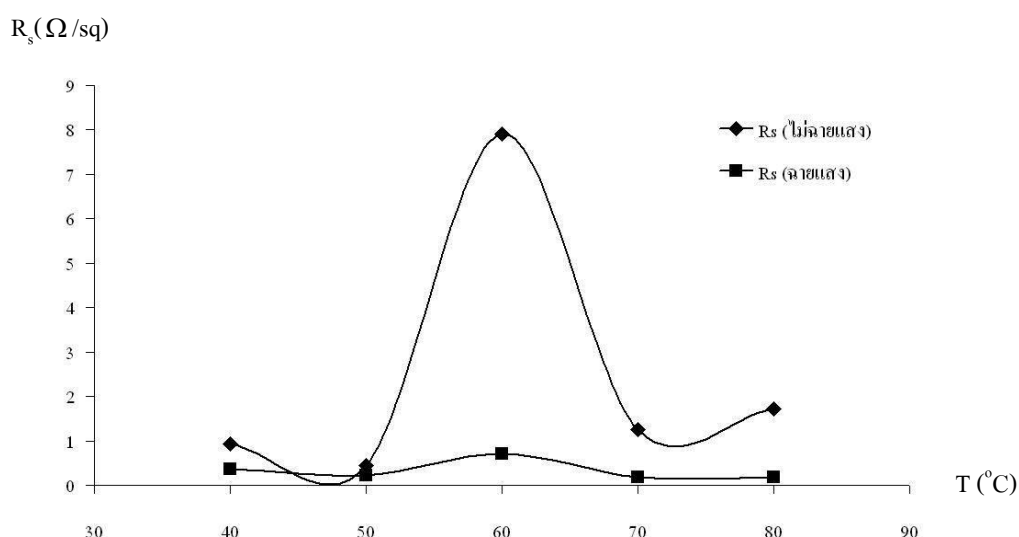


ภาพที่ 43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอ่างอาบสารละลายกับความต้านทานแผ่นของฟิล์ม CdS ที่เคลือบบนผลึกพหุพันธ์ CdTe

จากตารางที่ 5 และ ภาพที่ 43 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอ่างอาบสารละลายเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแผ่นก็จะเพิ่มขึ้น แล้วเมื่อฉายแสงให้ฟิล์มก็จะพบว่า ค่าความต้านทานแผ่นเมื่อฉายแสงจะมีค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิอ่างอาบสารละลาย 60°C จะมีค่าความไวแสงมากที่สุดและความต้านทานแผ่นเมื่อฉายแสงและไม่ฉายแสงมากที่สุด คือ $3.16 \times 10^5 \Omega$ /sq และ $1.05 \times 10^5 \Omega$ /sq ตามลำดับ

ตารางที่ 6 แสดงผลการวัดค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์ม CdS/CdTe CdS ที่เคลือบบนผลึกพหุ
พันธ์ CdTe แล้วนำไปเจือด้วย CdCl₂

อุณหภูมิอ่างอาบ สารละลาย (°C)	R _s (ไม่ฉายแสง) (Ω/sq)	R _s (ฉายแสง) (Ω/sq)	ความไวแสง
40	9.34 x 10 ⁵	3.74 x 10 ⁵	2.50
50	4.36 x 10 ⁵	2.18 x 10 ⁵	2.0
60	7.90 x 10 ⁶	7.02 x 10 ⁵	11.25
70	1.25 x 10 ⁶	1.87 x 10 ⁵	6.67
80	1.72 x 10 ⁶	1.92 x 10 ⁵	8.96



ภาพที่ 44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอ่างอาบสารละลายกับความต้านทานแผ่นของฟิล์ม
CdS ที่เคลือบบนผลึกพหุพันธ์ CdTe แล้วนำไปเจือด้วย CdCl₂

