

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่น
ไมโครเวฟเพื่อประดิษฐ์เป็นชั้นหน้าต่างรับแสงของ

เซลล์แสงอาทิตย์

Preparation of CdS Thin Films by Microwave-Assisted
Chemical Bath Deposition Method Using for Window Layer of
Solar Cell

โดย

RCH
TA
418.9
.T48
ค341ก

นายณัฐพร พรหมรส

นางงามนิศย์ วงษ์เจริญ

นายจิตินัย แก้วแดง

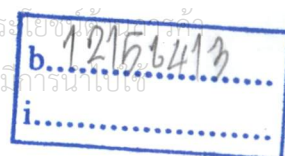
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....108391
วัน,เดือน,ปี.....21 ส.ย. 2553

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ทุนวิจัยงบรายได้ประจำปี พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบนี้



ชื่อโครงการวิจัย	การเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เพื่อประดิษฐ์เป็นชั้นหน้าต่างรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์	
โดย	นายณัฐพร	พรหมรส
	นางงามนิศย์	วงษ์เจริญ
	นายจตุตินัย	แก้วแดง
ปีงบประมาณ	2552	

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือและที่เจือด้วย Bi โดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือและที่เจือด้วย Bi โดยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางดังกล่าว หาได้จากสเปกตรัมการส่งผ่านแสงขนาดของช่องว่างแถบพลังงานและความต้านทานของฟิล์มบาง จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแอนนิต ได้ทำการเตรียมฟิล์มบาง CdTe เคลือบบนชั้นฟิล์มบาง CdS โดยวิธีระเหิดสารในระยะประชิดเพื่อประดิษฐ์เป็นรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe ทำการวัดลักษณะเฉพาะของกระแส-แรงดันไฟฟ้าภายใต้การฉายแสงที่อุณหภูมิห้องเพื่อหาพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความจุ-แรงดันไฟฟ้าเพื่อหาค่าความหนาแน่นของพาหะอิสระ

Project Title	Preparation of CdS Thin Films by Microwave-Assisted Chemical Bath Deposition Method Using for Window Layer of Solar Cell	
Name	Mr. Nathaporn Promros Mrs. Ngamnit Wongcharoen Mr. Thitinai Gaewdang	
Year	2009	

ABSTRACT

In this research, microwave-assisted chemical bath deposition (MA-CBD) method has been developed for the fabrication of cadmium sulfide (CdS) thin films undoped and doped with Bi. The crystal structure of the films was checked by X-ray diffraction method. Surface morphology of the films was obtained by scanning electron microscope (SEM). The energy gap values were evaluated from the optical transmission spectra. The variation of sheet resistance of the films as a function of annealing temperature were observed. CdS/CdTe heterojunction was achieved by coating CdTe thin film on CdS layer by close-spaced sublimation method. Some parameters of CdS/CdTe solar cell were obtained from the light I- V characteristics at room temperature. Carrier concentration was also obtained from C- V measurements at room temperature.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็ด้วยความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ จูติรุ่งเรือง หัวหน้าศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์นำปลอดประจุมายังในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดิมนศักดิ์ ศรีศิริรินทร์ ดร.สมศักดิ์ แดงดีป และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากร โอสดจันทร์ แห่งภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้การสนับสนุน กระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย ITO เพื่อใช้เป็นฐานรองในการเตรียมฟิล์มบาง CdS

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์อนุพงษ์ ศรีประภา สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ อิเล็กโตรมิเตอร์ ในการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า และชุดวัดปรากฏการณ์ฮอลล์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ยูพาพิณ ประธานสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์งบประมาณของภาควิชาฯ บางส่วนเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ นายณัฐวัฒน์ ทูมเมฆ นายเอกชัย วิลามาศ และนายไกรศักดิ์ ยืนยง นักศึกษาระดับปริญญาโท และขอขอบคุณ นางสาวนันทิดา เหลืองศิริ นางสาวประภาพิมพ์ เพ็ชรน้อย นายณัฐพล แสงส่งไพศาล และนายอดิสร นพรุจิกุล นักศึกษาระดับปริญญาตรี ของสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลของการทดลอง

ขอขอบคุณ ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์และการแนะนำในการใช้เครื่อง ยูวี-วิสทิเบิล แบบดับเบิลบีม สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น Heλios α ที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสง โดยการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ตไปจนถึงย่านอินฟราเรด (ความยาวคลื่น 190 – 1100 nm) และเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance ซึ่งรังสีเอ็กซ์มีความยาวคลื่นในย่าน $\text{Cu}_K\alpha$ 1.5406 Å ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM - 6400 ในการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มหนา

งานวิจัยนี้ได้รับการอุดหนุนประเภทงบรายได้ของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2552 จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.1 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย	2
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 โครงสร้างของผลึก	5
2.1.1 ชนิดการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายใน โครงผลึกแบบ 3 มิติ	5
2.1.1.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ (zincblende structure)	5
2.1.1.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ (wurtzite structure)	6
2.1.2 หลักเกณฑ์ในการระบุลักษณะพื้นฐานของผลึก	7
2.1.3 ความไม่สมบูรณ์ของผลึก	8
2.1.3.1 ข้อบกพร่องผลึกแบบจุด (point defect)	9
2.1.3.2 ข้อบกพร่องผลึกเชิงเส้น (line defect)	9
2.1.3.3 ข้อบกพร่องผลึกแบบแนวระนาบ (planar defect)	10
2.1.4 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	11
2.1.5 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก	12
2.1.5.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์	12
2.1.5.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์	12
2.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ	13
2.2.1 ทฤษฎีโครงสร้างแถบพลังงาน	13
2.2.1.1 โลหะสารกึ่งตัวนำและฉนวน	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.1.2 ลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ	14
2.2.2 โครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์	16
2.3 การส่งผ่านแสง	17
2.3.1 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง	19
2.4 สมบัติทางไฟฟ้า	20
2.4.1 สภาพนำไฟฟ้า	20
2.4.2 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า	21
2.4.2.1 การวัดความต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น	22
2.5 การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง CdS ด้วยวิธีการอบสารละลายเคมี	24
2.5.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยา	24
2.5.2 การเกิดฟิล์มบาง CdS บนแผ่นรองรับ	26
2.6 ทฤษฎีของคลื่น ไมโครเวฟ	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	28
3.1 วิธีการทดลองและเครื่องมือการวิจัย	28
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฐานรองที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์	28
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS : Bi โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ	28
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบางที่เตรียมได้	29
3.1.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	29
3.1.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการส่งผ่านทางแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	30
3.1.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานแผ่น	30
3.1.4 วิธีการทดลอง	31
3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง CdS : Bi ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ	31
3.2.1 การเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การเตรียมฟิล์มบาง CdS : Biโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ	32
3.2.3 วิธีการแอนนีสล	33
3.3 ขั้นตอนการการสร้งารอยต่อวิวิรพันธุ์ของ CdS/CdTe	35
3.3.1 การเตรียมชั้นแคดเมียมซัลไฟด์	35
3.3.2 การเตรียมชั้นแคดเมียมเทลลูไรด์เคลือบบนชั้นแคดเมียมซัลไฟด์	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	37
4.1 ลักษณะของฟิล์มบาง CdSทั้งที่ไม่ได้เจือและที่เจือด้วย Bi: Bi ที่เตรียมได้โดยวิธีการอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่น ไมโครเวฟ	37
4.1.1 ฟิล์มบาง CdS:Bi ที่เตรียมด้วยวิธีการอาบ สารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ	38
4.1.2 ฟิล์มบาง CdS:Bi เมื่อแอนนีสลที่อุณหภูมิต่างๆ	39
4.2 การศึกษาสมบัติการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	40
4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง	44
4.4 ผลการศึกษาค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง	53
4.5 ผลการศึกษาลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบางและขนาดของเกรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	57
4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับอุณหภูมิเพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้น	59
4.7 รอยต่อวิวิรพันธุ์ CdS/CdTe	65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	68
5.1 สรุปผลการทดลอง	68
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	70
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก	73
ประวัติผู้เขียน	74

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงการจัดเรียงตัวของอะตอมของ CdS	6
2.2	โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไฮท์ของ CdS	6
2.3	แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไฮท์กับแบบซิงค์เบลนด์	7
2.4	การบอกระนาบต่าง ๆ ของผลึก	8
2.5	แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบจุด	9
2.6	แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบขอบ	10
2.7	แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบสกรู	10
2.8	แสดงเกรนและขอบเขตของเกรน	11
2.9	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของแบร็อก	12
2.10	แสดงโครงสร้างแถบพลังงาน <ul style="list-style-type: none"> ก. โลหะ ข. สารกึ่งตัวนำ ค. ฉนวน 	14
2.11	แสดงลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานและการย้ายสถานะของพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์ศาสัมบูรณ์ <ul style="list-style-type: none"> ก. โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง ข. ลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง 	15
2.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์ศาสัมบูรณ์ <ul style="list-style-type: none"> ก. โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง ข. โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีกระบวนการสร้างโฟนอน 	15
2.13	แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไฮท์ โดยไม่คิดการคัปปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิต	16
2.14	แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ โดยไม่คิดการคัปปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิต	16
2.15	แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบาง	17
2.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นโดยเส้นทึบจะแสดงขอบการดูดกลืนพื้นฐาน	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.17	แสดงการให้แรงดันกับสารตัวอย่าง	21
2.18	การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น	22
2.19	แสดงการวัดความต้านทานแผ่นโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น	23
	ก. การวัดแบบสองขั้วโดยมีการเลื่อนระยะที่ขั้วหนึ่ง	
	ข. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับระยะทางที่ได้จากการวัดชนิดเลื่อนขั้วไฟฟ้า	
2.20	แผนภาพแสดงกลไกในการเกิดผลึกเป็นฟิล์มบางที่เตรียมโดยใช้เทคนิคการอบสารละลายเคมี	24
	ก. กระบวนการเฮเทอโรอีพิตอกซี	
	ข. กระบวนการโฮโมอีพิตอกซี	
	ค. กระบวนการผสมระหว่างเฮเทอโรอีพิตอกซีและโฮโมอีพิตอกซี	
2.21	แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับโดยกระบวนการโฮโมอีพิตอกซี	25
2.22	แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับโดยกระบวนการเฮเทอโรอีพิตอกซี	26
3.1	แสดงเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลักโตริมเตอร์: D8 Advance	29
3.2	แสดงภาพถ่ายเครื่อง UV-VIS ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น He λ ions α	30
3.3	แสดงภาพถ่ายเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ Keithley รุ่น 610 CR	30
3.4	แสดงภาพถ่ายการเคลือบด้วยเตาไมโครเวฟ	33
3.5	แสดงระบบเตาแอนนูลที่ทนอุณหภูมิได้ถึง 600 °C	35
4.1	แสดงฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมจากสารตั้งต้นเป็นผลึกผงที่มีความบริสุทธิ์สูง (99.999%) โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนูล	37
4.2	แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของBi ค่าต่างๆ ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนูล	38
4.3	แสดงผงตะกอน CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆ ที่เตรียมได้จากวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ	38
4.4	แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อมีการแอนนูลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน บริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	39
4.6	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆ ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการ แอนนัล	40
4.7	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS : Bi ($x=0.00$) เมื่อมีการ แอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็น เวลา 20 นาที	41
4.8	แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS : Bi ($x=0.07$) เมื่อไม่มี การแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซ ไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	42
4.9	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผงตะกอน CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมได้จากวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ	43
4.10	แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มี การแอนนัล	44
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ เพื่อหาค่าช่องว่าง แถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของBi ค่าต่างๆที่ เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัล	45
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน(E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลาย เคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล	46
4.13	แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการ อบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัลและเมื่อมีการ แอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	47

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.0) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกัลและเมื่อมีการการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	48
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน(Eg)ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกัลและเมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	49
4.16	แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07)ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกัลและเมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	50
4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางCdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกัลและเมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที	51
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Eg)ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกัลและเมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที เพื่อหาช่องว่างของแถบพลังงาน	52
4.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่น(R _s)กับสัดส่วนผสมทางเคมีของสารเจือ (x) ในฟิล์มบาง CdS:Bi ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีกัล	54
4.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนีกัลของฟิล์มบาง CdS:Bi(x=0.00) เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกัลและเมื่อมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	55

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนีสของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสและเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	56
4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน(E_g)ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสและเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเวลา 20 นาที	57
4.23	แสดงลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.07$) ที่เตรียมได้โดยวิธีอบสารละลาย เคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์	58
4.24	แสดงความสัมพันธ์ $\ln(R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K)ของฟิล์มบาง CdS: Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีส	60
4.25	แสดงความสัมพันธ์ $\ln(R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K)ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสและเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	62
4.26	แสดงความสัมพันธ์ $\ln(R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K)ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสและเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	64
4.27	แผนภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่ออวิวิพพันธุ์ CdS/CdTe	65

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.28	แสดงฟิล์มบางของรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe มีชั้นของแคดเมียมซัลไฟด์ CdS โดยวิธีออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟลงบนชั้นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง (อินเดียมทินออกไซด์) จากนั้นเคลือบชั้นแคดเมียมเทลลูไรด์ CdTe โดยวิธีการระเหิดสารในระยะประชิด (CSS) โดยใช้อุณหภูมิแก่สาร ตั้งต้นเท่ากับ 550°C อุณหภูมิฐานรองรับเท่ากับ 450 °C โดยเลือกระยะห่างระหว่างสารตั้งต้นถึงฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ที่ระยะ 4 mm	66
4.29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - แรงดันไฟฟ้าของรอยต่อวิวิธพันธุ์ของ CdS/CdTe	66
4.30	แสดงค่าส่วนกลับกำลังสองของค่าความจุ-แรงดันไฟฟ้าของรอยต่อที่อุณหภูมิห้องของรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe	67

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผง CdS ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสล	41
4.2	แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	42
4.3	แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผง CdS เมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	43
4.4	แสดงค่าคงที่ของผลึกขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผง CdS ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีสล	44
4.5	แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้เมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที	46
4.6	แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Eg) ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.00) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสลและมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	49
4.7	แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Eg) ของฟิล์มบาง CdS:Bi (x=0.07) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสลและเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	52
4.8	แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีสล	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.9	แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_p) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนیلและเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	54
4.10	แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_p) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	55
4.11	แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x)ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียม โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนิล	59
4.12	แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อทำการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100 - 500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	61
4.13	แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อทำการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100 - 500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที	63
4.14	แสดงค่าพารามิเตอร์กระแส-แรงดันไฟฟ้าของรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe ที่อุณหภูมิห้องภายใต้การฉายแสงด้วยความเข้มมาตรฐาน	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ทันทีที่แสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ทันทีและไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (renewable energy) เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าสะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆขณะใช้งาน ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมเพียงแค่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแสงแดดก็สามารถใช้งานได้ทันที เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้โดยไม่ต้องสร้างเสียบรรยากาศหรือการเคลื่อนไหวทั้งยังเป็นการประหยัดน้ำมันและสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างไม่มีที่สิ้นสุด มีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 20 ปี

ฟิล์มบาง CdS เป็นสารประกอบ โลหะกึ่งตัวนำหมู่ II-VI (II-VI compound) และเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) ที่มีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง (direct bandgap) ผลึกแคดเมียมซัลไฟด์จะมีโครงสร้างได้ 2 แบบ คือ ซิงค์เบลนด์ (zincblende) ซึ่งจัดอยู่ในระบบคิวบิก (cubic) หรือเวิร์ทไซต์ (wurtzite) ซึ่งอยู่ในระบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) และมีช่องว่างแถบพลังงาน (energy gap) กว้างโดยมีค่าประมาณ 2.42 อิเล็กตรอนโวลต์ ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้ฟิล์มบาง CdS น่าสนใจที่จะนำมาทำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือเป็นชั้นหน้าต่างของเซลล์แสงอาทิตย์ [1, 2]

การเตรียมฟิล์มบาง CdS สามารถเตรียมได้จากวิธีการระเหยในระบบสุญญากาศ (evaporation) วิธีการสปัตเตอริง (sputtering) วิธีการอบสารละลายเคมี (chemical bath deposition) ซึ่งวิธีการอบสารละลายเคมีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเตรียมฟิล์ม CdS เพราะเป็นวิธีที่สะดวก ง่าย ต้นทุนต่ำ เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม ฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมวิธีนี้จะได้ฟิล์มที่มีคุณภาพดีและสามารถเคลือบบนแผ่นรองรับขนาดใหญ่ได้ แต่สภาพต้านทานไฟฟ้าจะมากถึง $10^8 \Omega\text{-cm}$ ซึ่งมากกว่าที่ใช้ในชั้นหน้าต่างของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำการแก้ไขปัญหานี้โดยใช้การแอนนีก

การให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่รวดเร็ว ง่าย และมีประสิทธิภาพในการเตรียมวัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ กลไกของคลื่นไมโครเวฟที่มีผลต่อสารตั้งต้นที่ใช้ฟิล์มบางในสารละลายยังไม่ทราบแน่ชัด อย่างไรก็ตามพลังงานของคลื่นไมโครเวฟที่ส่งผ่านไปยังสารละลายจะเกี่ยวข้องกับกำทอน (resonance) และการผ่อนคลาย (relaxation) [3] กล่าวคือกำทอนจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของโมเลกุลของสารละลายที่สอดคล้องกับความถี่ของไมโครเวฟ ส่งผลให้โมเลกุลเกิดการสั่นอย่างรุนแรงจนกระทั่งโมเลกุลของสารตั้งต้นแตกออก แล้วอาจเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลของสารประกอบใหม่ที่ต้องการ ส่วนการผ่อนคลายจะเกี่ยวข้องกับการที่โมเลกุลของสารละลายดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟบางส่วนไว้ แล้วทำการเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนซึ่งจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วได้โมเลกุลของสารประกอบชนิดใหม่ โมเลกุลในสารละลายมักเป็นโมเลกุลมีขั้วซึ่งสามารถตอบสนองต่อคลื่นไมโครเวฟได้ดี ในลักษณะที่โมเลกุลมีขั้วเหล่านี้จะจัดเรียงตัวใหม่ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลเกิดขึ้น รวมทั้งอาจมีการชนกันด้วย ความร้อนจึงเกิดขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยามีเกิดได้ ดังนั้นโมเลกุลของสารประกอบใหม่จึงเกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเกิดการเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยความร้อน โดยทั่วไปแล้วพบว่าเกิดการเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยใช้คลื่นไมโครเวฟจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าและใช้เวลาสั้นกว่า [4, 5]