จากตารางที่ 6 และ ภาพที่ 44 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอ่างอาบสารละลายเพิ่มขึ้นค่าความ
ต้านทานแผ่นก็จะเพิ่มขึ้น แล้วเมื่อฉายแสงให้ฟิล์มก็จะพบว่า ค่าความต้านทานแผ่นเมื่อฉายแสงจะมี
ค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิอ่างอาบสารละลาย 60°C จะมีค่าความไวแสงมากที่สุดและความต้านทาน
แผ่นเมื่อฉายแสงและไม่ฉายแสงมากที่สุด คือ 7.90 x 10⁶ Ω/sq และ 7.02 x 10⁵ Ω/sq ตามลำดับ
และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลในตารางที่ 5 และตารางที่ 6 พบว่าฟิล์มที่ได้รับการเจือ
ปนมีค่าความต้านทานแผ่นและค่าความไวแสงมากกว่าฟิล์มที่ไม่เจือปน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. फिल्म Cds บนผลึกพหุพันธ์ CdTe โดยวิธีอาบสารละลายเคมี ที่เตรียมได้ในการวิจัยนี้ จะลักษณะเป็นผิวหน้าค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอยึดติดกับแผ่นรองรับได้เป็นอย่างดี เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอ่างอาบสารละลายสีของฟิล์มก็จะเข้มขึ้น โดยที่ฟิล์มจะมีสีเหลืองจนถึงสีเหลืองอมส้ม

2. สมบัติของโครงสร้างเชิงจุลภาคของฟิล์ม Cds จะทำการศึกษาโดยใช้การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ด้วยวิธี $\theta - 2\theta$ ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ พบว่า ผลึกของฟิล์มมีโครงสร้างผลึกแบบลูกบาศก์และแบบเฮกซะโกนอลปนกัน และเมื่ออุณหภูมิอาบสารละลายเพิ่มขึ้นก็ยิ่งแสดงความเป็นผลึกชัดเจนขึ้นแล้ว เมื่อทำการคำนวณหาขนาดเกรนของผลึก Cds โดยใช้สูตรของเชอเรอร์ พบว่าขนาดเกรนแปรผันตรงกับอุณหภูมิการอาบสารละลายที่เพิ่มขึ้น

3. สมบัติของโครงสร้างเชิงมหภาค ซึ่งศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าขนาดของเกรนมีค่าน้อยกว่า $1 \mu m$ มากจึงกล่าวได้ว่ามีขนาดเล็กมาก จากภาพถ่ายที่ได้จาก SEM พบว่า ฟิล์ม Cds บนแผ่นรองรับ CdTe มีลักษณะของเม็ดผลึกค่อนข้างกลม ซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้างผลึกแบบลูกบาศก์ และเมื่ออุณหภูมิอ่างอาบสารละลายสูงขึ้นพบว่าเม็ดผลึกมีลักษณะเป็นรูปเหลี่ยมซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลมากขึ้น และเมื่อพิจารณาภาพถ่าย TEM ก็ได้ผลสอดคล้องกันแล้วยังพบว่าขนาดของเม็ดผลึกมีค่าแปรผันตรงกับอุณหภูมิอ่างอาบสารละลายที่เพิ่มขึ้น

4. สมบัติเชิงแสงของฟิล์ม Cds ที่ทำการศึกษาโดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ และนำค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้ไปหาค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์ม Cds บนแผ่นรองรับ CdTe ที่อุณหภูมิอ่างอาบสารละลายต่างๆ พบว่า มีค่าช่องว่างแถบพลังงานใกล้เคียงกัน คือ 2.21 และ 2.22 eV และเมื่อนำฟิล์มไปเจือด้วย $CdCl_2$ มาคำนวณหาช่องว่างแถบพลังงาน พบว่าไม่สามารถคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงานได้เพราะฟิล์มที่ทำการพิจารณาไม่เกิดช่วงการดูดกลืน อาจเป็นเพราะฟิล์มที่เตรียมได้มีรูพรุนมากเกินไปและผิวหน้าของฟิล์มไม่สม่ำเสมอ

5. สมบัติเชิงไฟฟ้าของฟิล์ม CdS บนผลึกพหุพันธ์ CdTe พบว่า เมื่อทำการเจือด้วย CdCl₂ ทำให้ค่าความต้านทานแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้น และยังมีผลให้การตอบสนองต่อแสงได้ดีมากขึ้นด้วย ซึ่งผลที่กล่าวมานี้เกิดจากกับดักประจุที่เกิดจากการเพิ่มของอะตอมแคดเมียมที่ได้จากการเจือ แล้วเมื่อพิจารณาค่าความไวแสง พบว่า การเจือจะส่งผลดีต่อฟิล์มที่เตรียมที่อุณหภูมิอ่างอบสารละลายมีค่า 60°C โดยจะมีค่าความไวแสงมากถึง 11.25

6. ความสัมพันธ์จากการศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์ม CdS/CdTe

ตารางที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์ม CdS/CdTe

T _D (°C)	D (nm)	E _g (eV)		R _s (kΩ/sq)		R _s Doped (MΩ/sq)		Sensitivity	
		Non Doped	Doped	Non Light	Light	Non Light	Light	Non Doped	Doped
40	-	2.21	-	105	73.7	0.934	0.374	1.43	2.50
50	15.81	2.22	-	74.7	52.3	0.436	0.218	1.43	2.00
60	13.24	2.21	-	316	105	7.90	0.702	3.00	11.25
70	21.08	-	-	5.52	4.14	1.25	0.187	1.33	6.67
80	33.49	-	-	6.17	5.02	1.72	0.192	1.23	8.96

เมื่ออุณหภูมิการอบสารละลายสูงขึ้นผลของขนาดควอนตัม (quantum size effect) มีผลมากต่อฟิล์มที่ผ่านการเจือด้วย CdCl₂ กล่าวคือ ขนาดของเกรนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการอบสารละลายซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าค่าช่องว่างพลังงานมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามขนาดของเกรน ซึ่งในการวิจัยนี้เกรนมีขนาด 15-33 nm จึงถือได้ว่ามีขนาดเล็กมาก จนกระทั่งผลของขนาดควอนตัมแสดงออกมาให้เห็น ส่วนการเจือด้วย CdCl₂ มีผลต่อช่วงการดูดกลืนของแสง เนื่องจากอะตอมของสารเจือเข้าไปแทรกในที่ว่างระหว่างอะตอมทำให้โครงสร้างผลึกเปลี่ยนรูปไปหรือเกิดจากผิวของฟิล์มไม่เรียบและมีรูพรุนมาก ทำให้เมื่อถูกเจือแล้วทำให้ช่วงการดูดกลืนแสงหายไปทำให้สามารถพิจารณาค่าช่องว่างพลังงานได้บางค่าเท่านั้น

จากความต้านทานแผ่นของฟิล์มที่วัดได้ พบว่าอุณหภูมิการอบสารละลายเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแผ่นมีค่าลดลงจนทั้งในกรณีของฟิล์มที่ผ่านการเจือและไม่ผ่านการเจือ โดยที่ค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มที่ผ่านการเจือจะมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มที่ไม่ผ่านการเจือ จากผลที่กล่าวมา เกิดจากอิทธิพลของอะตอมออกซิเจนที่ถูกดูดซับไว้ที่บริเวณขอบของเกรนจนเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า จึงส่งผลให้ความต้านทานแผ่นเพิ่มขึ้นด้วย และการที่โครงสร้างผลึกเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอาจก่อให้เกิดกับดักพลังงานปรากฏในช่องว่างแถบพลังงาน นอกจากนี้อะตอมของออกซิเจนที่ถูกดูดซับไว้ที่บริเวณของขอบเกรนยังประพาดตัวเป็นทั้งกับดักพาหะอิสระ หรือเป็นศูนย์กลางการรวมตัวของพาหะได้อีกด้วย อีกทั้งความต้านทานแผ่นอาจจะขึ้นอยู่กับผลของขนาดของเกรน กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิการอบสารละลายเพิ่มขึ้นขนาดของเกรนจะเพิ่มขึ้นและจำนวนขอบของเกรนจะลดลง การกระเจิงของพาหะที่ขอบของเกรนจะลดลงตาม ทำให้ฟิล์มบางนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น