ในโครงการวิจัยนี้ ได้สนใจที่จะเตรียมฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือและเจือด้วย Bi ด้วยสัดส่วนผสมทางเคมีโดยน้ำหนัก 3, 5, 7, 10 และ 20 wt% ตามลำดับโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเพื่อที่จะนำไปประยุกต์เป็นชั้นหน้าต่างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CdS/CdTe ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาการเตรียมฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือและที่เจือด้วย Bi โดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาวิธีการเคลือบฟิล์มบาง CdTe ลงบนฟิล์มบาง CdS โดยวิธีระเหิดในระเหยประจิดเพื่อประดิษฐ์เป็นรอยต่อวิวิธพันธุ์ของฟิล์มบาง CdS/CdTe
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าของรอยต่อวิวิธพันธุ์ของฟิล์มบาง CdS/CdTe โดยการวัดกระแส-แรงดันไฟฟ้า และการวัดความจุ-แรงดันไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 พัฒนาระบบการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งจะต้องจัดหาแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ รวมทั้งสร้างอุปกรณ์ยึดฐานรองที่เป็นกระจกใสดีให้อยู่ในสารละลายเคมี
- 1.3.2 เคลือบฟิล์มบางของ CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือและเจือด้วย Bi จากสารตั้งต้นที่เป็นเกลือซัลเฟต หาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ฟิล์มบางที่มีคุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3.3 ตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยของสารตัวอย่างด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM และตรวจหองค์ประกอบของฟิล์มบาง ด้วยวิธี EDS รวมทั้งศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้า และสมบัติเชิงแสงด้วย
- 1.3.4 เคลือบฟิล์มบาง CdTe ลงบนฟิล์มบาง CdS โดยวิธีระเหิดในระยะประชิดเพื่อประดิษฐ์เป็นรอยต่ออวิวิพพันธุ์ CdS/CdTe จากนั้นจึงนำไปศึกษาปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก โดยการวัดกระแส-แรงดัน ภายใต้การฉายแสงด้วยหลอดแสงอาทิตย์เทียม (solar simulator)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือ และเจือด้วย Bi ด้วยสัดส่วนผสมทางเคมีโดยน้ำหนัก 3, 5, 7, 10 และ 20 wt% โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C
- 1.4.2 ศึกษาการแอนนัลฟิล์มบาง CdS ในบรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ 100-500 °C เป็นเวลา 20 นาที
- 1.4.3 ศึกษาสมบัติโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและมหภาคของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้ด้วยเครื่องเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตรมิเตอร์: D8 Advance ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 1830 รังสีเอ็กซ์ย่าน $\text{Cu}_K\alpha$ มีความยาวคลื่น 1.5418 อังสตรอม
- 1.4.4 นำฟิล์มบางไปทำการถ่ายภาพพื้นผิวของโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ของ JOEL รุ่น JSM-6400
- 1.4.5 ศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้โดยการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo electron corporation ($\text{He} \lambda \text{ ions } \alpha$) ช่วง 190-1100 นาโนเมตร
- 1.4.6 ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้โดยการวัดความต้านทานแผ่นและการวัดความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิเพื่อหาค่าระดับพลังงานการกระตุ้นที่ปรากฏในช่องว่างแถบพลังงาน
- 1.4.7 ทำการเคลือบฟิล์มบาง CdTe โดยวิธีระเหิดในระยะประชิดเพื่อสร้างรอยต่ออวิวิพพันธุ์ CdS/CdTe
- 1.4.8 วิเคราะห์สมบัติของรอยต่ออวิวิพพันธุ์ CdS/CdTe โดยการวัดลักษณะเฉพาะของกระแส-แรงดันไฟฟ้า ภายใต้การฉายแสงด้วยหลอดแสงอาทิตย์เทียม และวัดลักษณะเฉพาะความจุ-แรงดันไฟฟ้า

1.4.9 สรุปผลและเขียนรายงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ผู้วิจัยสามารถทราบเทคนิคการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เพื่อให้ได้ฟิล์มบางที่มีเฟสเดียว มีเกรนขนาดใหญ่ผิวเรียบ เนื้อแน่น สม่ำเสมอ โปร่งแสง
- 1.5.2 ได้พัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe ทั้งเชิงวิชาการ และการประยุกต์ต่อไปในอนาคต
- 1.5.3 ได้ผลงานวิจัยที่สามารถส่งตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ
- 1.5.4 ได้พัฒนาการวิจัยของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่ร่วมในโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในโครงการวิจัยนี้เป็นการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งจะได้อธิบายทฤษฎีและหลักการในส่วนที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 โครงสร้างของผลึก [6-9]

สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายใน โครงสร้างผลึก การที่มีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันนี้ทำให้สารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น คุณสมบัติการนำไฟฟ้า คุณสมบัติการดูดกลืนแสง ฯลฯ

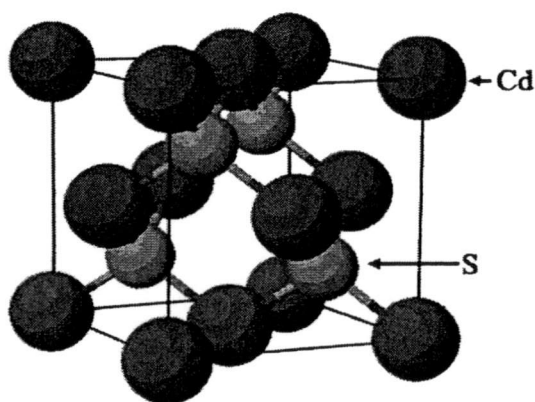
2.1.1 ชนิดการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายในโครงสร้างผลึกแบบ 3 มิติ

โครงสร้างผลึก คือ ตำแหน่งที่เป็นที่อยู่ของเบสิส (basis) ในระบบ 3 มิติ ส่วนเบสิส คืออะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่อยู่ภายในโครงสร้างผลึกซึ่งจากการศึกษาพบว่า โครงสร้างผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์จะมีลักษณะ โครงสร้างอยู่ 2 แบบ คือ แบบซิงค์เบลนด์ (zincblende) และแบบเวิร์ทไซท์ (wurtzite)

2.1.1.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ (zincblende structure)

โครงสร้างผลึกแบบนี้มักพบในสารกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุสองชนิดหรือเรียกว่าเป็นสารประกอบกึ่งตัวนำเชิงคู่ (binary compound semiconductor) ได้แก่ สารประกอบสารกึ่งตัวนำในกลุ่ม III-V เช่น GaAs และ InSb และสารประกอบกึ่งตัวนำในกลุ่ม II-VI เช่น ZnSe, ZnS เป็นต้น โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะคล้ายโครงสร้างผลึกแบบเพชร คือ อาจพิจารณาว่าเป็นโครงสร้างผลึกแบบเฟสเซนเตอร์คิวบิกสองโครงซ้อนกันอยู่แต่โครงหนึ่งเป็นธาตุหมู่ II (หรือ III) ส่วนอีกโครงสร้างเป็นธาตุหมู่ VI (หรือ V) สำหรับสารกึ่งตัวนำเชิงคู่ II-VI (หรือ III-V) ในหนึ่งหน่วยเซลล์ประกอบด้วยอะตอมสองชนิดแต่ละชนิดมีสี่อะตอม เช่น ใน CdS อะตอมของ Cd จะอยู่ที่ตำแหน่ง (000), $(0 \frac{1}{2} \frac{1}{2})$, $(\frac{1}{2} 0 \frac{1}{2})$ และ $(\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0)$ ส่วนตำแหน่งของอะตอม S จะอยู่ที่ $(\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4})$, $(\frac{3}{4} \frac{3}{4} \frac{3}{4})$, $(\frac{3}{4} \frac{1}{4} \frac{3}{4})$ และ $(\frac{1}{4} \frac{3}{4} \frac{1}{4})$ สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ ได้แก่ ZnS, CuCl, AgI, CuF, SiC และ CdS เป็นต้น ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีความสำคัญสำหรับนำมาประยุกต์เพื่อประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง

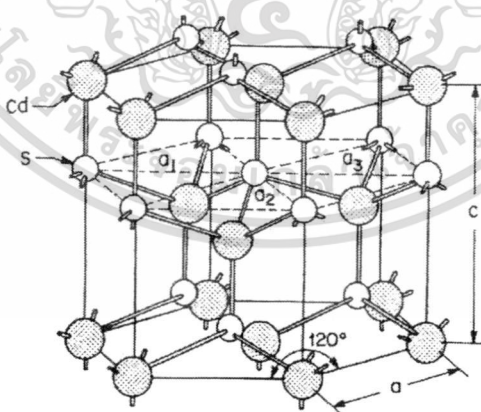
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงการจัดเรียงตัวของอะตอมของ CdS

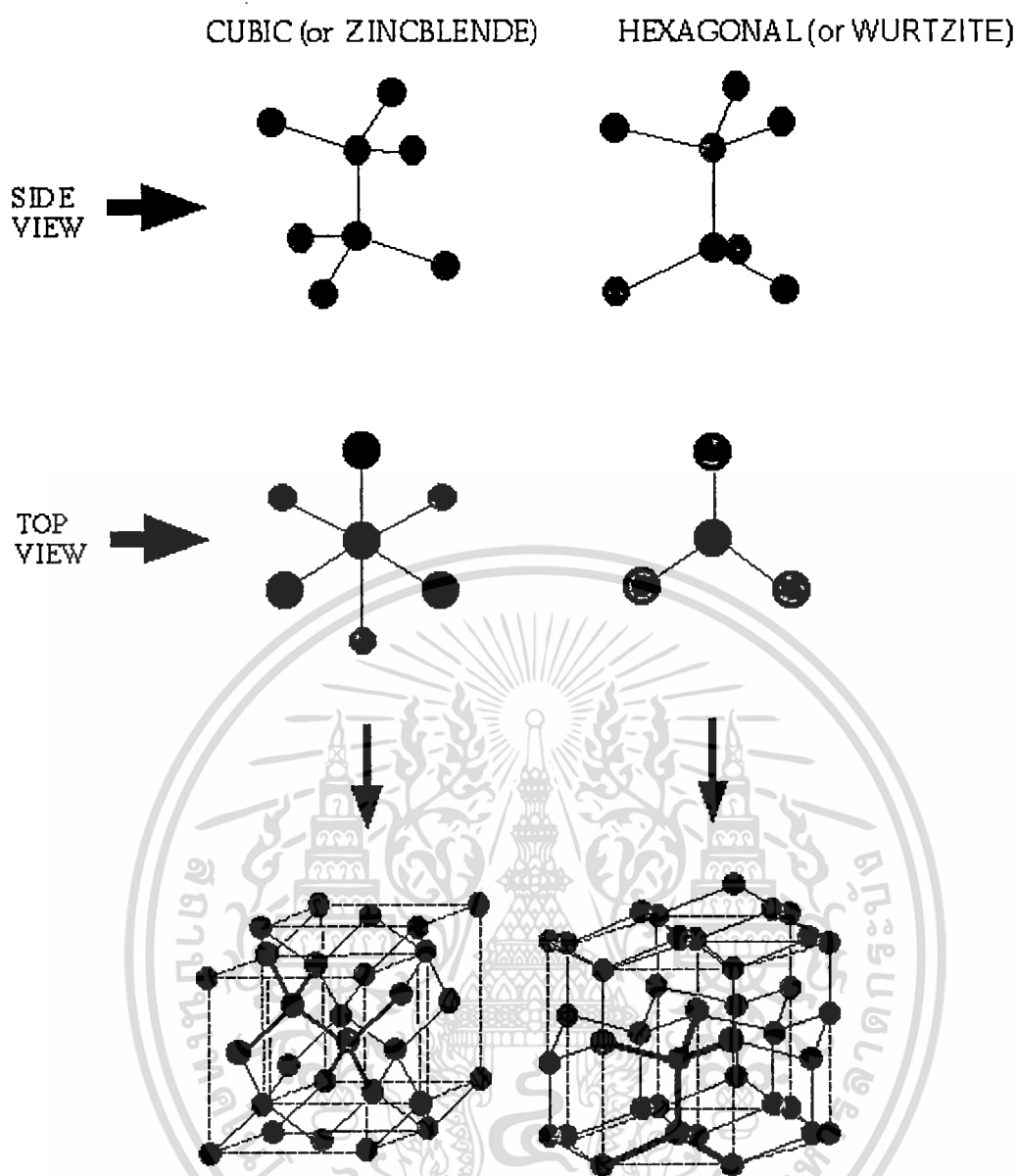
2.1.1.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์ (wurtzite structure)

โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์จัดอยู่ในระบบโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลเกิดจากการนำโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลที่มีอะตอมของธาตุต่างๆอยู่สองชนิดวางซ้อนเหลื่อมกันเป็นระยะ $5/8$ ตามแนวแกน c (c-axis) หนึ่งหน่วยเซลล์จะมี 8 อะตอม มีอะตอมเพื่อนบ้านอยู่ 4 อะตอม มีพันธะเคมีของโมเลกุลเป็นแบบพันธะเตตระฮีดรอน และมีพันธะเคมีระหว่างอะตอมเป็นแบบโควาเลนต์ ดังนั้นจึงมีการจัดเรียงระนาบของอะตอมคล้ายกับโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์แต่จะมีความแตกต่างกัน คือ ในโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์จะมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอน เป็นแบบ ABAB... หรือ 0101... ส่วนในโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์จะมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอนแบบ ABCABC... หรือ 012012... สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ ได้แก่ CdS, ZnS เป็นต้น



รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์ของ CdS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบ โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์กับแบบซิงค์เบลนด์

2.1.2 หลักเกณฑ์ในการระบุลักษณะพื้นฐานของผลึกมีดังนี้

- การระบุตำแหน่งในกรณีทั่วไปจะเขียนเป็น x,y,z (สังเกตเครื่องหมาย “,” ซึ่งคั่นแต่ละค่า)
- การระบุทิศทางในกรณีทั่วไปจะเขียนเป็น $[u \ v \ w]$ (สังเกตวงเล็บก้ามปูและไม่มีเครื่องหมาย “,” คั่นระหว่างค่าแต่ละค่า)

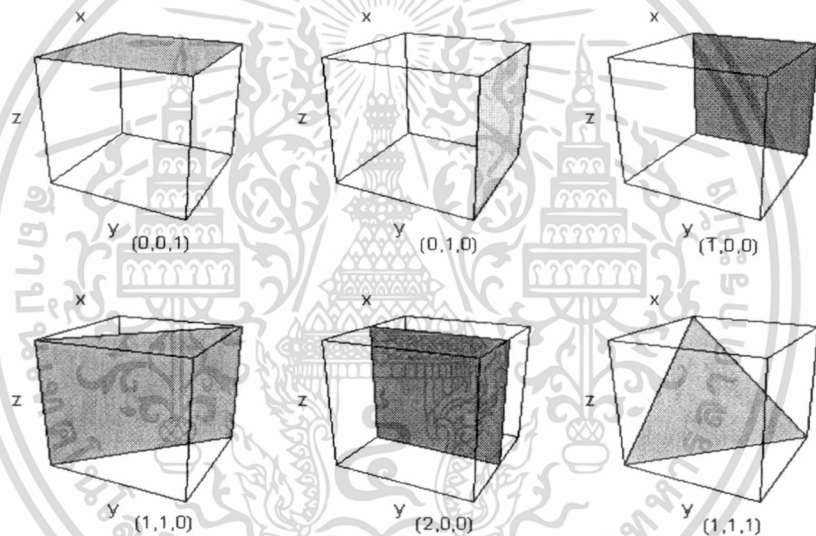
ตัวอย่าง การระบุทิศทางที่ศึกษาจะใช้แนวที่ผ่านจุดเริ่มต้นของแกนผลึก คือ ที่จุด $0,0,0$ ซึ่งสามารถใช้ค่าเดียวกันนี้ระบุทุกๆ แนวทิศทางที่ขนานกันและจะใช้จุดที่เป็นค่าจำนวนเต็มทีน้อยที่สุดที่แนวนั้นตัดผ่านเป็นตัวระบุ เช่น ทิศทาง $[111]$ มีจุดจำนวนนับไม่ถ้วนที่ทิศทางนี้ตัดผ่าน เช่น จุด $0,0,0$ จุด $1,1,1$ นอกจากนี้ยังผ่านจุด $2,2,2$ และ $1/2,1/2,1/2$ และจุดอื่นๆอีกนับไม่ถ้วนถ้าเป็นทิศทางที่เป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะใส่เครื่องหมาย “-” หรือ บาร์ (bar) ไว้บนตัวเลขนั้นๆ เช่นทิศทาง $[1\bar{2}1]$ แสดงว่าในแนวแกน z มีค่าเป็นลบ

- การระบุระนาบจะใช้อักษร (h k l) (สังเกตวงเล็บ และไม่มีเครื่องหมาย “,”” คั่น)

ค่า hkl เรียกว่า ดัชนีมิลเลอร์ (Miller indices) ระนาบของผลึกเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกประการหนึ่งในการศึกษาผลึกเพราะในแต่ละระนาบจะประกอบไปด้วยอะตอมไอออนหรือโมเลกุลเรียงตัวกันอยู่บนระนาบนั้น อาจกล่าวได้ว่าระนาบแต่ละระนาบจะมีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับทิศทางจุดที่ระนาบหนึ่งๆตัดแกนผลึกจะได้มาจากค่าส่วนกลับของดัชนีมิลเลอร์ เช่นระนาบ (010) จะตัดแกน x y z ที่จุด $1/0, 1/1, 1/0$ หรือ จุด $\infty, 1, \infty$ นั่นเอง (ระยะอนันต์หมายถึงไม่ตัดกับแกนนั้น) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 ซึ่งสรุปความสัมพันธ์ระหว่างระนาบต่างๆ กับระยะตัดแกนอ้างอิง



รูปที่ 2.4 การบอกระนาบต่างๆ ของผลึก

2.1.3 ความไม่สมบูรณ์ของผลึก

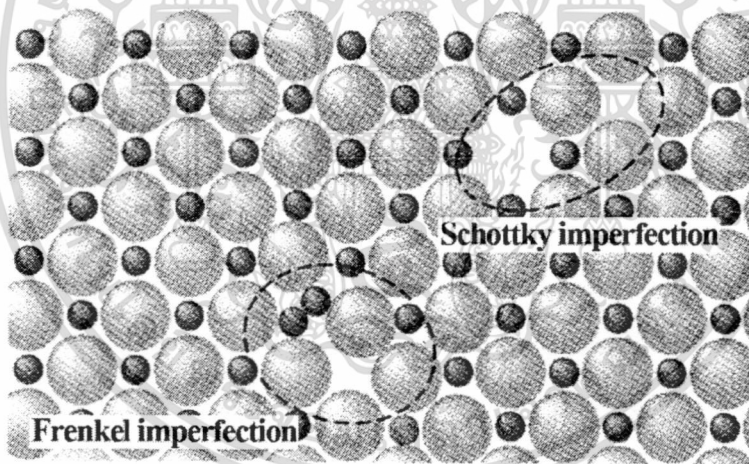
ที่ผ่านมาเราพิจารณาโครงสร้างผลึกในอุดมคติมาโดยตลอด แต่ในความเป็นจริงแล้ว โครงสร้างผลึกจะมีลักษณะไม่สมบูรณ์แบบโครงสร้างผลึกในอุดมคติทั้งหมดความไม่สมบูรณ์ของผลึกนั้นมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารและในบางกรณีตัวแปรทางไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความไม่สมบูรณ์ของผลึกด้วยซึ่งความไม่สมบูรณ์หรือข้อบกพร่องของโครงสร้างผลึกมีหลายชนิดด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 ข้อบกพร่องผลึกแบบจุด (point defect)

ข้อบกพร่องของผลึกแบบจุดดังแสดงในรูปที่ 2.5 นี้จะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาอะตอมที่ผิดเพี้ยนไปจากตำแหน่งเดิมในโครงสร้างผลึก