การฉายแสงให้กับฟิล์ม CdS ทำให้พาหะที่สามารถไหลข้ามกำแพงศักย์ที่ขอบของเกรน รวมทั้งพาหะที่ไหลอยู่ในที่ว่างระหว่างเกรนจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ความต้านทานแผ่นจึงลดลงค่อนข้างมาก การเจือด้วย CdCl_2 ลงบนฟิล์มจะทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้น เพราะอะตอมของแคลเซียมทำหน้าที่เป็นกับดักอิเล็กตรอน ดังนั้นความต้านทานแผ่นจึงมีค่าสูงแต่เมื่อมีการฉายแสงบนฟิล์มบาง ความต้านทานแผ่นจะลดลงเนื่องจากแสงไปกระตุ้นอิเล็กตรอนหลุดออกมาจากกับดัก ทำให้อิเล็กตรอนอิสระเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเจือด้วย CdCl_2 จึงทำให้การตอบสนองต่อแสงดีขึ้น ซึ่งสามารถแสดงได้โดยค่าความไวแสง จะเห็นได้ว่า ค่าความไวแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อนำฟิล์มที่เตรียมไปผ่านการเจือ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเจือด้วย CdCl_2 ตามเงื่อนไขที่ทำการพิจารณาในการวิจัยนี้ มีแนวทางที่จะช่วยปรับโครงสร้างฟิล์ม CdS/CdTe มีโครงสร้างที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาทำเป็นเซลล์สุริยะที่มีประสิทธิภาพสูงได้

ข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์โดยวิธีการอาบสารละลายเคมีจะพบเงื่อนไขหลายประการที่สามารถนำไปใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง แต่ประการหนึ่งที่ผู้ทดลองอยากจะเสนอแนะเทคนิคเล็ก ๆ น้อย ๆ ให้ผู้ที่สนใจในเรื่องนี้นำไปปฏิบัติ ที่เกิดจากข้อสังเกตของผู้ทดลองเอง เพื่อที่จะได้นำไปพัฒนาวิธีการเตรียมฟิล์มนี้ให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

1. ในการเทสารตั้งต้นลงในบีกเกอร์ ทั้งที่เป็นผลึกหรือสารละลาย จะพบว่าจะมีสารตั้งต้นติดที่ข้างภาชนะดังนั้นทุกครั้งที่ทำการเตรียมฟิล์มบาง ต้องใช้น้ำปอดประจุลบล้างให้สารตั้งต้นเหล่านั่นลงในบีกเกอร์ให้หมด

2. กรณีที่ใช้ตัวกวนสารละลาย ระวังอย่าใช้ความเร็วสูงเกินไป เนื่องจากจะทำให้ฟิล์มบางของแคดเมียมซัลไฟด์ไปเคลือบบนแท่งแก้วในปริมาณมาก และนอกจากนั้นยังทำให้สารละลายเกิดการหมุนวนส่งผลให้ผิวหน้าของสารละลายไม่สม่ำเสมอ

3. ขณะที่สารตั้งต้นกำลังทำปฏิกิริยาสารละลายจะมีสีเป็นสีเหลือง อย่าเติมน้ำปอดประจุเพื่อปรับปริมาณ เพราะจะทำให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะไม่สม่ำเสมออย่างเห็นได้ชัด

4. กรณีที่ฟิล์มเตรียมได้มีความบางมากเกินไป เราสามารถทำอาบสารละลายเคมีซ้ำอีกครั้งด้วยเงื่อนไขเดิม จะทำให้ได้ความหนาของฟิล์มบางมากขึ้น

5. เนื่องจากฟิล์มบางมีความต้านทานสูง ดังนั้นกระแสที่วัดได้จึงมีค่าต่ำมาก ในการวัดกระแสในระดับต่ำนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีผลอย่างมากในการรบกวนค่าที่วัดได้ ดังนั้นจึงควรวัดในห้องที่มีการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือใช้กระแสเป็นพัลส์เพื่อลดความร้อนที่จะเกิดขึ้นในชิ้นสารตัวอย่าง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรกฎ วัฒนวิเชียร. 2540. **โซลิตสเตรคอิเล็กทรอนิกส์**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

จักรพันธ์ ทองเจริญ และ อภิวัฒน์ กมลทวีกุล. 2542. **การเตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์**. โครงการพิเศษ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จารุทัศน์ เตชะวิจิตร, สาวิตรี เปรมรัตน์วงศ์ และ หัสพร ทองแดง. 2543. **การเตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบางแคดเมียมซิงค์ซัลไฟด์**. โครงการพิเศษ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กฤษณดล ชุมสาย ณ อยุธยา, ชีราพร เปรมจิตต์สุคนธ์ และ สิดาพัฒน์ เปรมจิตต์ชื่น. 2545. **การศึกษาฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอมของโลหะทรานซิชันบางชนิด**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกลักษณ์ ตลับนาค. 2547. **การเตรียม CdS ด้วยวิธีออบสารละลายเคมีเพื่อประยุกต์ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CIGS**. วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิคม อุ้นใจ. 2549. **การเตรียมฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์บนแผ่นรองรับแคดเมียมเทลลูไรด์โดยวิธีออบเคลือบสารเคมี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บัญชา ชนบุญสมบัติ. 2544. **การศึกษาวัสดุโดยเทคนิคดิฟแฟรกชัน**. ครั้งที่ 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

Culity, B.D. 1956. **Elements of X-ray Diffraction**. Addison-Wesly Publishing Company Inc., Massachusetts.

- Kittel, C. 1971. **Introduction to Solid State Physics**. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Ridley, B.K. 1999. **Quantum Processes in semiconductor**. Thomson Press Ltd., New Delhi.
- A.M., Elkorashy. 1990. Optical Constants of Tin Selenide Single Crystals by Interference Method. **Phys. Chem. Solids** 51: 289-296.
- Hiroshi, U., S. Hajimu and I. Seiji. 1997. Screen printed CdS/CdTe cells for visible light radiation sensor. **Measurement Science and Technology** 8: 86-91.
- Touskova, J., D. Kindl, L. Dobiasova and J. Tousek. 1998. Influence of growth and microstructure of CdS/CdTe solar cells. **Solar Energy Materials and solar cells** 53: 177-188.
- Batzner, D.L., R. Wendt, A. Romro, H. Zogg and A.N. Tiwari. 2000. A study of the back contacts on CdTe/CdS solar cells. **Thin Solid Films** 40: 463-467.
- Kodigala Subba, Ramaiah, Pilkington R.D., Hill A.E., Tomlinson R.D. and Bhatnagar A.K. 2001. Structure and optical investigations on CdS thin films grown by chemical bath technique. **Materials Chemistry and Physics** 68: 22-30.
- P., Nemec, Nemec I, Nahalkova P., Knizek K. and Maly P. 2002. Ammonia-free chemical bath deposition of CdS films : tailoring the nanocrystal sizes. **Journal of Crystal Growth** 240: 484-488.
- Sharma, R.K., K. Jain and A.C. Rastogi. 2003. Growth of CdS and CdTe thin films for the fabrication of n-CdS/p-CdTe solar cell. **Current Applied Physics** 3: 199-204.

- Wenyi Li, Xun Cai, Qiulong Chen and Zhibin Zhou. 2005. Influence of growth process on the structural, optical and electrical properties of CBD-CdS films. **Materials Letters** 59: 1-5.
- Patidar, D., R. Sharma, N. Jain, T. P. Sharma and N.S. Saxena. 2006. Optical properties of CdS Sintered film. **Bull. Mter. Sci.** 29: 21-24.
- Arturo, Morales-Acevedo. 2006. Thin film CdS/CdTe solar cells: Research perspectives. **Solar Energy** 80: 675-681.
- o., Vigil-Galan, Arias-Carbajal A., Mendoza-Peraz R., Santana G., Sastre-Hernandez J., Contreras-Puente G., Morales-Acevedo A. and Tufino-Velazquez M. 2006. Spectral response of CdS/CdTe Solar cells obtained with different S/Cd ratios for the CdS chemical bath. **Solar Energy and Materials Solar Cells** 90: 2221-2227.
- Jae-Hyeong, Lee and Lee Dong-Jin. 2007. Effects of CdCl₂ treatment on the properties of CdS films prepared by r.f. magnetron sputtering. **Thin Solid Films** 515: 6055-6059.
- P., Rodriguez, Munoz-Aruiro N., San-Martin Martinez E., Gonzalez de la Cruz G., Tomas S.A. and Zelaya Angel O. 2008. Synthesis and spectral properties of starch capped CdS nanoparticles in aqueous solution. **Journal of Crystal Growth** 310: 160-164.
- S.H., Demtsu, Albin D.S., Sites J.R., Metzger W.K. and Duba A. 2008. Cu-related recombination in CdS/CdTe solar cells. **Thin Solid Films** 516: 2251-2254.