- ก) ข้อบกพร่องผลึกแบบแวนเคนซี (vacancy defect) ซึ่งมีลักษณะที่อะตอมหรือไอออนหลุดหายไป หรืออาจเรียกอีกอย่างว่าข้อบกพร่องผลึกแบบชอตทกี (schottky defect)
- ข) ข้อบกพร่องผลึกแบบอินเตอร์สติเชียล (interstitial) ซึ่งเป็นลักษณะที่อะตอมบางอะตอมหรือไอออนที่ไม่อยู่ที่ตำแหน่งของโครงผลึก แต่จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างตำแหน่งที่เป็นที่ว่างของโครงผลึก โดยทั่วไปแล้วรัศมีอะตอมที่เข้าไปแทรกอยู่จะมีค่าอยู่ระหว่างหรือน้อยกว่ารัศมีของอะตอมหลัก
- ค) การผิดรูปของโครงผลึกแบบเฟรเนล (frenkel disorder) คือ จะเกิดลักษณะ (ก) และ (ข) ร่วมกันโดยมีจำนวนเท่าๆกัน
- ง) การผิดรูปของโครงผลึกแบบแอนติสตรัคเจอร์ (antistructure disorder) เป็นลักษณะของอะตอมตั้งแต่สองอะตอมขึ้นไปเข้าไปอยู่ในตำแหน่งของโครงผลึกทำให้ลักษณะของโครงผลึกไม่เป็นระเบียบ

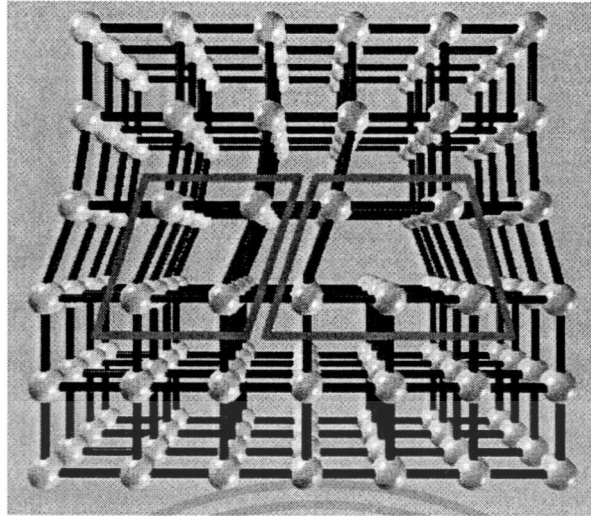


รูปที่ 2.5 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบจุด

2.1.3.2 ข้อบกพร่องผลึกเชิงเส้น (line defect)

ข้อบกพร่องผลึกเชิงเส้นอาจจะเรียกได้อีกอย่างว่าดิสโลเคชัน (dislocations) เกิดจากความผิดปกติของจุดของโครงผลึกตั้งแต่สองจุดขึ้นไป ขาดหายหรือเพิ่มขึ้นมาซึ่งมีผลทำให้เกิดการผิดปกติของโครงผลึกแบบเชิงเส้น การเกิดดิสโลเคชันอาจจะแบ่งออกได้ตามลักษณะรูปร่างที่สังเกตเห็น คือ ดิสโลเคชันแบบขอบ (edge dislocations) ดังรูปที่ 2.6 และดิสโลเคชันแบบสกรู (screw dislocations) ดังรูป 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบขอบ



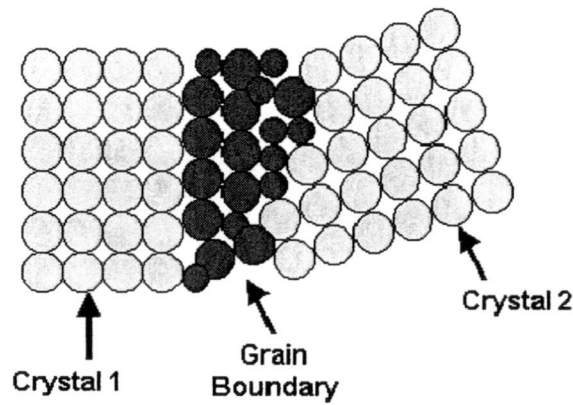
รูปที่ 2.7 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบสกรู

2.1.3.3 ข้อบกพร่องผลึกแบบแนวระนาบ (planar defect)

เป็นลักษณะของความผิดปกติของผลึกแบบระนาบแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มใหญ่ๆ คือการเรียงระนาบผิดลำดับ (stacking faults), ระนาบทวิน (twin planes), เกรนและขอบของเกรน (grain and grain boundaries)

ข้อบกพร่องผลึกชนิดนี้มักจะเกิดขึ้นในผลึกพหุพันธ์ (polycrystallines) ที่มีหลายเกรน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งในแต่ละเกรนจะมีการจัดเรียงตัวของผลึกในทิศทางเดียวกัน และมีแนวแบ่งระหว่างแต่ละเกรนที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกในทิศทางต่างกัน เรียกว่า ขอบเขตของเกรน ซึ่งเกรนและขอบเขตของเกรนจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงฟิสิกส์ต่างๆ ไปจากผลึกในอุดม

กติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงเกรนและขอบเขตของเกรน

2.1.4 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์โดยวิธี θ - 2θ ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ โดยใช้รังสีเอ็กซ์ความยาวคลื่นเดี่ยวตกกระทบตัวอย่างซึ่งอาจเป็นผลึกเดี่ยวหรือผลึกพหุพันธ์ก็ได้ ตัวอย่างจะหมุนไปเป็นมุม θ ในขณะที่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณรังสีเอ็กซ์จะเคลื่อนที่ไปเป็นมุม 2θ เพื่อให้การเลี้ยวเบนสอดคล้องกับกฎของแบร์รอก์

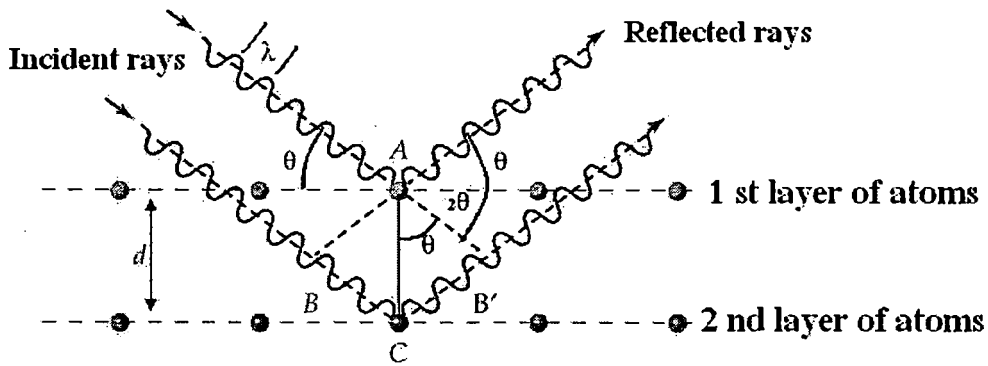
ในปี ค.ศ. 1912 W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดที่ว่า เราสามารถมองได้ว่าผลึกจัดเรียงตัวเป็นชั้น (layer) หรือ ระนาบ (plane) ของอะตอมซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบโดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ทั้งนี้ลำคลื่นที่สะท้อนออกไปจากระนาบต่างๆดังกล่าวจะมีความเข้มสูงและแทรกสอดแบบเสริม ถ้าหากความแตกต่างระหว่างทางเดินของคลื่นที่สะท้อนจากระนาบที่อยู่ข้างเคียงจะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นที่ ตกกระทบดังสมการ

$$2d_{hkl} \sin\theta = n\lambda \quad (2.1)$$

เมื่อ λ	คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์
d_{hkl}	คือ ระยะระหว่างระนาบที่ขนานกัน
θ	คือ มุมที่สะท้อนจากระนาบซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ
n	คือ อันดับการเลี้ยวเบน มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3,...

ระนาบต่างๆของผลึกไม่ได้ก่อให้เกิดการสะท้อนเสมอไประนาบใดที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบแล้วกระเจิงออกมาอย่างสอดคล้องกับกฎของแบร์รอก์ เรียกว่าระนาบแบร์รอก์ (Bragg plane) และมุมที่รังสีสะท้อนทำกับแนวที่ขนานกับรังสีตกกระทบเรียกว่ามุมเลี้ยวเบน (diffraction angle) ซึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของมุมสะท้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของแบร์ร็ก

2.1.5 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

ข้อมูลที่ได้จากรีวการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในโครงสร้างผลึกสามารถนำไปคำนวณค่าคงที่โครงสร้างผลึกได้ โดยพิจารณาได้ในแต่ละโครงสร้างผลึกดังนี้

2.1.5.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์

โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ จัดอยู่ในรูปผลึกแบบคิวบิก (cubic) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่โครงสร้างผลึก ค่าดัชนีมิลเลอร์ และระยะระหว่างระนาบที่ขนานกันดังสมการ

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (2.2)$$

2.1.5.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์

โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์หาได้จากสมการ

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \left[\frac{h^2 + hk + l^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.3)$$

เมื่อ a, c คือ ค่าคงที่ของโครงสร้างผลึก

h, k, l คือ ดัชนีมิลเลอร์ที่ใช้บอกชื่อของระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ [6-9]

การศึกษาสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน และขนาดช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำโดยจะกล่าวถึงลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำและกระบวนการดูดกลืนแสงของอิเล็กตรอน, ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์, สเปกตรัมการส่งผ่านแสงและการคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน

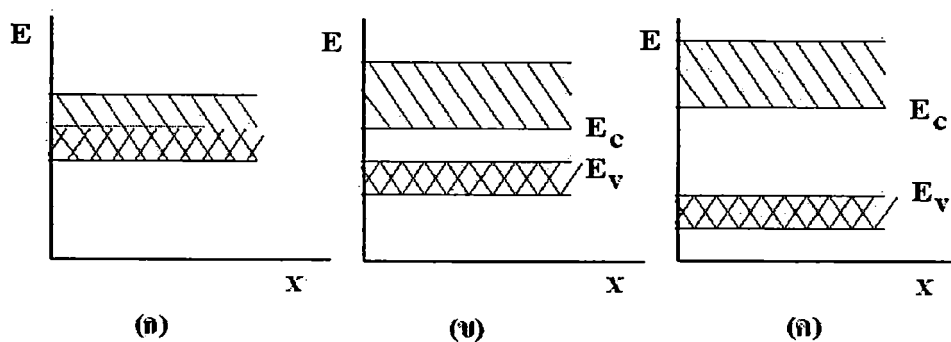
2.2.1 ทฤษฎีโครงสร้างแถบพลังงาน

ในโลหะอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอกสุด เรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอนและถือว่าเป็นอิเล็กตรอนอิสระไม่ถูกยึดอยู่ที่อะตอมหนึ่งอะตอมใดโดยเฉพาะซึ่งไม่เหมือนกับอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำหรือฉนวนที่ไม่เป็นอิสระอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดกระแสอาจถูก เรียกว่า ตัวนำอิเล็กตรอน (conduction electron) และในผลึกของแข็งอาจพิจารณาได้ว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ในผลึกซึ่งมีศักย์แบบเป็นคาบ (periodic potential) อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากระยะห่างของไอออนคอร์ (ion core) มีระยะเท่ากันตลอดซึ่งเท่ากับค่าคงที่ของ โครงผลึก (lattice constant) ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานของอิเล็กตรอนซึ่งจะมีได้นั้นจะมีได้ในแถบหนึ่งแถบใดเท่านั้นคือ แถบยินยอม (allowed band) และแถบพลังงานที่จะมีได้นี้จะถูกแบ่งกันไว้ด้วยแถบพลังงานต้องห้ามซึ่งหมายถึงพลังงานในย่านนี้ อิเล็กตรอนไม่สามารถที่จะมีได้ แถบดังกล่าวถูกเรียกว่า “แถบต้องห้ามหรือช่องว่างแถบพลังงาน” (forbidden band or energy gap) ภายในแถบยินยอมหนึ่งๆ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนี้จะแสดงตัวเหมือนกับอิเล็กตรอนอิสระทุกประการ

2.2.1.1 โลหะ สารกึ่งตัวนำและฉนวน

ลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงานของของแข็งสามารถบ่งบอกคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุของแข็งนั้นๆ ได้เป็นอย่างดี สภาพความนำไฟฟ้าของสารใดๆ จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับจำนวนหรือปริมาณของความหนาแน่นของประจุพาหะที่มีอยู่กรณีที่จะมีการนำไฟฟ้าได้แล้ว จำเป็นที่จะต้องมีสถานะซึ่งว่างอยู่ในแถบพลังงานและเมื่อมีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนที่ระดับต่างๆ ซึ่งอยู่ได้ระดับพลังงานที่ว่างอยู่ก็จะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นและเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในสถานะที่ว่างอยู่นั้นจากนั้นอิเล็กตรอนตัวอื่นๆ ก็จะเคลื่อนที่ตามกันไปอย่างนี้จะทำให้เกิดการไหลของกระแส อิเล็กตรอนขึ้น ตัวนำที่ดีจะต้องมีพาหะซึ่งอยู่ในระดับต่างๆ ภายในแถบพลังงานซึ่งประกอบด้วยแถบพลังงานสองแถบ คือ แถบนำและแถบวาเลนซ์ซ้อนเหลื่อมกันซึ่งคือ โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะนั่นเอง ดังรูปที่ 2.10 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



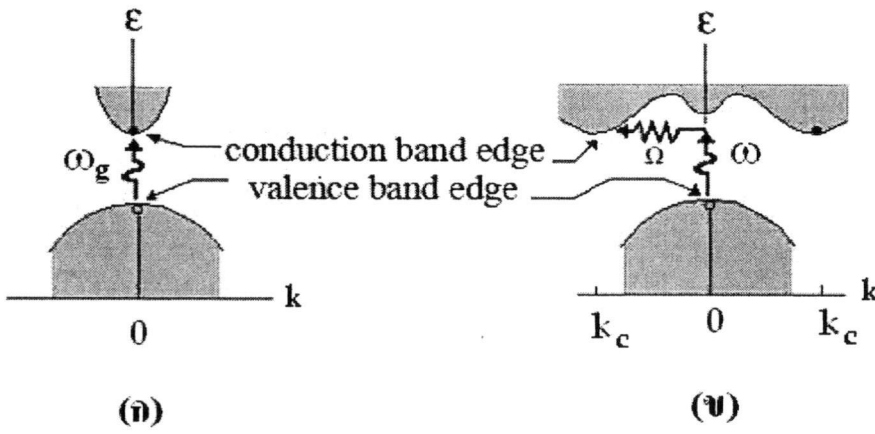
รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างแถบพลังงาน

- ก. โลหะ
- ข. สารกึ่งตัวนำ
- ค. ฉนวน

2.2.1.2 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

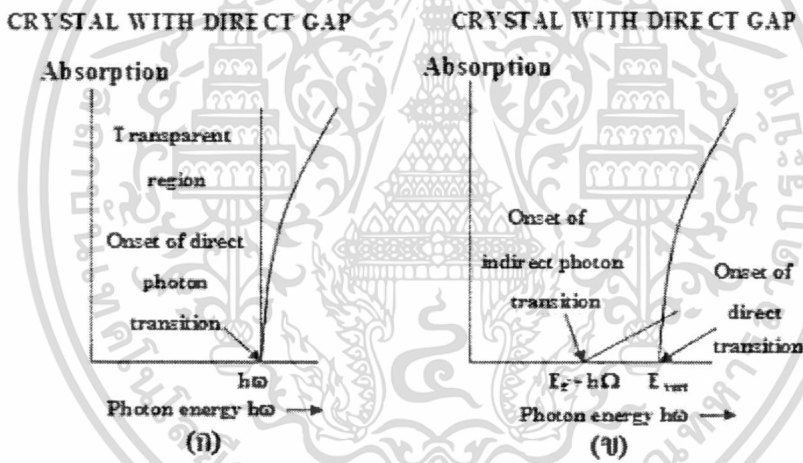
โดยทั่วไปลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำมีสองแบบคือ แบบตรง (direct bandgap) และแบบเฉียง (indirect bandgap) ดังแสดงในรูปที่ 2.11(ก) และ (ข) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง คือ โครงสร้างแถบพลังงานที่มีจุดต่ำสุดของแถบนำกับจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ อยู่ที่ตำแหน่งเวกเตอร์คลื่น (wave vector ; k) ค่าเดียวกันหรืออยู่ที่ตำแหน่งที่มีโมเมนตัมคลื่นเท่ากันถ้าอิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอนที่มีค่าเท่ากับขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน ($h\nu = E_g$) อิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานโฟตอนนั้นและอยู่ในสถานะถูกกระตุ้นจึงย้ายสถานะพลังงาน (transition) จากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำกลายเป็นอิเล็กตรอนและโฮลอิสระโดยไม่มีการสูญเสียพลังงานให้แก่โครงสร้างผลึกคือ ไม่มีการสร้างหรือทำลายล้างโฟนอน (phonon creation or phonon annihilation) เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอน (absorption coefficient) กับพลังงานโฟตอนจะได้กราฟดังรูปที่ 2.12 (ก) ส่วนลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง คือ โครงสร้างแถบพลังงานที่มีจุดต่ำสุดของแถบนำกับจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ ไม่อยู่ที่ตำแหน่งเวกเตอร์คลื่นเดียวกันหรืออยู่ที่ตำแหน่งที่มีโมเมนตัมคลื่นเท่ากัน ดังนั้นอิเล็กตรอนต้องได้รับพลังงานโฟตอนที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงานแล้วจะทำให้เกิดกระบวนการสร้างหรือทำลายโฟนอนเกิดขึ้น $h\omega = E_g \pm \hbar\Omega$ เมื่อ Ω คือ ค่าความถี่เชิงมุมของพลังงานโฟนอนนั้นคือ เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้น ทำให้เกิดการย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังต่ำสุดของแถบนำ จะมีการปล่อยโฟนอน (emitted phonon) ที่มีความถี่เชิงมุมมีเวกเตอร์คลื่น $k \cong k_c$ ออกมาจึงเกิดการสร้างโฟนอนและสร้างอิเล็กตรอนและโฮลอิสระแสดงดังรูปที่ 2.11 (ข) และเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนจนได้กราฟดังรูป 2.12 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงาน และการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์

- ก. โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง
- ข. โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง



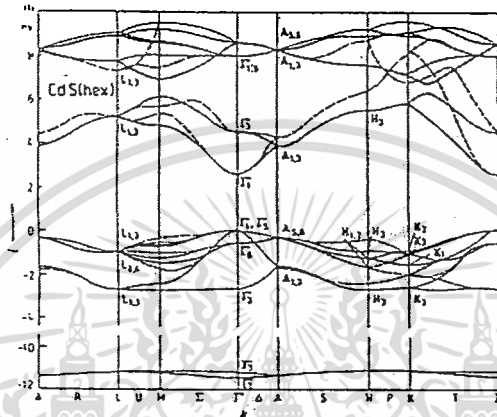
รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์

- ก. โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง
- ข. โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีกระบวนการสร้างโฟนอน

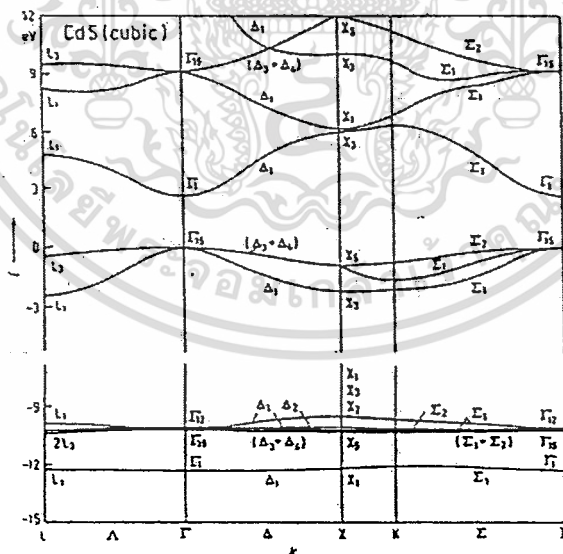
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์ [10-13]