ภาคผนวก

บัตรไฟล์มาตรฐานของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากผลึก CdS

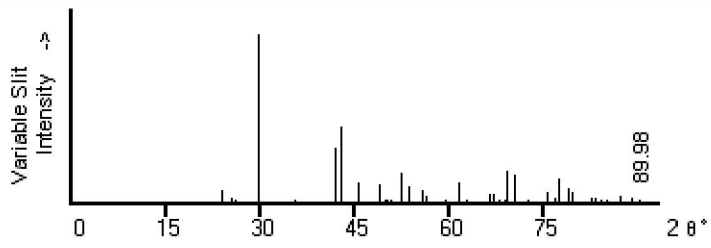
80-0019	Quality: C	Cd S
CAS Number:		Cadmium Sulfide
Molecular Weight: 144.47		Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)
Volume[CD]: 196.22		Ref: Yeh, C et al., Phys. Rev. B: Condens. Matter, 46, 10086 (1992)
Dx: 4.890 Dm:		
Sys: Cubic		
Lattice: Face-centered		
S.G.: F43m (216)		
Cell Parameters:		
a 5.811 b c		
α β γ		
I/Icor: 14.06		
Rad: CuK α 1		
Lambda: 1.54060		
Filter:		
d-sp: calculated		
ICSD #: 067789		

2 θ	Int-v	h	k	l	2 θ	Int-v	h	k	l	2 θ	Int-v	h	k	l
26.547	100	1	1	1	54.671	9	2	2	2	80.993	27	4	2	2
30.748	25	2	0	0	64.043	13	4	0	0	87.070	19	5	1	1
44.040	76	2	2	0	70.594	26	3	3	1					
52.163	64	3	1	1	72.715	11	4	2	0					

80-0006	Quality: C	Cd S
CAS Number:		Cadmium Sulfide
Molecular Weight: 144.47		Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)
Volume[CD]: 98.27		Ref: Yeh, C et al., Phys. Rev. B: Condens. Matter, 46, 10086 (1992)
Dx: 4.882 Dm:		
Sys: Hexagonal		
Lattice: Primitive		
S.G.: P63mc (186)		
Cell Parameters:		
a 4.121 b c 6.682		
α β γ		
I/Icor: 7.94		
Rad: CuK α 1		
Lambda: 1.54060		
Filter:		
d-sp: calculated		
ICSD #: 067776		

2 θ	Int-v	h	k	l	2 θ	Int-v	h	k	l	2 θ	Int-v	h	k	l
24.929	56	1	0	0	53.077	24	2	0	1	75.975	23	1	0	5
26.660	42	0	0	2	54.919	4	0	0	4	75.975	23	2	1	2
28.328	100	1	0	1	58.601	10	2	0	2	78.343	2	2	0	4
36.821	33	1	0	2	61.212	4	1	0	4	80.709	11	3	0	0
43.905	64	1	1	0	67.164	26	2	0	3	83.766	28	2	1	3
48.117	68	1	0	3	69.647	18	2	1	0	86.840	12	3	0	2
51.148	11	2	0	0	71.263	20	2	1	1	87.526	2	0	0	6
52.108	55	1	1	2	72.829	10	1	1	4					

บัตรไฟล์มาตรฐานของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากผลึก CdTe

80-0090	Quality: C	Cd Te						
CAS Number:		Cadmium Telluride						
Molecular Weight: 240.01		Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)						
Volume[CD]: 164.29		Ref: McMahon, M.I et al., Phys. Rev. B: Condens. Matter, 48, 16246 (1993)						
Dx: 7.278 Dm:								
Sys: Hexagonal								
Lattice: Primitive								
S.G.: P3 ₁ 21 (152)								
Cell Parameters:								
a 4.301	b	c 10.25						
α	β	γ						
I/Icor: 14.21								
Rad: CuKα1								
Lambda: 1.54060								
Filter:								
d-sp: calculated								
ICSD #: 067864								
Non-Ambient Pressure								
2θ	Int-v	h k l	2θ	Int-v	h k l	2θ	Int-v	h k l
23.870	6	1 0 0	50.776	1	0 1 5	69.139	18	1 2 2
25.421	3	1 0 1	52.214	18	0 2 2	70.296	16	1 1 6
26.046	0	0 0 3	53.576	9	0 0 6	72.561	1	1 2 3
29.620	100	1 0 2	55.748	7	1 1 4	75.427	6	2 0 6
35.619	1	1 0 3	56.200	4	0 2 3	76.693	2	3 0 0
41.979	32	1 1 0	59.454	2	1 0 6	77.250	13	2 1 4
42.785	45	0 1 4	61.491	11	2 0 4	78.915	8	1 0 8
42.937	27	1 1 1	62.530	1	1 1 5	79.337	5	3 0 2
45.713	12	1 1 2	66.344	4	2 1 0	82.610	2	0 3 3
48.863	10	2 0 0	67.048	4	1 2 1	83.158	2	2 1 5
49.717	1	2 0 1	67.929	0	0 2 5	83.977	0	2 0 7
50.072	1	1 1 3	68.806	1	1 0 7	85.069	0	0 0 9

Structural and Optical Study of Nano-Structured CdS-CBD Thin Films on CdTe Substrates Grown by Various Temperatures Deposited

C. Suwattanaphiboon^{1, a}, N. Suttisiri^{1, a}, E. Hoonnivathana^{1, a}
 and C. Kunsombat^{1, a}

¹ Department of Physics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

^a takoyaki_22@yahoo.com

Keywords: Thin Film, CdS, CdTe, CBD, CdCl₂

Abstract. Cadmium sulphide (CdS) thin films have been deposited by chemical bath deposition method (CBD) on CdTe substrates. The temperature of the deposition was varied from 40 °C to 70°C under stirring, pH of complexing agent about 10-11.5 and doping by CdCl₂. The morphology was composed of small columnar crystals, characterized by SEM. The crystallographic structure contains a mixture of hexagonal and cubic structures were study by TEM. The energy gap values 2.395 eV were found calculated by reflectance spectra using UV-VIS spectrometer. This study showed the correlation of deposition temperature, grain size, energy gap and observed some properties of CdS nanocrystal in the films.

Introduction

Preparation of CdS films with low resistance is one of the important task in photovoltaic cells. Suitable CdS films can be produced by annealing a mixture of CdS and CdCl₂ micron/submicron sized powders at high temperatures in the range of 550-690°C or post deposition annealing treatment at 250-450°C of CdS thin films, deposited by sputtering [3], spray pyrolysis and chemical bath deposition (CBD) method [2,4]. This process leads to recrystallization of the CdS layer, decrease of crystallite boundaries, sintering of CdS particles and doping of CdS material by chloride anions. CdCl₂ acts here as dopant, which creates shallow donor levels in the band gap of the bulk CdS (2.42 eV) and increases its conductivity.

In this work, CdS/CdTe films were deposited by CBD and doped by CdCl₂ [3]. The effects of doping on optical properties and energy gap which CdCl₂ using for Cd source in CdS films.

Experimental

CdS thin films have been deposited on CdTe substrates using the CBD method. The concentration of aqueous solution having 0.025 M cadmium sulphate (CdSO₄), 0.035 M thiourea (SC(NH₂)₂) and 3 M ammonium hydroxide (NH₄OH). CdTe substrates, were cleaned in acetone and methanol ultrasonically, then etched in BrOH solution and finally, again washed with deionized water. The temperature of deposition process was varied from 40 to 70°C. All of the solution that were used clear solutions without precipitation. The bath solution was held still with stirring. And doping by drop CdCl₂ aqueous solution on the films followed by annealing at 500°C in nitrogen atmosphere for 20 min [3].

Results and Discussion

Structural analysis.

The XRD pattern of the films deposited at 80°C showed the present peak at $2\theta = 26.74^\circ, 29.56^\circ, 35.26^\circ, 37.20^\circ, 49.14^\circ$. This could be indexed as cubic phase at (111), (200) and (102) and hexagonal phase at (101), (002), (102) and (103) respectively, according to JCPDS file no.80-0019 and 80-0006. The XRD pattern of the films deposited at 50°C showed the cubic phase at (111) and (200)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	น.ส. ชุติพร สุวัฒนาพิบูล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	22 พฤศจิกายน 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2546)
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	Advanced Materials Research Vols. 55-57 (2008) pp 297-300, Switzerland
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจาก ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2549-2551) ได้รับทุนสนับสนุนคุณภาพงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อการตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและนานาชาติ ประจำปีงบประมาณ 2550 จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์