แคดเมียมซัลไฟด์ มีลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงคือ มีการย้ายสถานะพลังงาน ของอิเล็กตรอนจากตำแหน่งสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปจุดต่ำสุดของแถบนำซึ่งอยู่ที่เวกเตอร์คลื่นค่าเดียวกันหรือ ที่ตำแหน่ง Γ ของบริลลันโซนของโครงสร้างผลึกทั้งแบบซิงค์เบลนด์และเวิร์ทไซท์ ดังรูปที่ 2.13 และ 2.14 โดยที่โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์และโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์มีค่าช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 2.5 และ 2.51 eV ตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ โดยไม่คิดการคัปปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิต

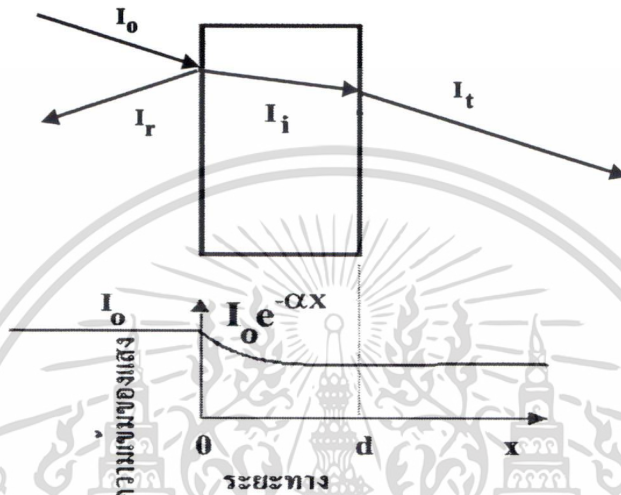


รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ โดยไม่คิดการคัปปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การส่งผ่านแสง [7-9,11]

การศึกษาวិธีวัดสเปกตรัมการสะท้อนและการส่งผ่านแสงนี้จะกล่าวถึงสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงและองค์ประกอบของการวัดสเปกตรัมการส่งผ่านแสง เมื่อแสงเดินทางไปกระทบฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของฟิล์มบาง บางส่วนของแสงจะเดินทางเข้าไปในแผ่นฟิล์มบางและถูกดูดกลืนดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง

- เมื่อ I_0 คือ ความเข้มแสงตกกระทบแผ่นฟิล์มบาง
- I_R คือ ความเข้มแสงสะท้อนจากฟิล์มบาง
- I_T คือ ความเข้มแสงส่งผ่านออกมาจากฟิล์มบาง
- I_i คือ ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบาง
- R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (reflectivity)
- T คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (transmittance)
- α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (absorption coefficient)
- d คือ ระยะทางที่แสงเดินทางในแผ่นฟิล์มบาง

สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงมีค่าเท่ากับ

$$R = \frac{I_R}{I_0} \tag{2.4}$$

หรือ

$$I_r = RI_0 \quad (2.5)$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางมีค่า

$$I_i = I_0 - I_r = I_0 - RI_r = (1 - R)I_0 \quad (2.6)$$

เมื่อแสงนี้เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางจะถูกดูดกลืนทำให้ความเข้มแสงภายในแผ่นฟิล์มบางลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลตามระยะทาง ดังนั้นความเข้มแสงที่ส่งผ่านฟิล์มบางมีค่าดังสมการ

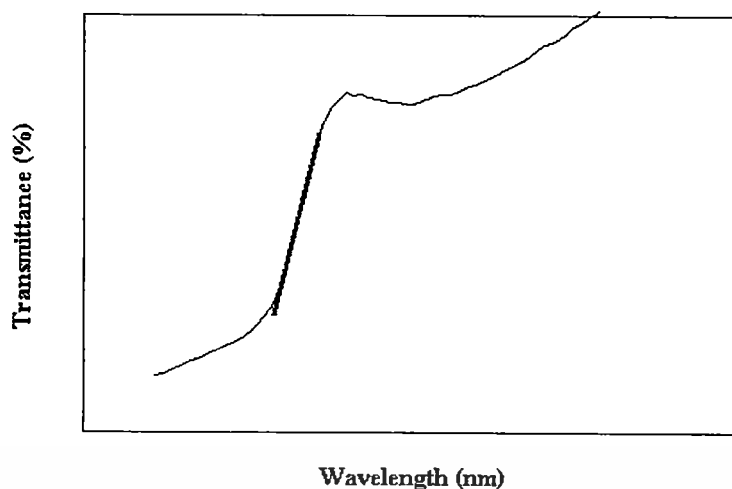
$$I_t = I_i e^{-\alpha d} = (1 - R)I_0 e^{-\alpha d} \quad (2.7)$$

ถ้าไม่มีการสะท้อนแสงที่ผิวด้านหลังสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสงจะมีค่าเท่ากับ

$$T = \frac{I_t}{I_0} = (1 - R) e^{-\alpha d} \quad (2.8)$$

2.3.1 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง

การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำเกิดจากการที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากแสงที่มีพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าแถบช่องว่างพลังงาน แล้วย้ายสถานะพลังงานจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบนำ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงบริเวณที่พลังงานโฟตอนมีค่าน้อยจะมีลักษณะเป็นขอบ แสดงถึงการลดลงของการดูดกลืนแสงอย่างกะทันหัน ขอบลักษณะนี้เรียกว่าขอบการดูดกลืนแสงหรือขอบการดูดกลืนพื้นฐาน (absorption edge or fundamental edge) แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 พลังงานโฟตอนที่ขอบการดูดกลืนแสงมีค่าเท่ากับผลต่างของค่าพลังงานที่วัดจากจุดต่ำสุดของแถบความนำและจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์จุดที่เส้นตรงตัดกับแกนในแนวนอนจะให้ค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Eg) วิธีการนี้เป็นการกำหนดค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่นิยมมากที่สุด



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่น โดยเส้นทึบจะแสดงขอบการดูดกลืนพื้นฐาน

การหาค่าของช่องว่างแถบพลังงานสามารถพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (α) ของสารกึ่งตัวนำจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (T) จากรูปที่ 2.15 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบบนด้านซ้ายของฟิล์มบาง (I_0) ความเข้มแสงภายในฟิล์มบางจะลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงโดยทั่วไป (R) มีค่าน้อยมากจะได้

$$T = e^{-\alpha d} \quad (2.9)$$

ดังนั้น

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln T \quad (2.10)$$

ที่กล่าวมา เป็นการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง โดยไม่คิดถึงการสะท้อนของแสงสำหรับกรณีการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง เนื่องจากการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับค่าช่องว่างแถบพลังงาน ซึ่งมีลักษณะเป็นพาราโบลาช่องว่างแถบพลังงานของแผ่นฟิล์มบางประมาณได้ โดยการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ซึ่งจะถูดูดกลืนเมื่อแสงที่ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบางมีค่าพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าของแถบพลังงานต้องห้ามที่ขอบของการดูดกลืนค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะมีค่าเป็น

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A คือ ค่าคงที่ และสมการที่ (2.11) ใช้กับสารที่มีสถานะพลังงานแบบตรง

$$(\alpha h\nu)^{1/2} = B(h\nu - E_g) \quad (2.12)$$

เมื่อ B คือ ค่าคงที่ และสมการที่ (2.12) ใช้กับสารที่มีสถานะพลังงานแบบเฉียง

2.4 สมบัติทางไฟฟ้า [14,15]

จากทฤษฎีแถบพลังงานนั้นสารกึ่งตัวนำที่มีขนาดช่องว่างแถบพลังงานใหญ่เกินกว่า 2 อิเล็กตรอน โวลต์ พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิต่ำไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดพาหะอิสระได้ ดังนั้นพาหะอิสระของสารกึ่งตัวนำประเภทนี้จึงน้อยส่วนใหญ่มาจากระดับพลังงานที่ปรากฏในช่องว่างแถบพลังงาน ซึ่งจะเป็นทั้งระดับพลังงานผู้ให้และระดับพลังงานผู้รับหรือศูนย์กลางการรวมตัว (recombination center) ดังนั้นสภาพนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่ำของสารกึ่งตัวนำจึงขึ้นกับความหนาแน่นของพาหะอิสระเหล่านี้

2.4.1 สภาพนำไฟฟ้า

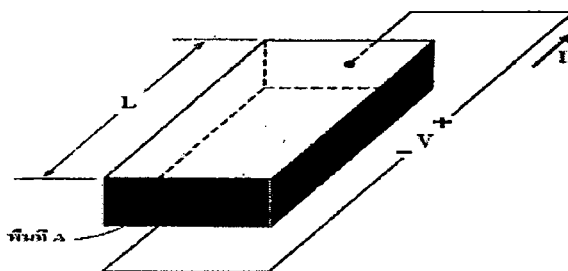
เมื่อใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปในสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนำจะตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนกลายเป็นกระแสไฟฟ้าจากกฎของโอห์ม (Ohm's law) สภาพนำไฟฟ้า (electrical conductivity: σ) คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (current density : J) ต่อสนามไฟฟ้า (electric field) ที่ใส่เข้าไปดังสมการ

$$J = \sigma E = e(\mu_n n + \mu_p p)E \quad (2.13)$$

เมื่อ μ_n, μ_p	คือ	สภาพคล่องของอิเล็กตรอนและ โฮล ตามลำดับ
n	คือ	ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน
p	คือ	ความหนาแน่นของโฮล

ส่วนกลับของสภาพนำไฟฟ้า เรียกว่า สภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity: ρ) ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{e(\mu_n n + \mu_p p)} \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.17 แสดงการให้แรงดันกับสารตัวอย่าง

ถ้ามีแท่งสารกึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งให้แรงดันและเกิดกระแส I แล้วจะได้ว่า

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.15)$$

และ

$$E = \frac{V}{L} \quad (2.16)$$

สามารถเขียนสมการที่(2.16) ใหม่ได้เป็น

$$\frac{I}{A} = \sigma \left(\frac{V}{L} \right) \quad (2.17)$$

หรือ

$$V = \left(\frac{L}{\sigma A} \right) I = \left(\frac{\rho L}{A} \right) I = IR \quad (2.18)$$

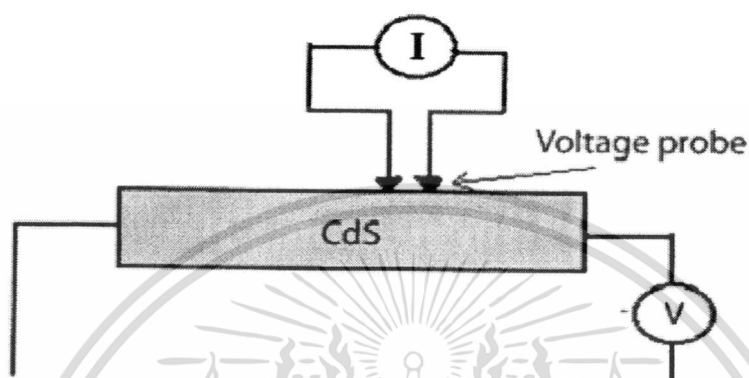
สมการที่ (2.18) คือ กฎของโอห์มสำหรับสารกึ่งตัวนำ ความต้านทานเป็นฟังก์ชันกับสภาพความต้านทาน หรือสภาพนำไฟฟ้าพอกๆกับมิติรูปทรงทางเรขาคณิตของสารกึ่งตัวนำ

2.4.2 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า

วิธีการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำสามารถกระทำได้หลายวิธีทั้งวิธีที่ใช้ส่วนของอุปกรณ์ต่อเข้าสัมผัสกับชิ้นสารตัวอย่างและวิธีที่ไม่ต้องสัมผัสโดยตรงสำหรับวิธีที่จะกล่าวถึงในที่นี้เป็นวิธีที่ใช้การสัมผัสกับชิ้นสารตัวอย่าง ซึ่งทำโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในชิ้นสารตัวอย่างแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดบนชิ้นสารนั้น

2.4.2.1 การวัดความต้านทานจำเพาะโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น

การวัดด้วยวิธีนี้มีลักษณะการวัดคล้ายคลึงกับการวัด โดยตรงข้อแตกต่างตรงที่ลักษณะของขั้วไฟฟ้าของการวัดศักย์ไฟฟ้าจะวัดบนสารตัวอย่าง ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.19 วิธีการวัดชนิดนี้เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นจากแบบแรก เพื่อที่จะกำจัดศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อหัวท้ายของผิวสัมผัสให้น้อยลง และสามารถตรวจสอบความสกปรกบนพื้นผิวของชิ้นสารตัวอย่างได้ด้วย



รูปที่ 2.18 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น

ข้อจำกัดของการวัดด้วยวิธีนี้ คือ จะต้องวัดบนสารตัวอย่างที่มีความหนาสม่ำเสมอและมีรูปทรงเรขาคณิตแน่นอน โดยพยายามปล่อยให้กระแสผ่านเข้าไปในสารตัวอย่างให้น้อยที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนภายในสารเพราะค่าความต่างศักย์ที่วัดได้อาจจะไม่ถูกต้องอีกทั้งในการวัดทุกครั้งจะต้องใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงและจุดที่ต้องการวัดศักย์ไฟฟ้าควรจะต้องอยู่ห่างจากจุดที่ปล่อยกระแสเข้าและออกพอสมควรเพื่อป้องกันสารเจือเข้าไปทำการรวมตัวระหว่างจุดที่กำลังจะวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า หากมีสารเจือเข้ามารวมตัวที่บริเวณที่วัดนี้จะมีผลทำให้เกิดการรวมตัวกับพาหะข้างน้อย (minority carriers) บริเวณนั้น ทำให้การวัดค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้สูงเกินความเป็นจริง นอกจากนี้ควรคำนึงถึงความสม่ำเสมอของเส้นสมศักย์ (equi-potential lines) โดยการวัดที่บริเวณตรงจุดที่คิดว่าเป็นเส้นสมศักย์นั้นสม่ำเสมอ (ตรงกลางของสารตัวอย่าง) สัดส่วนระหว่างระยะขั้วที่วัดศักย์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ตรงจุดที่ปล่อยกระแสเข้า-ออกจะต้องมีค่ามากกว่าสามเท่า $L/A > 3$ เมื่อ L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วที่วัดศักย์ไฟฟ้า และ A คือ พื้นที่บริเวณให้กระแสข้อที่ควรคำนึงถึงอีกประการก็คือ โครงสร้างทางผลึกว่ามีโครงสร้างชนิดใดเป็นรูปลูกบาศก์หรือไม่ ถ้าไม่ใช่จะต้องทราบทิศทางของการวัดว่ากำลังวัดอยู่ในทิศทางหรือระนาบใดของผลึก

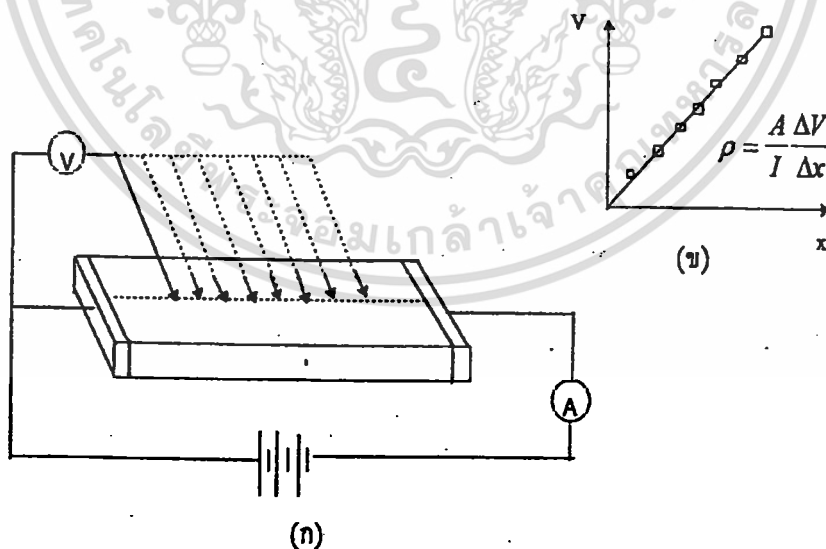
ข้อดีของการวัดแบบสองขั้วในหลายๆตำแหน่งนี้จะสามารถแยกสภาพต้านทานไฟฟ้าที่สภาพผิวระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำและความต้านทานจำเพาะภายในของสารกึ่งตัวนำได้

สรุปข้อแนะนำในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะแบบสองขั้วเชิงเส้น

- วัดศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณกึ่งกลางของสารตัวอย่างและห่างจากบริเวณกระแสเข้า-ออกพอสมควร
- โลหะที่นำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าที่ใช้วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าบนสารตัวอย่างนั้น จะต้องเป็น โลหะแข็งและนำไฟฟ้าได้ดี เช่น ทังสเตน เงิน พลาตินัม เป็นต้น
- ขณะที่ทำการวัดสารตัวอย่าง จะต้องทราบระนาบหรือทิศทางของผลึกสารตัวอย่าง ว่ากำลังวัดอยู่ในระนาบหรือทิศทางใดของสารตัวอย่าง
- ผลึกที่ทำการวัดจะต้องมีความสมบูรณ์ไม่เกิดขอบเขตของเกรน (grain boundaries) ที่ผิวและมีความเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งก้อนผลึก

ข้อแก้ไข

- ควรทำการวัดหลายจุดและต้องใช้ความระมัดระวังเพราะอาจทำให้สารตัวอย่างเกิดความเสียหายได้ซึ่งจะส่งผลไปถึงปรากฏการณ์ภายในสารตัวอย่าง
- ระยะระหว่างขั้วไฟฟ้าควรจะให้สั้นๆเพื่อจะได้วัดตรงจุดที่มีเส้นสมศักย์
- วัดบนสารตัวอย่างที่ใหญ่และมีรูปร่างทรงเรขาคณิตที่แน่นอน
- อาจจะไปแก้ด้วยวิธีที่ขั้วหนึ่งและอีกขั้วหนึ่งเลื่อนตำแหน่งออกไปเป็นระยะๆ โดยมีมาตราส่วนบอกระยะแล้วนำมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.20 (ก) และ (ข) ความชันที่ได้จะเป็นค่าความต้านทานจำเพาะทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.19 แสดงการวัดความต้านทานแผ่น โดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น

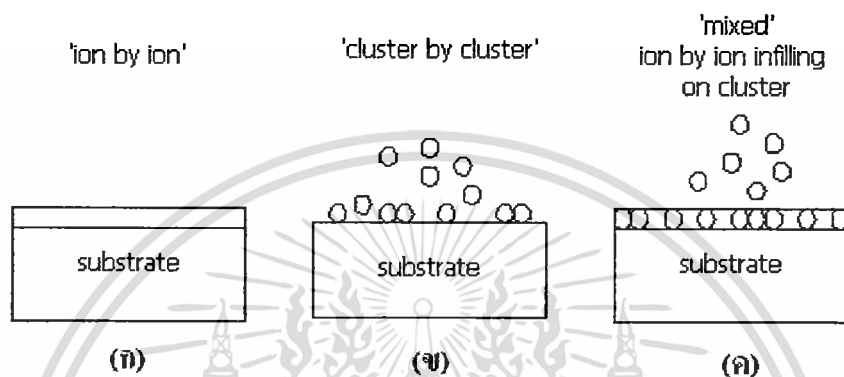
ก. การวัดแบบสองขั้วโดยมีการเลื่อนระยะที่ขั้วหนึ่ง

ข. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับระยะทางที่ได้จากการวัดชนิดเลื่อนขั้วไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง CdS ด้วยวิธีการอบสารละลายเคมี [7, 8]

ฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีสารตั้งต้นประกอบด้วยแคดเมียมซัลเฟต (CdSO_4) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของแคดเมียมไอออน (Cd^{2+}) ไทโอยูเรีย ($\text{SC}(\text{NH}_2)_2$) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของซัลเฟอร์ไอออน (S^{2-}) และแอมโมเนีย (NH_3) โดยเลือกใช้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นให้เหมาะสม ได้ค่า pH ประมาณ 10-11 และอุณหภูมิประมาณ 80-90°C โดยในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง CdS คาดว่าจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

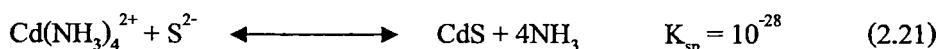
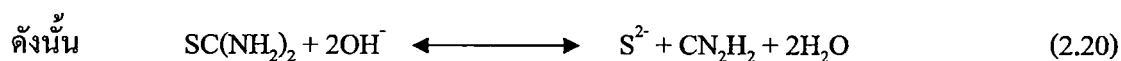
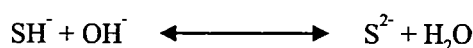
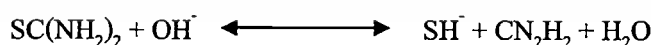


รูปที่ 2.20 แผนภาพแสดงกลไกในการเกิดผลึกเป็นฟิล์มบางที่เตรียมโดยใช้เทคนิคการอบสารละลายทางเคมี

- กระบวนการเฮเทอโรจีเนียส
- กระบวนการโฮโมจีเนียส
- กระบวนการผสมระหว่างเฮเทอโรจีเนียสและโฮโมจีเนียส

2.5.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยา

ฟิล์มบาง CdS เกิดจากเกลือแคดเมียมในสารละลาย NH_3 โดยเกิดปฏิกิริยาดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก (2.19) เกลือ CdSO₄ แยกตัวให้ Cd²⁺ จะรวมตัวกับแอมโมเนีย NH₃ กลายเป็นไอออนเชิงซ้อนที่เรียกว่าแคดเมียมเตตระแอมมีน (cadmium tetraammine complex ion; Cd(NH₃)₄²⁺) จากนั้นแยกตัวให้ Cd²⁺ แล้วรวมตัวกับ S²⁻ เกินกว่าค่าผลของความสามารถในการละลาย (solubility product; K_{sp}) ของ CdS ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.1x10⁻²⁸ ก็ปรากฏคอลลอยด์ของแคดเมียมซัลไฟด์ขึ้นในสารละลาย

โดยปกติ NH₃ จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความเข้มข้นของ Cd²⁺ ดังนั้นจึงนิยมใช้ NH₃ ที่มีความเข้มข้นมากเพื่อไม่ให้ความเข้มข้นของ Cd²⁺ และ S²⁻ มีค่าเกินกว่าค่าผลของความสามารถในการละลายของ Cd(OH)₂ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.2 x 10⁻¹⁴ เพราะจะทำให้เกิดเป็นคอลลอยด์ของ Cd(OH)₂ แทนที่จะเป็น CdS ดังสมการ (2.22)



การเกิดฟิล์มบาง CdS ประกอบด้วยสามกลไกด้วยกัน คือ

1. การจับ Cd(OH)₂ ที่ผิวแผ่นรองรับ



ซึ่งปฏิกิริยาสามารถผันกลับได้ความเข้มข้นของ NH₃ ประมาณ 0.8 – 2.5 โมลาร์

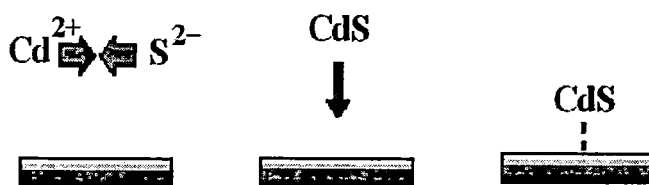
2. การจับไทโอยูเรียเอาไว้โดยทำให้เกิดองค์ประกอบเชิงซ้อนที่ไม่เสถียร



3. การเกิด CdS และการเกิดที่อยู่ใหม่โดยการแตกตัวขององค์ประกอบเชิงซ้อน

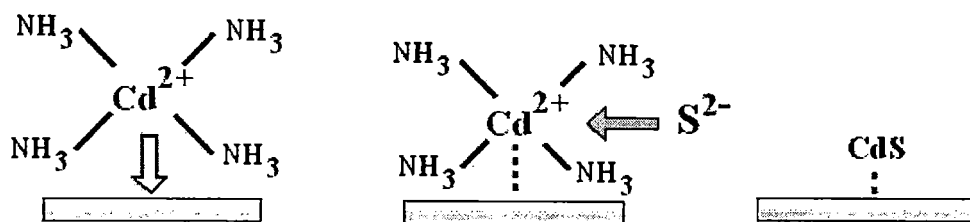


การเกิดฟิล์มบางในสมการ (2.19) ถึง (2.21) เรียกว่า การตกผลึกแบบโฮโมจีเนียส (homogenous precipitation) หรือ การตกผลึกแบบกลุ่มก้อนต่อกัน (cluster by cluster) ดังแสดงตามรูปที่ 2.24 ส่วนสมการ (2.22) ถึง (2.24) เรียกว่าแบบเฮเทอโรจีเนียส (heterogenous precipitation) หรือการตกผลึกแบบไอออนต่อไอออน (ion by ion) ดังแสดงตามรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.21 แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับโดยกระบวนการโฮโมจีเนียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับ โดยกระบวนการเฮเทอโรจีเนียส

2.5.2 การเกิดฟิล์มบาง CdS บนแผ่นรองรับ

เนื่องจากความสามารถในการละลายของ CdS มีค่าต่ำ ดังนั้นการควบคุมการตกผลึกสามารถทำได้โดยการควบคุม Cd^{2+} ต้องเลือกตัวแทนเชิงซ้อน (complex agent) ซึ่งในที่นี้จะใช้ NH_3 เพื่อควบคุมความเข้มข้นของ Cd^{2+} โดยให้ NH_3 รวมตัวกับ Cd^{2+} กลายเป็นไอออนเชิงซ้อนดังสมการ (2.19) ถึง (2.26) ซึ่งไอออนเชิงซ้อนจะแตกตัวให้ไอออนอิสระดังสมการ



เมื่อพิจารณาค่าของ K_{sp} และค่าคงที่สมดุล K_c จะเห็นว่า CdS สามารถตกผลึกได้ง่าย โดยทั่วไปการเกิดฟิล์มบาง CdS มักเกิดผลึก แบบโฮโมจีเนียสและ แบบเฮเทอโรจีเนียส ซึ่งการเกิดแบบ โฮโมจีเนียส มักจะพบมากในช่วงท้ายของการเกิดฟิล์มบางมีผลทำให้ฟิล์มบางมีคุณภาพลดลงกล่าวคือ โปร่งแสงน้อยลง และมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ผิวด้านนอกหตุคร่อนได้ง่าย

2.6 ทฤษฎีของคลื่นไมโครเวฟ [5]

ไมโครเวฟ (microwave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) ชนิดหนึ่งมีอยู่แล้วในธรรมชาติ คลื่นมีความถี่ 100 MHz – 10 GHz การนำไมโครเวฟมาใช้งานด้านทำให้โมเลกุลเกิดการกลับขั้วไปมาอย่างรวดเร็วทำให้โมเลกุลเสียดสีกันเกิดแรงเสียดทาน เกิดความฟืดและเกิดความร้อนขึ้น กล่าวคือโมเลกุลจะเกิดการกลับตัวในช่วงคลื่นบวกเป็นจำนวนครั้งต่อวินาทีและช่วงลบของคลื่นไมโครเวฟเข้ามาโมเลกุลก็จะเกิดการกลับตัวอีกแล้วโมเลกุลก็เกิดการสลับตัวทำให้เกิดการชนกันและเสียดสีกัน เกิดแรงเสียดทาน เกิดความฟืดและเกิดความร้อน จากโมเลกุลภายในสารแล้วค่อยส่งความร้อนออกมาด้านนอก

คุณสมบัติของไมโครเวฟ 3 ประการ คือ

1. คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถส่งผ่านโลหะได้
2. การทะลุผ่านของคลื่น (penetration) คลื่นสามารถทะลุผ่านวัสดุบางชนิดได้ เช่น แก้ว (ยกเว้นกระจกที่เจียรนัยที่มีส่วนผสมของตะกั่วซึ่งเป็นโลหะ) แก้วทนความร้อน เครื่องกระเบื้องเคลือบเครื่องถ้วยชามเคลือบกระดาดและพลาสติก เป็นต้น
3. คลื่นไมโครเวฟสามารถดูดกลืนได้ด้วยวัสดุที่มีส่วนประกอบของน้ำอยู่ทำให้กำลังของคลื่นลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น) อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในโครงการงานการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์โดยวิธีอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟทั้งที่ไม่ได้เจือ และที่ทำการเจือด้วยบิสมัทบนกระจกสไลด์ที่มีปริมาณสารเจือ $\text{CdCl}_2 \cdot \text{Bi}$ เท่ากับ 3 wt %, 5 wt %, 7 wt %, 10 wt % และ 20 wt % พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ ได้แก่ ศึกษาโครงสร้างและขนาดของเกรนของฟิล์มด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ศึกษาการส่องผ่านทางแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยวัดความต้านทานแผ่นด้วยวิธีสองขั้วเชิงเส้นและสี่ขั้วเชิงเส้น ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการทดลองและเครื่องมือการวิจัย [7-9]

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์

- สารตั้งต้นที่ใช้ประกอบไปด้วย
 - อะซิโตน (CH_3COOH)
 - เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
 - น้ำปลอดประจุ (DI water)
- แผ่นกระจกสไลด์ 12 x 75 มิลลิเมตร
- บีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร
- เครื่องอัลตราโซนิก

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

- สารตั้งต้นที่ใช้ประกอบไปด้วย
 - แคดเมียมคลอไรด์ ($\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)
 - ไทโอยูเรีย ($\text{SC}(\text{NH}_2)_2$)
 - แอมโมเนียม (NH_4OH)
 - บิสมัท ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- น้ำปลอดประจุ (DI water)
- กระจกสไลด์ใช้เป็นแผ่นฐานรองรับฟิล์มบาง

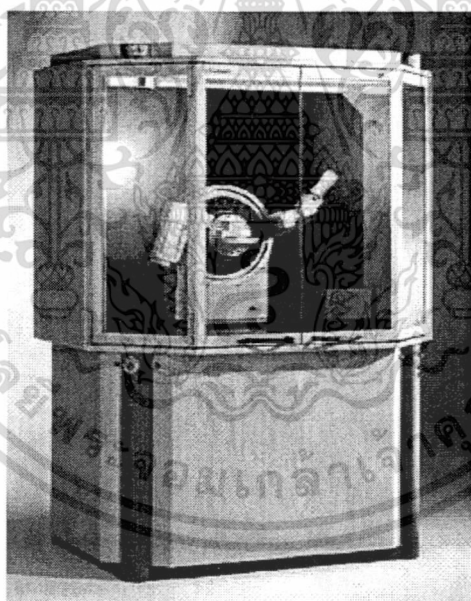
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร
- เตาให้ความร้อน
- เทอร์โมมิเตอร์
- เครื่องชั่งดิจิตอล (ที่มีตำแหน่งทศนิยมละเอียดถึง 4 ตำแหน่ง)
- แท่นยึด
- เตาไมโครเวฟ

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบางที่เตรียมได้

3.1.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

ในการศึกษาโครงสร้างของผลึกของฟิล์มบาง โดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 1830 รังสีเอ็กซ์ย่าน $\text{Cu}_K\alpha$ มีความยาวคลื่น 1.5418 อังสตรอมซึ่งใช้กระแส 30 มิลลิแอมป์และความต่างศักย์ 25 กิโลโวลต์

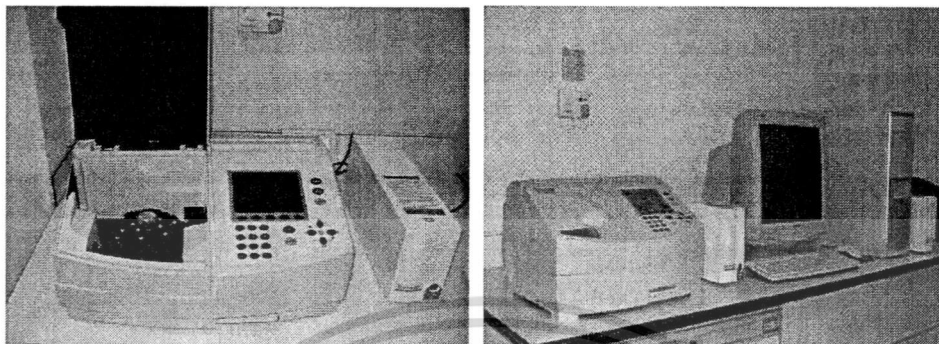


รูปที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตรมิเตอร์: D8 Advance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการส่งผ่านทางแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

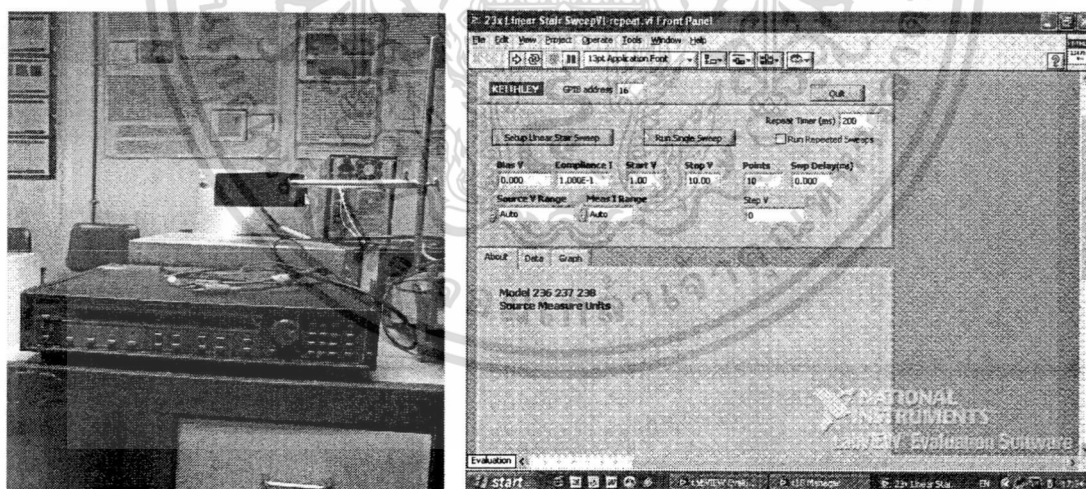
ในการศึกษาการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ Thermo electron corporation (He λ ions α) ช่วง 190-1100 นาโนเมตร



รูปที่ 3.2 แสดงภาพถ่ายเครื่อง UV-VIS ยี่ห้อ Thermo electron corporation (He λ ions α)

3.1.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานแผ่น

- อิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ Keithley รุ่น 236
- กัลวอคูมูเนียม
- หลอดฮาโลเจนชนิด ELH (120 โวลต์, 300 วัตต์)



รูปที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ Keithley รุ่น 236 และซอฟต์แวร์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 วิธีการทดลอง

1. นำฟิล์มบาง CdS:Bi ทั้งที่ไม่มีกรแอนนีสและที่มีการแอนนีสที่ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที นำมาทำรอยต่อ โดยใช้กาวเงินเติมลงผิวหน้าของฟิล์มบางจำนวน 2 เส้นขนานกัน เพื่อทำเป็นขั้วไฟฟ้า
2. ทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปที่กาวเงินทั้ง 2 เส้นจากนั้นวัดค่ากระแสที่แหล่งจ่ายไฟตรงให้กับวงจร
3. นำแผ่นชิ้นงานใส่กล่องโลหะเพื่อลดสัญญาณรบกวน แล้วบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมขั้วทั้งสองพร้อมทั้งบันทึกค่ากระแสที่ไหลภายในวงจรกระแสที่วัดได้อยู่ในช่วง 10^7-10^8 แอมแปร์
4. เพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับวงจร พร้อมทั้งบันทึกค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงกับกระแส โดยทำการวัดค่าความต้านทานประมาณ 10 ค่า
5. ฉายแสงด้วยหลอดไฟชนิดฮาโลเจน ELH ขนาด 120 โวลต์ 300 วัตต์ ที่ค่าความเข้มแสงประมาณ 950 ลักซ์ และทำการวัดค่าความต่างศักย์กับกระแส
6. ทำการเขียนกราฟระหว่างกระแสในแนวแกน x และความต่างศักย์ในแนวแกน y
7. จากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์สามารถหาค่าความต้านทานแผ่นได้จากสมการ

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

โดยที่ W คือ ความกว้างของฟิล์มบาง

L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสอง

$\frac{V}{I}$ คือ ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน

3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือ และที่ทำการเจือด้วย Bi ภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

3.2.1 การเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ [7-9,16]

การเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CdS:Bi ด้วยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟที่เป็นกระจกสไลด์ที่มีขนาดความกว้าง 12 มิลลิเมตร และความยาว 75 มิลลิเมตร มีขั้นตอนดังนี้

1. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปทำความสะอาดด้วยไตรคลอโรเอททีลิน
2. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยอะซิโตนในเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที
3. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเอทานอลในเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แผ่นกระจกสไลด์ไปกัดด้วยกรดกัดแก้วหรือไฮโดรฟลูออริก 10% เป็นเวลา 10 นาที และล้างด้วยน้ำปอดประจุ
5. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ในน้ำปอดประจุด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 10 นาที จำนวน 3 ครั้ง
6. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปอบในเตาที่มีอุณหภูมิประมาณ 90°C เป็นเวลา 30 นาที
7. หลังจากทำการอบแผ่นกระจกสไลด์แล้วจึงนำแผ่นกระจกสไลด์ที่ได้นี้ไปทำการเคลือบฟิล์ม $\text{CdS} : \text{Bi}$ ด้วยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

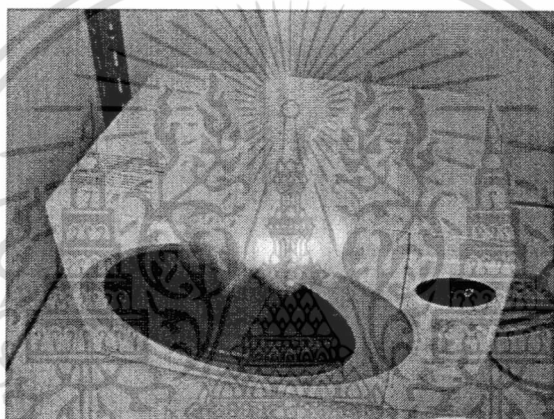
3.2.2 การเตรียมฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือ และที่ทำการเจือด้วย Bi โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ [3,7,8]

ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือ และที่ทำการเจือด้วย Bi โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งสารตั้งต้นแคดเมียมคลอไรด์ [$\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$] 0.6851 กรัม ไทโอยูเรีย [$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$] 0.6850 กรัม และเตรียมแอมโมเนียมปริมาตร 16.83 มิลลิลิตรและเติมน้ำธรรมดาเพื่อนำมาใส่ขามไมโครเวฟให้มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
2. ในกรณีที่เป็น $\text{CdS}:\text{Bi}$ ที่มีสัดส่วนทางเคมีของ Bi เท่ากับ 3, 5, 7, 10 และ 20 wt% ซึ่งจะสอดคล้องกับ $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 0.0154, 0.0257, 0.0360, 0.0514 และ 0.1028 กรัม ตามลำดับ
3. ละลายแคดเมียมคลอไรด์ลงในน้ำปอดประจุ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง
4. ละลายไทโอยูเรียลงในน้ำปอดประจุ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับแคดเมียมคลอไรด์
5. นำกระจกสไลด์ที่ยึดด้วยแท่งเทฟลอนใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำปอดประจุอยู่ประมาณ 150 มิลลิลิตร
6. เทสารละลายแคดเมียมคลอไรด์ 10 มิลลิลิตร ตามด้วยแอมโมเนีย และไทโอยูเรียที่เตรียมไว้ลงในบีกเกอร์ตามลำดับอย่างรวดเร็ว
7. วัดค่า pH ของสารละลายซึ่งจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 11.4 – 11.6 จากนั้นนำเข้าเตาไมโครเวฟทันที ใช้กำลังเท่ากับ 100 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาทีเป็นจำนวน 6 รอบแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงเมื่อครบ 10 นาที เมื่อเคลือบครบจำนวนรอบแล้วให้นำฟิล์มที่เคลือบได้ออกจากบีกเกอร์จะพบว่าฟิล์มบางเคลือบติดอยู่บนแผ่นกระจกสไลด์นอกจากนี้ยังมีตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์เกาะอยู่ที่ผิวหน้าของฟิล์มบางและตกตะกอนอยู่ที่ก้นของบีกเกอร์ซึ่งนำมาเทใส่ขวดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำแผ่นกระจกที่เคลือบฟิล์มบางใส่ลงในน้ำปอดคประจุ แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิกนาน 30 นาที จากนั้นเปลี่ยนน้ำปอดคประจุแล้วทำการเขย่าอีก 2 ครั้ง เป็นเวลา 30 นาทีเช่นเดียวกับครั้งแรกเพื่อขจัดตะกอนที่อยู่ผิวหน้าของฟิล์มบางออกให้หมด
9. นำน้ำที่ได้จากการเขย่าด้วยอัลตราโซนิกมากรองตะกอนออก
10. นำฟิล์มบางที่ได้มาทำการเคลือบอีก 3 ครั้ง ตามขั้นตอนที่ 1-8 หลังจากครบ แล้วนำมาเป่าให้แห้งและเก็บในถุงที่ปิดผนึกอย่างดี
11. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์
12. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปวัดการส่งผ่านแสงในช่วง 400 - 800 นาโนเมตร
13. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปวัดค่าความต้านทานแผ่น



รูปที่ 3.4 แสดงภาพถ่ายการเคลือบด้วยเตาไมโครเวฟ

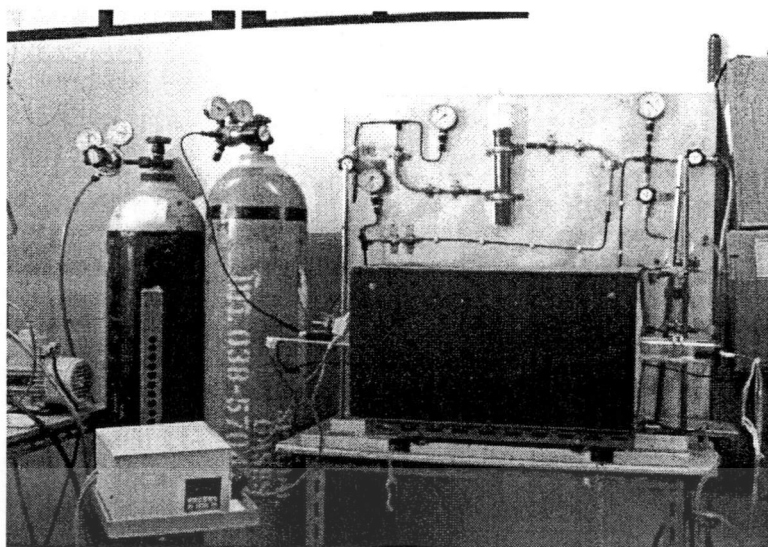
3.2.3 วิธีการแอนนีย์ล [7-9]

1. เปิดวาล์วที่ถังก๊าซไนโตรเจนก่อนให้วาล์วละเอียดอยู่ที่ 100 kPa
2. ตรวจสอบวาล์วหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ให้อยู่ในตำแหน่งปิด(บิดไปทางขวามือ)
3. เสียบปลั๊กไฟปั๊มพ์ดูดอากาศ เพื่อให้ปั๊มพ์ทำงาน ตรวจสอบสายยางระบายอากาศออกสู่ภายนอกห้อง จากนั้นจึงค่อยๆ เปิดวาล์วหมายเลข 4 ช้าๆ เพื่อทำการดูดอากาศออกแล้วจึงค่อยปิดวาล์วหมายเลข 4
4. เปิดวาล์วหมายเลข 1 ช้าๆ โดยให้สเกลใน G1 ไม่เกิน 4Psi (ไม่เช่นนั้นหลอดซิลิกาเจลจะระเบิดได้) ให้เปิดวาล์วหมายเลข 2 ต่อเนื่องทำให้สเกลใน G3 จะเพิ่มขึ้น
5. พยายามปรับวาล์วหมายเลข 1 ให้ก๊าซไนโตรเจนไหลช้าๆ โดยดูจากสเกล G3 จะเพิ่มขึ้นจนเต็มสเกล แล้วจึงปิดวาล์วหมายเลข 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการดูดอากาศออกจากท่อแก้วโดยการเปิดวาล์วหมายเลข 4 จนสเกล G3 ลดลงต่ำสุด
7. ปิดวาล์วหมายเลข 4
8. เริ่มทำ 3, 4 และ 5 ซ้ำตามลำดับ อีก 2 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มี ก๊าซออกซิเจนเหลืออยู่
9. ปิดวาล์วหมายเลข 4
10. เปิดวาล์วหมายเลข 1 และ 2 ให้แก๊สไหลเข้าในท่อแก้วจนความดันในสเกล G3 เพิ่มขึ้น เกือบเป็นศูนย์ แล้วจึงเปิดวาล์วหมายเลข 3 ปล่อยให้ฟองอากาศผุดขึ้นมาอย่างช้าๆ ส่วนสเกล G1 ต้องไม่เกิน 4Psi ซึ่งจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป
11. คอยตรวจสอบวาล์วหมายเลข 1 อย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้สเกล G1 เพิ่มขึ้นสูงเกินไป หรือ ลดต่ำลงจนเกินไป จากนั้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับเตาตามต้องการ เพื่อเป็นการรักษาอุณหภูมิของเตาให้คงที่ จะต้องใช้เซรามิกไฟเบอร์ (ceramic fiber) อดที่หัวเตาและท้ายเตา เพื่อป้องกันการไหลของอากาศเย็นเข้าไปในเตา
12. กดปุ่ม โหมด ให้ไฟขึ้นที่ปุ่ม โหมด แล้วกดปุ่มขึ้นลง เพื่อทำการปรับอุณหภูมิตามที่ต้องการ
13. ใช้เวลาแอนนีส 20 นาที เมื่อครบแล้ว ให้ปิดสวิทช์ของแหล่งจ่ายไฟ แล้วเอาเซรามิกไฟเบอร์ (ceramic fiber) ออก (ในขั้นตอนนี้ควรสวมถุงมือและหน้ากาก เพื่อความปลอดภัยจากเซรามิกไฟเบอร์ (ceramic fiber))
14. เมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 100°C ให้ทำการปิดวาล์วทุกตัวและเปิดจุกที่หัวท้ายเตาเอาสารตัวอย่างออก
15. เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ จึงเริ่มทำการจับเวลา 20 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่จะใช้ในการแอนนีส
16. ปิดสวิทช์ของแวนิแอคไปที่เลขศูนย์
17. ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ ในการแอนนีสมีค่าเท่ากับ 300°C 400°C 500°C ต้องรอให้อุณหภูมิลดลงถึง 100°C จึงจะสามารถปิดวาล์วที่บอร์ดทั้งหมดปิดวาล์วละเอียด (สีด้า) และวาล์วหยาบ
18. จากนั้นรอให้เตาเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง นำสารตัวอย่างออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงระบบเตาแอนนิลที่สามารถใช้งานได้ถึง 600 °C

3.3 ขั้นตอนการการสร้งรอยต่ออวิวิธพันธุ์ของ CdS/CdTe [17]

3.3.1 การเตรียมชั้นแคดเมียมซัลไฟด์

1. นำแผ่นกระจกสไลด์ที่เคลือบชั้นอินเดียมทินออกไซด์ตัดออกให้ได้ขนาดพื้นที่ 12×26 mm²
2. นำน้ำจากมาปิดปลายด้านใดด้านหนึ่งให้มีความกว้างประมาณ 2 mm
3. นำไปเสียบภาชนะเทปลอน โดยมีแท่งแก้วยึดเทปลอน
4. ติดตั้งเตาให้ความร้อน โดยวางอ่างบรรจุน้ำและให้ความร้อนคงที่ประมาณ 85 องศาเซลเซียส
5. นำบีกเกอร์ขนาด 200 ml ที่มีน้ำปลอดประจุบรรจุอยู่ 100 ml และแท่งแมกเนติกบาร์
6. ปรับความเร็วในการหมุนของแท่งแมกเนติกบาร์ให้ได้ความเร็วช้าที่สุด
7. เมื่ออุณหภูมิของน้ำปลอดประจุที่มีอุณหภูมิคงที่ 80 องศาเซลเซียส นำแผ่นรองรับไปจุ่มลงในบีกเกอร์โดยมีสแตนยัดเอาไว้และไม่ให้แท่งแก้วสัมผัสกับแมกเนติกบาร์
8. ชั่งสารตั้งต้นแคดเมียมคลอไรด์ [CdCl₂·2.5H₂O] 0.6851 กรัม ไทโอยูเรีย[SC(NH₂)₂] 0.6850 กรัม และเตรียมแอมโมเนียมปริมาตร 16.83 มิลลิลิตรและตั้งน้ำธรรมดาเพื่อนำมาใส่ขามไมโครเวฟให้มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
9. ทำตามขั้นตอนที่ 3-8 ในหัวข้อ 3.2.2
10. นำตัวอย่างถอดหน้ากากออกทำให้แห้งด้วยไดร์เป่าลมร้อนเมื่อตัวอย่างแห้งดีแล้วบรรจุในถุงซิปล็อกไว้ในโถดักความชื้นเตรียมเคลือบชั้นแคดเมียมเทลลูไรด์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมชั้นแคดเมียมเทลลูไรด์เคลือบบนชั้นแคดเมียมซัลไฟด์

1. นำกล่องแกรไฟต์ทำความสะอาดด้วยอะซิโตน
2. นำกล่องแกรไฟต์ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยอะซิโตนแล้วไปแอลนีลภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
3. ชั่งสารแคดเมียมเทลลูไรด์ 0.05 กรัม บรรจุลงในกล่องแกรไฟต์
4. นำตัวอย่างที่ผ่านการอบสารละลายเคมีแล้วมาปิดตรงช่องใส่สารแคดเมียมเทลลูไรด์
5. นำฝากล่องแกรไฟต์ประกบกันให้แน่น
6. นำกล่องแกรไฟต์เข้าสู่กระบวนการระเหิดสารในระยะประชิด
7. ทำการลดความดันโดยใช้เครื่องโรตารีปั๊มให้ได้ความดันที่ประมาณ 3×10^{-2} มิลลิบาร์
8. ทำการระเหิดสารแคดเมียมเทลลูไรด์ โดยควบคุมอุณหภูมิสารตั้งต้น 550 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ฐานรองรับ 450 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ปล่อยให้เย็นแล้วนำตัวอย่างรอยต่อวิวิธพันธุ์ไปสร้างขั้วไฟฟ้า



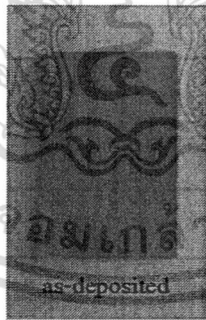
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ทั้งที่ไม่ได้เจือและที่เจือด้วย Bi ที่เตรียมได้โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

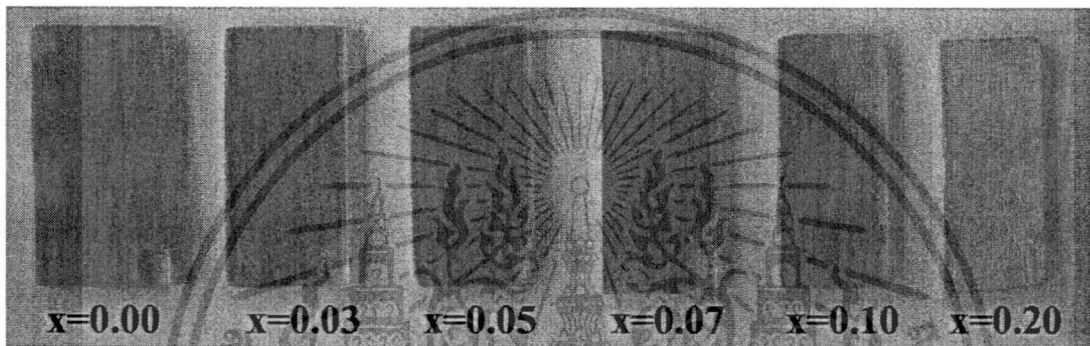
จากการสังเกตการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ พบว่าฟิล์มที่ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สังเกตได้จากสีของสารละลายในบีกเกอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทันทีหลังจากเติมไทโอยูเรียลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายของเกลือแคดเมียมซัลเฟต โดยสารละลายจะปรากฏสีขาวขุ่นแล้วเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนและสีเหลืองเข้มอย่างรวดเร็วโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 20 วินาทีโดยใช้คลื่นไมโครเวฟในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 60 นาที จึงนำฟิล์มบางขึ้นจากสารละลาย พบว่ามีอนุภาคแคดเมียมซัลไฟด์บางส่วนที่จับตัวเป็นตะกอนเกาะอยู่ที่ผิวของฟิล์มบางเป็นจำนวนมากแต่หลังจากเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิกแล้วเป่าให้แห้งด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์จะสังเกตเห็นว่าฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้ มีความเรียบสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น มีสีเหลืองส้ม มันวาว แสดงไว้ดังรูป 4.1 ซึ่งพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ CdS ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีของผลงานของผู้วิจัยที่ได้รับการเผยแพร่มาแล้ว [7,8]



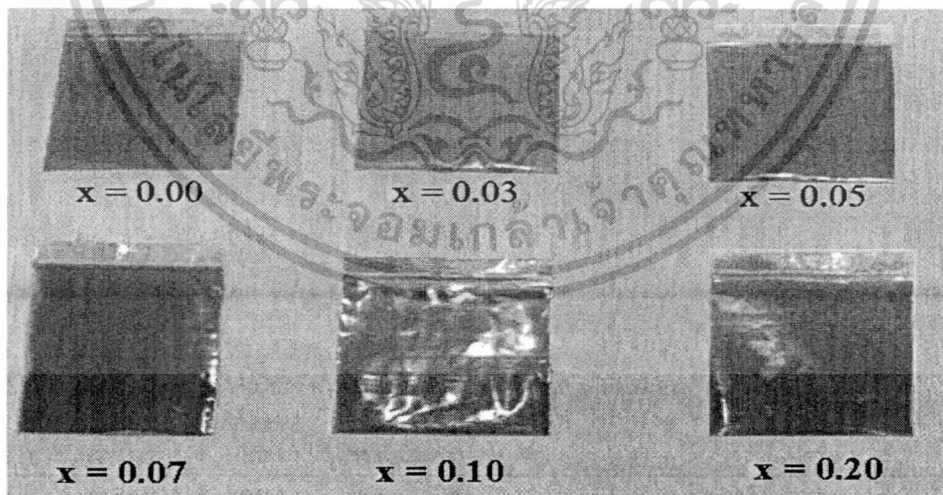
รูปที่ 4.1 แสดงฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมจากสารตั้งต้นเป็นผลึกผงที่มีความบริสุทธิ์สูง(99.999%) โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีส

4.1.1 ฟิล์มบาง CdS:Bi ที่เตรียมด้วยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

จากการสังเกตการเตรียมฟิล์มบาง CdS:Bi พบว่าฟิล์มบาง CdS:Bi เกิดปฏิกิริยา โสโมจีเนซิสที่ค่อนข้างเร็ว ซึ่งสามารถสังเกตได้จากสีสารละลายจะเปลี่ยนจากสีขาวขุ่นไปเป็นสีเหลืองส้ม ในระยะเวลาประมาณ 10-15 วินาที โดยลักษณะของฟิล์มบางที่เคลือบติดกระจกสไลด์จะมีความคงตัวดีอยู่เมื่อนำไปเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิก แล้วเป่าให้แห้งด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์ สังเกตเห็นได้ว่าฟิล์มบางมีลักษณะผิวหน้าที่เรียบเป็นเนื้อเดียวกันสม่ำเสมอ มีความหนา และมีความมันวาว จากนั้นนำเอาฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของBi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

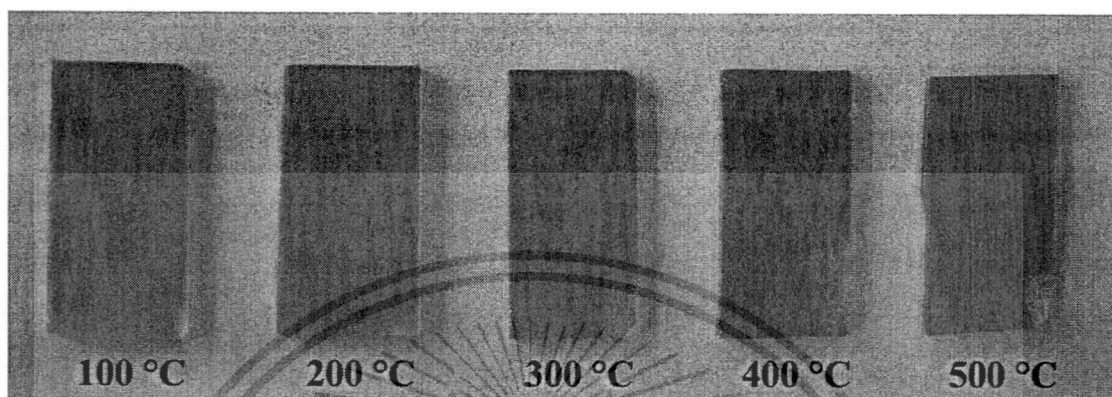


รูปที่ 4.3 แสดงผงตะกอน CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมได้จากวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

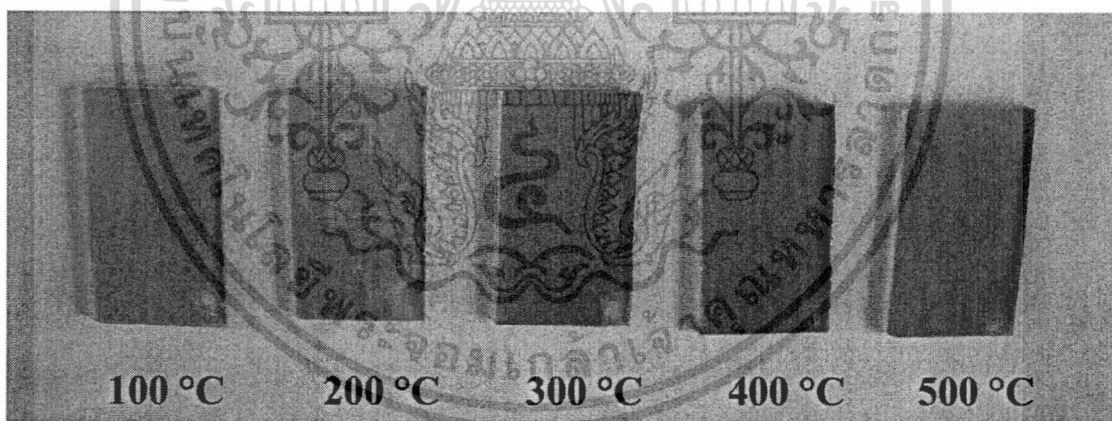
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 फिल्मบาง CdS:Bi เมื่อแอนนिलที่อุณหภูมิต่างๆ

แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ที่แอนนिलที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นฟิล์มบางจะมีสีเหลืองส้มและมีความเป็นมันวาวลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิแอนนिल 300 °C



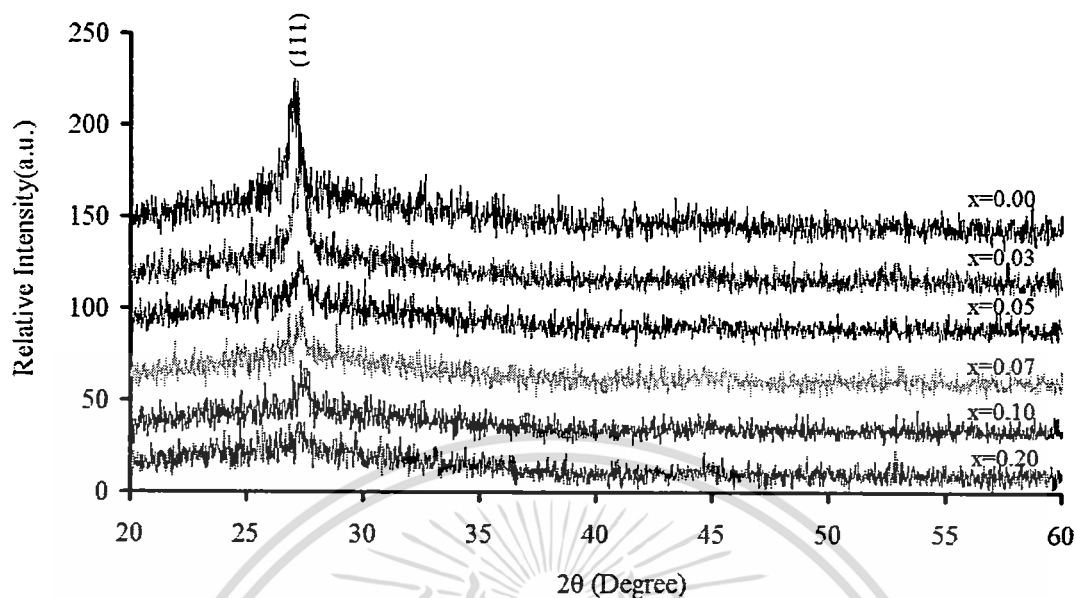
รูปที่ 4.4 แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อมีการแอนนिलที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 4.5 แสดงฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อมีการแอนนिलที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาสมบัติการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์



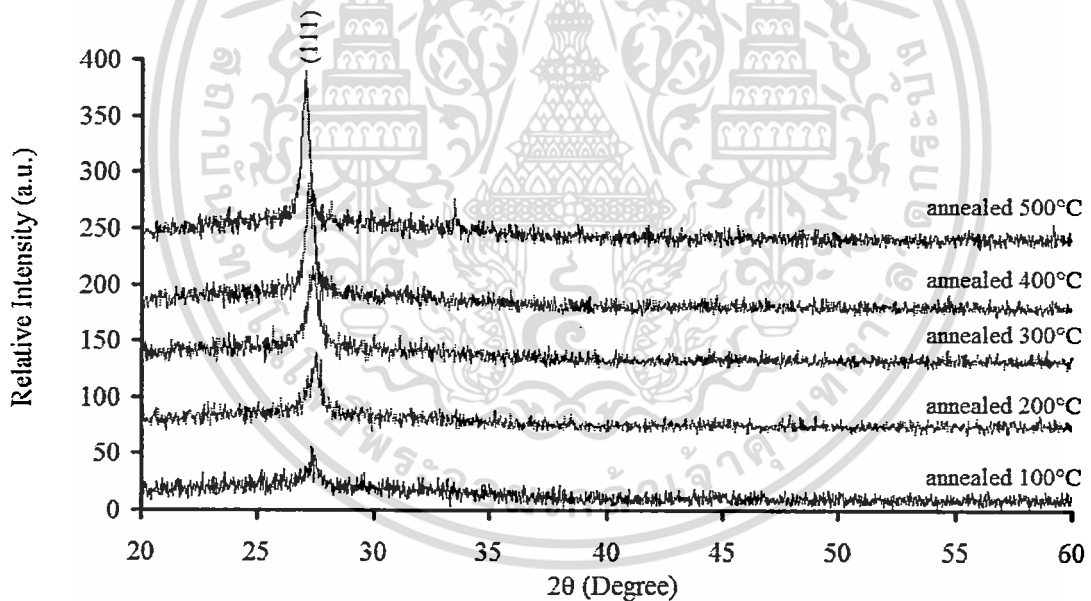
รูปที่ 4.6 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ ที่เตรียมโดยวิธีออบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีก

จากรูปที่ 4.6 ที่แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS:Bi จะเห็นว่าความเข้มข้นของฟิคยิ่งมีการเจือ Bi ในปริมาณมากขึ้นเท่าใด ความเข้มของฟิคก็จะลดลง โดยมีทิศทางการจัดเรียงตัวในระนาบ (111) ทุกปริมาณการเจือ

จากการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ แสดงให้เห็นว่าฟิล์มบาง CdS นั้นเป็นโครงสร้างแบบคิวบิก (ซิงค์เบลนด์) ไม่ว่าจะมียปริมาณการเจือด้วย Bi เท่าใดก็ตาม

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆ ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผง CdS ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีส

Composition (x) of Bi	Lattice Constant (Å)	Grain Size (nm)
0.00	5.664	20.06
0.03	5.710	18.11
0.05	5.669	15.37
0.07	5.644	15.22
0.10	5.646	14.81
0.20	5.649	14.68

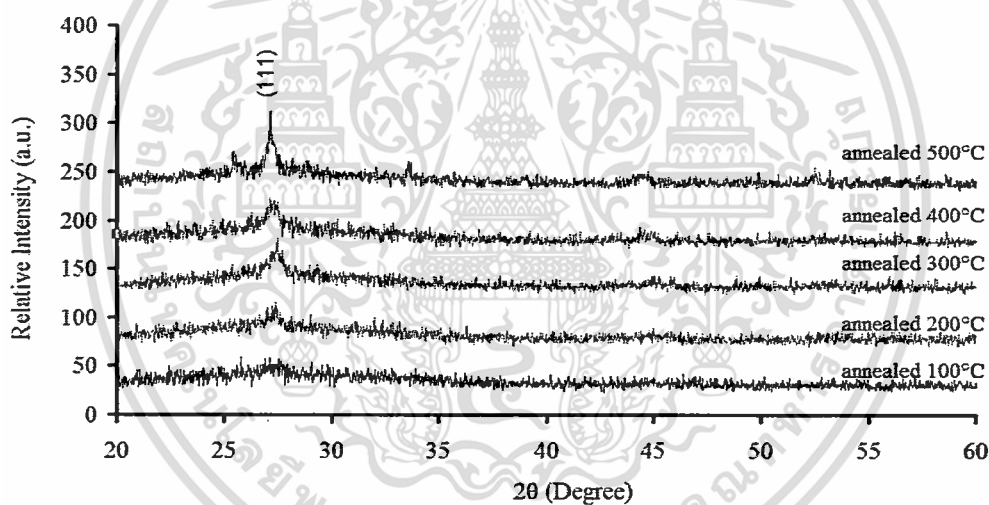


รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS : Bi (x = 0.00) เมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสและเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

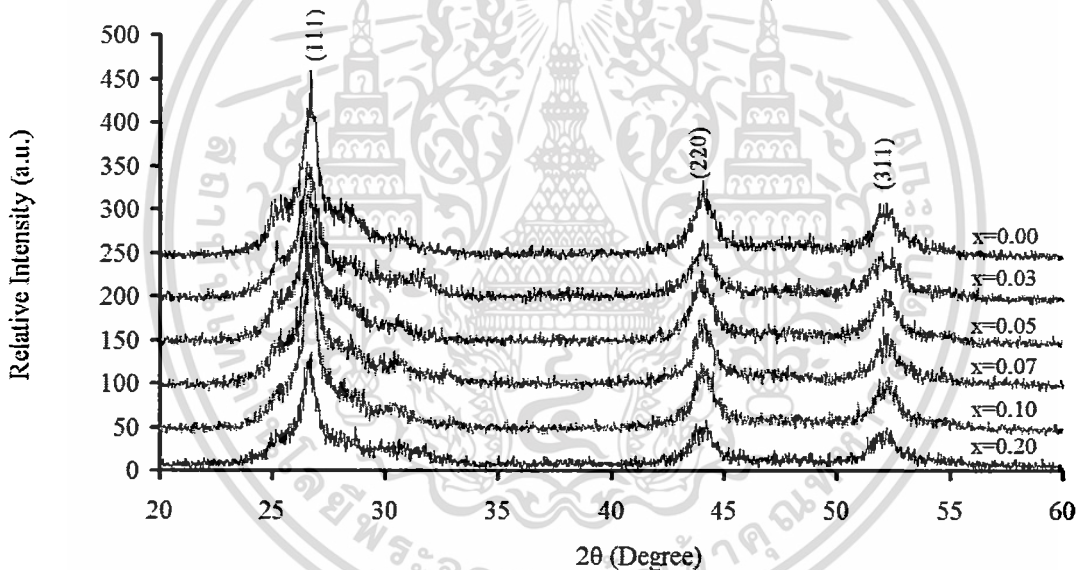
Annealing Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Lattice Constant (\AA)	Grain Size (nm)
As-deposited	5.71	18.00
100	5.65	10.80
200	5.65	10.20
300	5.65	14.00
400	5.68	22.22
500	5.71	27.25



รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS : Bi ($x = 0.07$) เมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคงที่ของผลึก ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi (x = 0.07) ในกรณี
 ที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผง CdS เมื่อไม่มีการแอนนีกัล และเมื่อมีการแอนนีกัลที่
 อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา
 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	Lattice Constant (Å)	Grain Size (nm)
100	5.638	12.85
200	5.617	15.30
300	5.623	16.94
400	5.695	23.10
500	5.575	39.76

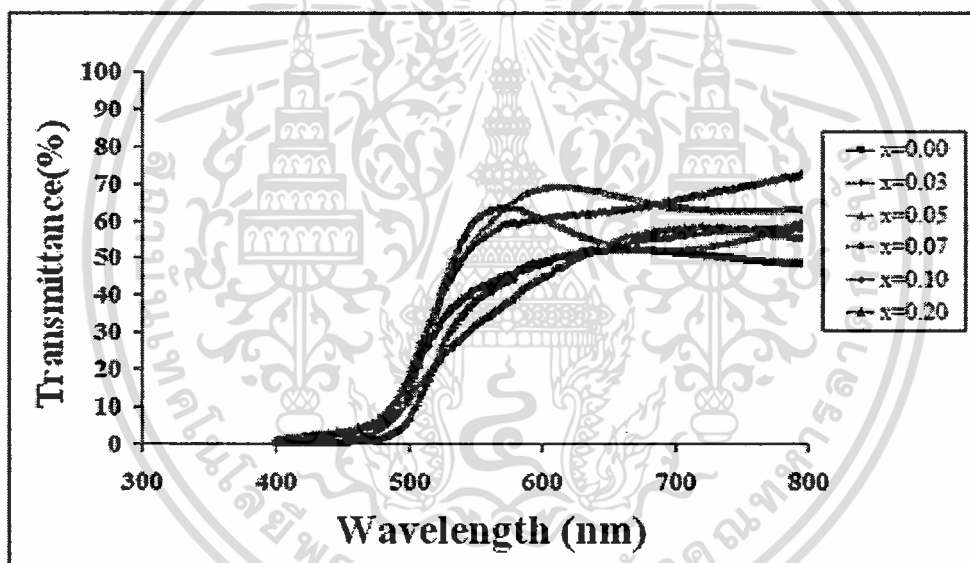


รูปที่ 4.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผงตะกอน CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x)
 ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมได้จากวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าคงที่ของผลึก, ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกผง CdS ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

Composition (x) of Bi	Lattice Constant (Å)	Grain Size (nm)
0.00	5.817	21.96
0.03	5.812	19.72
0.05	5.811	19.63
0.07	5.797	18.30
0.10	5.799	17.77
0.20	5.809	17.10

4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง

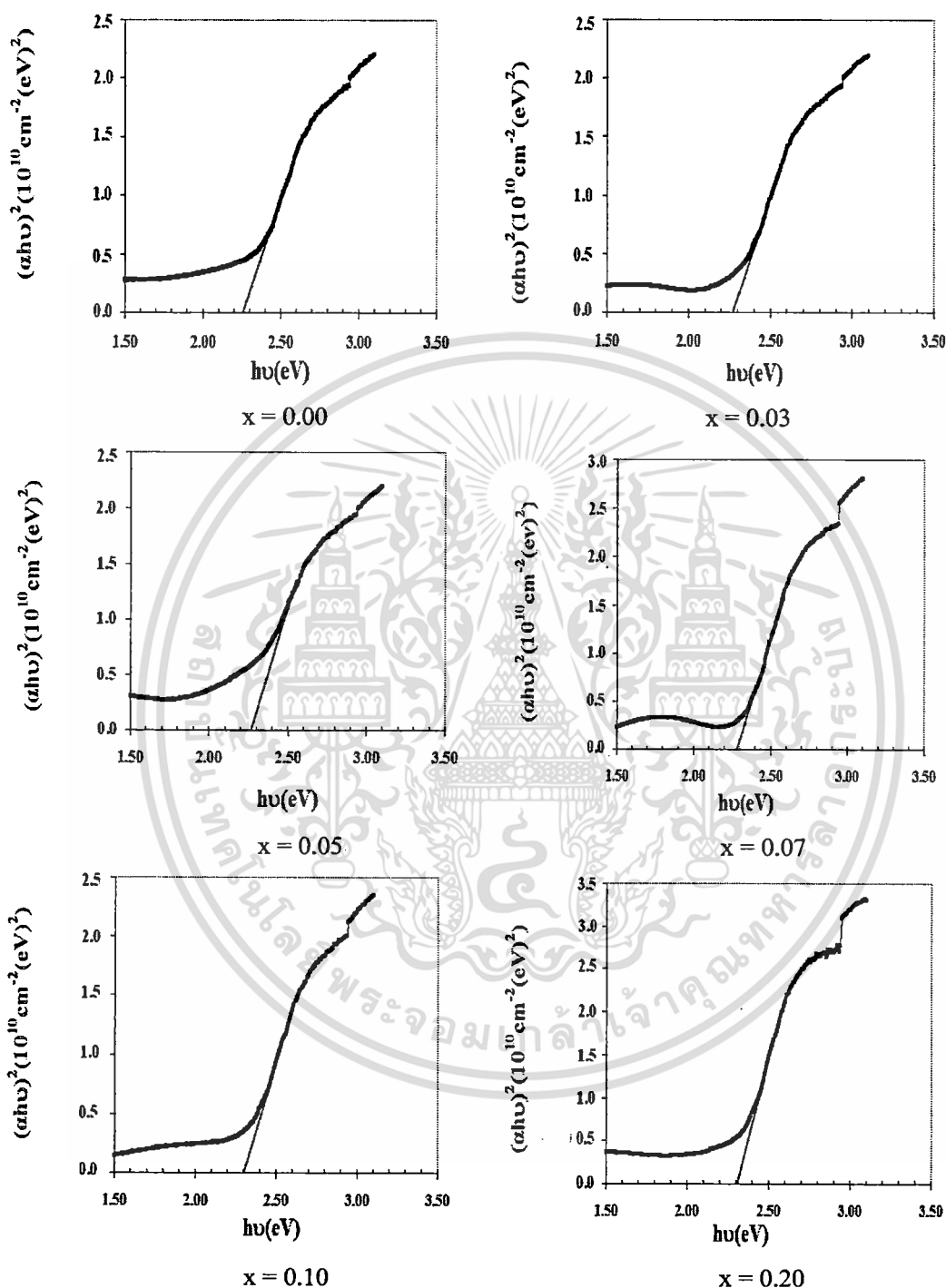


รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS: Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

จากรูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS ที่มีการเจือของธาตุ Bi โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ชนิดดับเบิลบีม ยี่ห้อ Heλiosα โดยเลือกใช้ช่วงความยาวคลื่นที่ 400-1000 นาโนเมตร จะพบว่าฟิล์มที่เจือไนซ์ต่างๆจะยอมให้แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 500 นาโนเมตร โดยประมาณ

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงานโดยทำการลากเส้นตรงการประมาณค่า (approximation) ของกราฟส่วนที่เป็นเชิงเส้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปตัดกับแกนพลังงาน โฟตอน จุดตัดที่ได้คือค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง ดังรูปที่ 4.11 จะเห็นว่า CdS:Bi มีโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงและค่าช่องว่างแถบพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนผสมของ Bi มากขึ้นแสดงตารางที่ 4.5

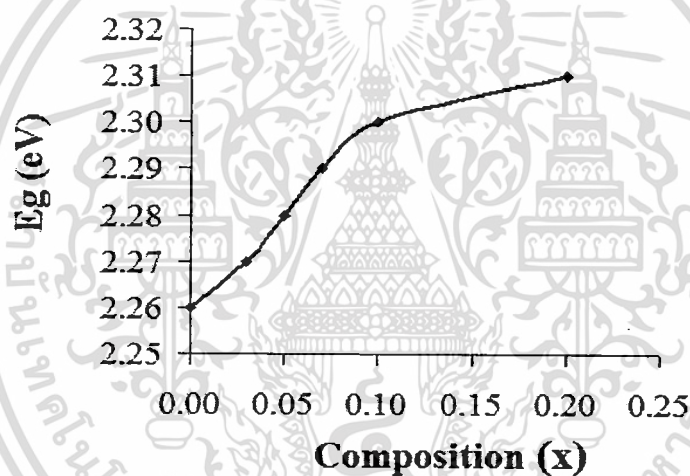


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

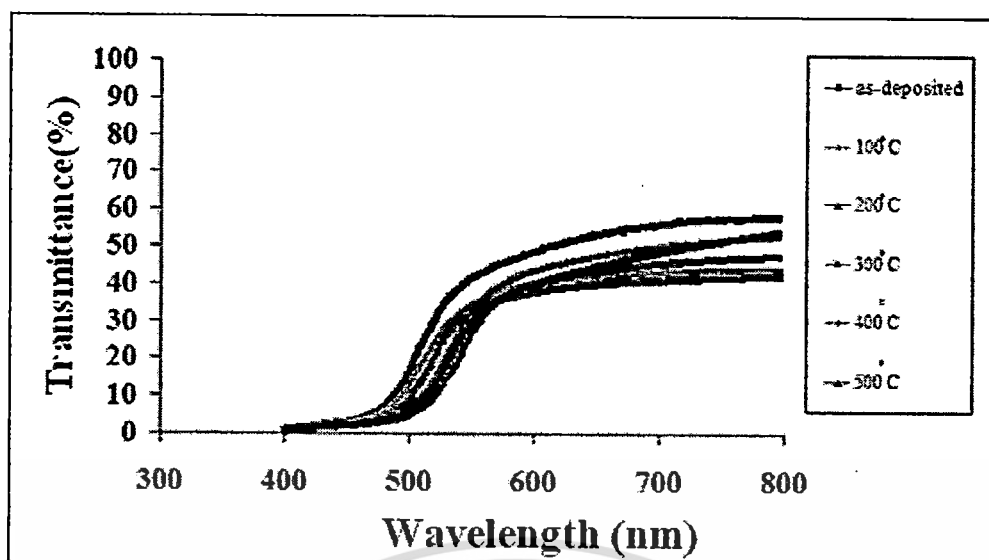
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีก

Composition (x) of Bi	E_g (eV)
0.00	2.26
0.03	2.27
0.05	2.28
0.07	2.29
0.10	2.30
0.20	2.31

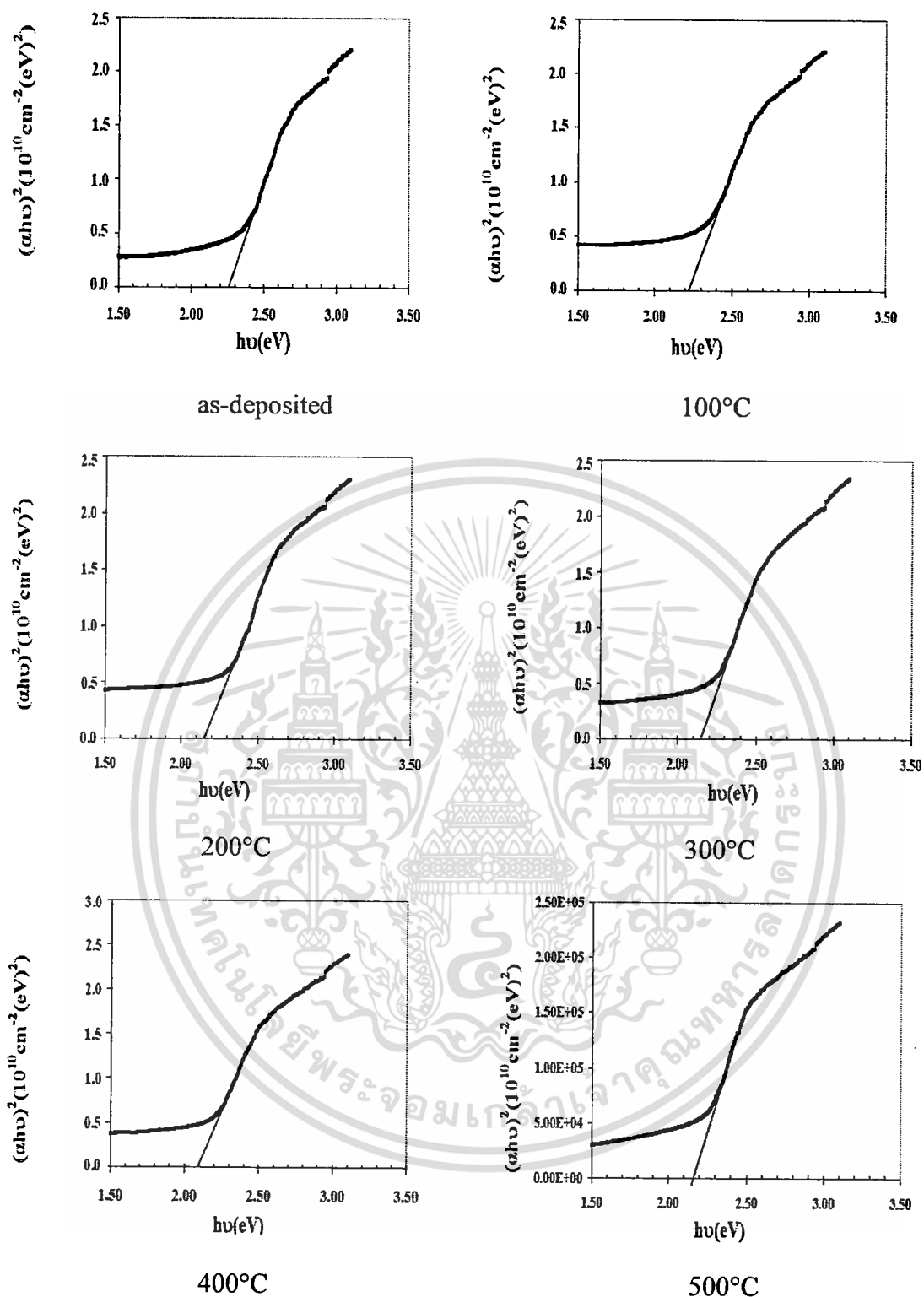


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีก



รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัลและเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่มีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงานดังรูปที่ 4.14

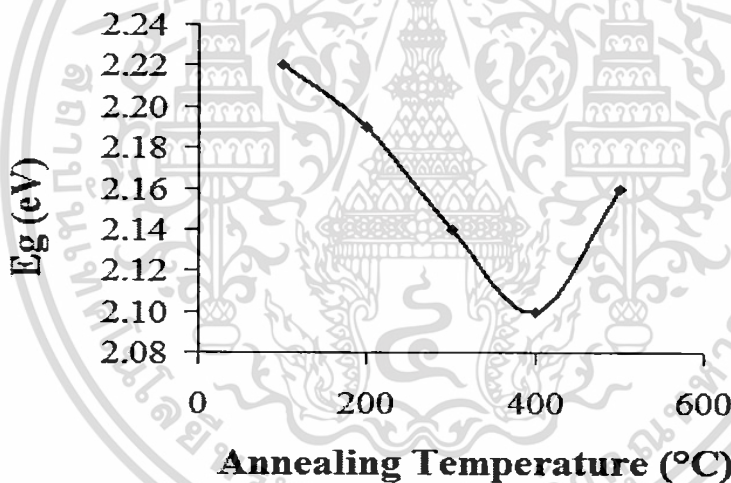


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเวลา 20 นาที

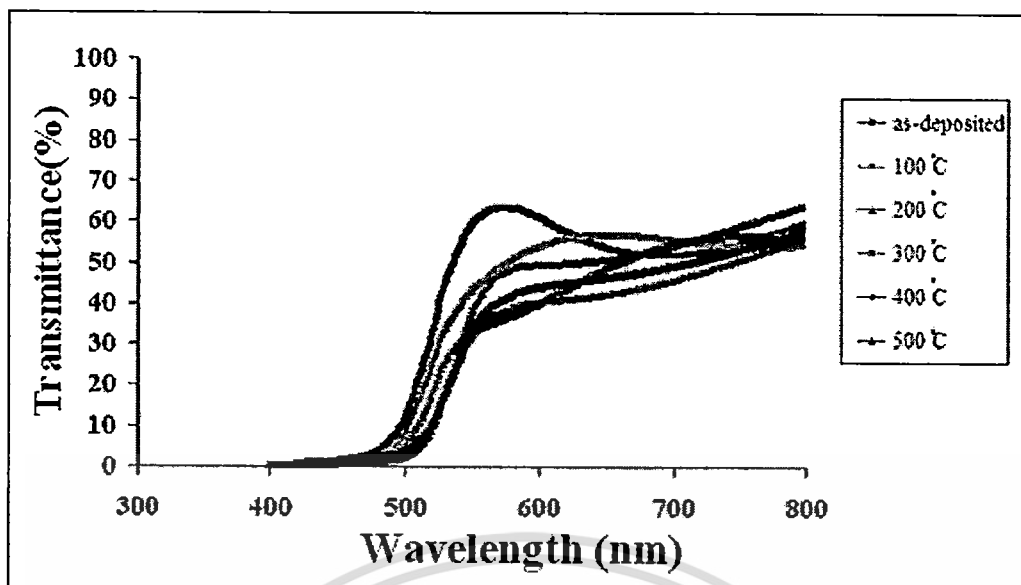
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกและเมื่อมีการแอนนีกที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	E_g (eV)
As-deposited	2.26
100	2.22
200	2.19
300	2.14
400	2.10
500	2.16



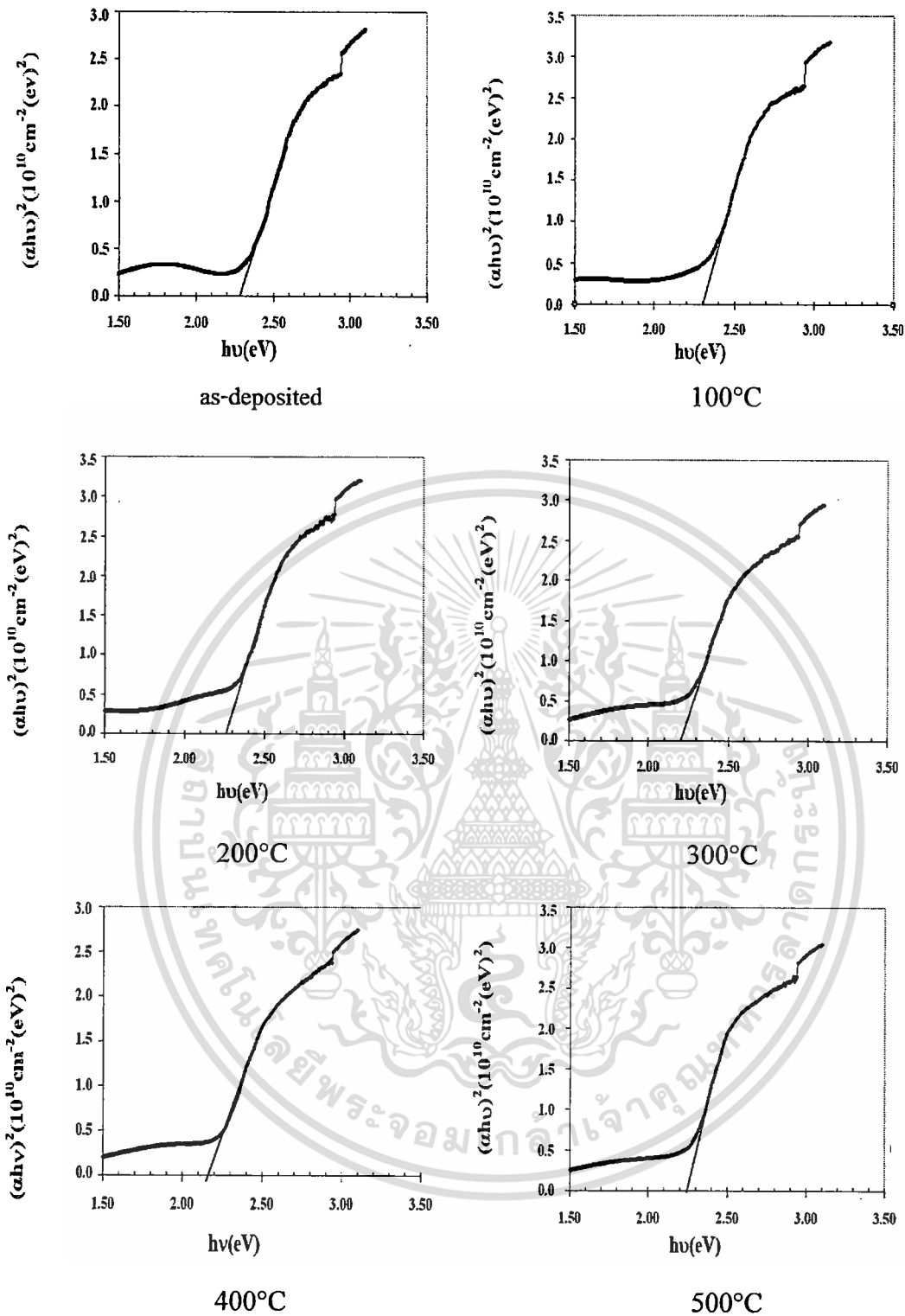
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีก และเมื่อมีการแอนนีกที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนیل และเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) จะได้ดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

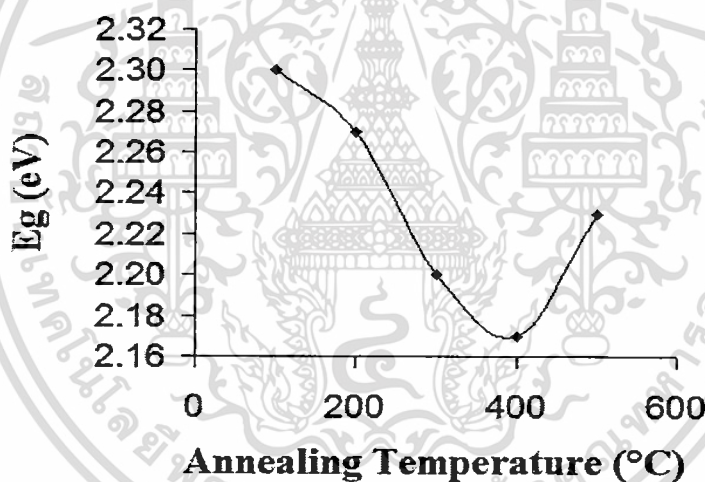


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัล และเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสและเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	E_g (eV)
As-deposited	2.29
100	2.30
200	2.27
300	2.20
400	2.17
500	2.23



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสและเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

4.4 ผลการศึกษาค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง

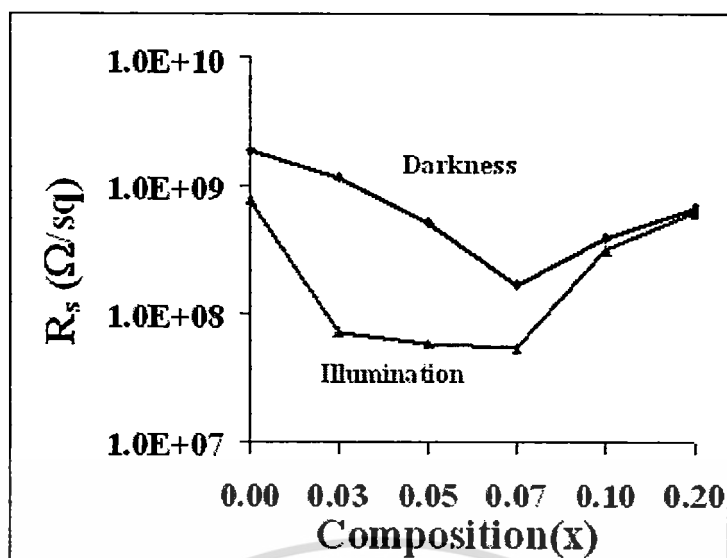
จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่ทำการแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 100-500°C ขณะที่ไม่มีการฉายแสงและฉายแสงซึ่งจะพบว่าผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.3 และรูปที่ 5.3 ถึงรูปที่ 5.4 กล่าวคือ เมื่อทำการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 °C จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ขนาดเกรนของฟิล์มบางมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งทำให้ขอบเขตของเกรนมีค่าลดลง กระแสจึงไหลได้มากขึ้นจึงทำให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 300 °C ค่าความต้านทานแผ่นจะขึ้นกับสัดส่วนทางเคมีเป็นสำคัญ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิการแอนนัลสูงขึ้นสัดส่วนทางเคมีระหว่าง Cd:S จะเข้าใกล้ 1:1 จึงทำให้โครงผลึกมีความสมบูรณ์มากขึ้นดังนั้นความต้านทานแผ่นจึงเพิ่มขึ้นซึ่งพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของผู้อื่นที่ผ่านการตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้ว (Dona and Herrero, 1995)

ในการทดลองนั้นจะพบว่าในการทดลองฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟนั้นเมื่อทำการวัดความต้านทานแผ่นจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณการเจือ Bi เพิ่มขึ้นเรื่อยๆความต้านทานก็จะลดลงเรื่อยๆจนถึงปริมาณของ Bi (x=0.07) นั้นมีความต้านทานแผ่นต่ำที่สุดแต่หลังจากนั้นค่าความต้านทานแผ่นก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆซึ่งเป็นเช่นเดียวกันทั้งกรณีที่ฉายแสงและไม่ฉายแสงซึ่งเป็นไปดังรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆ โดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล

Composition (x) of Bi	Sheet Resistance (Ω /sq)	
	Darkness	Illumination
0.00	1.89E+09	7.64E+08
0.03	1.14E+09	7.22E+07
0.05	5.08E+08	5.79E+07
0.07	1.66E+08	5.33E+07
0.10	3.87E+08	3.08E+08
0.20	6.58E+08	6.15E+08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



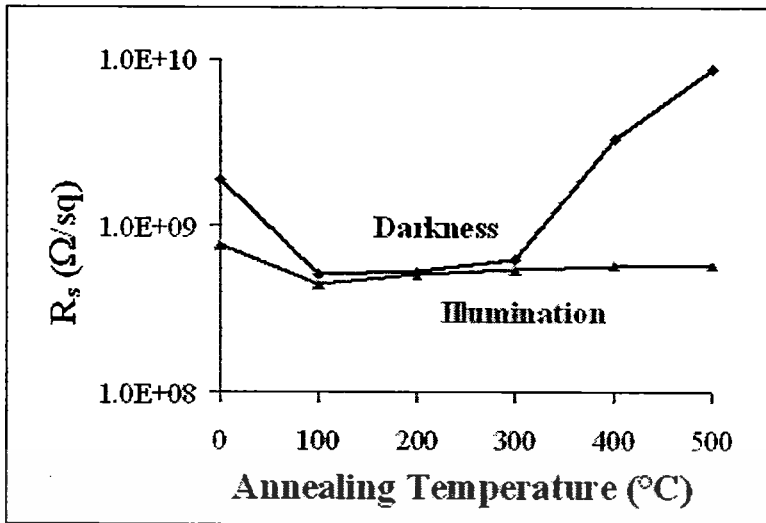
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่น (R_s) กับสัดส่วนผสมทางเคมีของสารเจือ(x) ในฟิล์มบาง CdS:Bi ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนีส

ในกรณีของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสและ เมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเวลา 20 นาทีนั้นค่าความต้านทานจะต่ำในช่วงอุณหภูมิ 100-300°C ซึ่งเป็นไป ดังรูป 4.20

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีส และเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	Sheet Resistance (Ω /sq)	
	Darkness	Illumination
As-deposited	1.89E+09	7.64E+08
100	5.02E+08	4.42E+08
200	5.34E+08	5.07E+08
300	6.32E+08	5.44E+08
400	3.30E+09	5.74E+08
500	8.56E+09	5.78E+08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

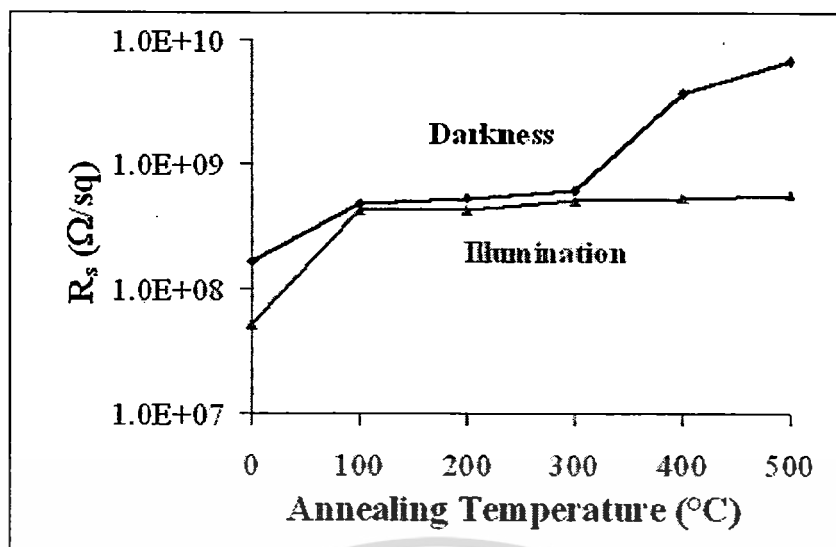


รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนัลของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัล และเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัล และเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

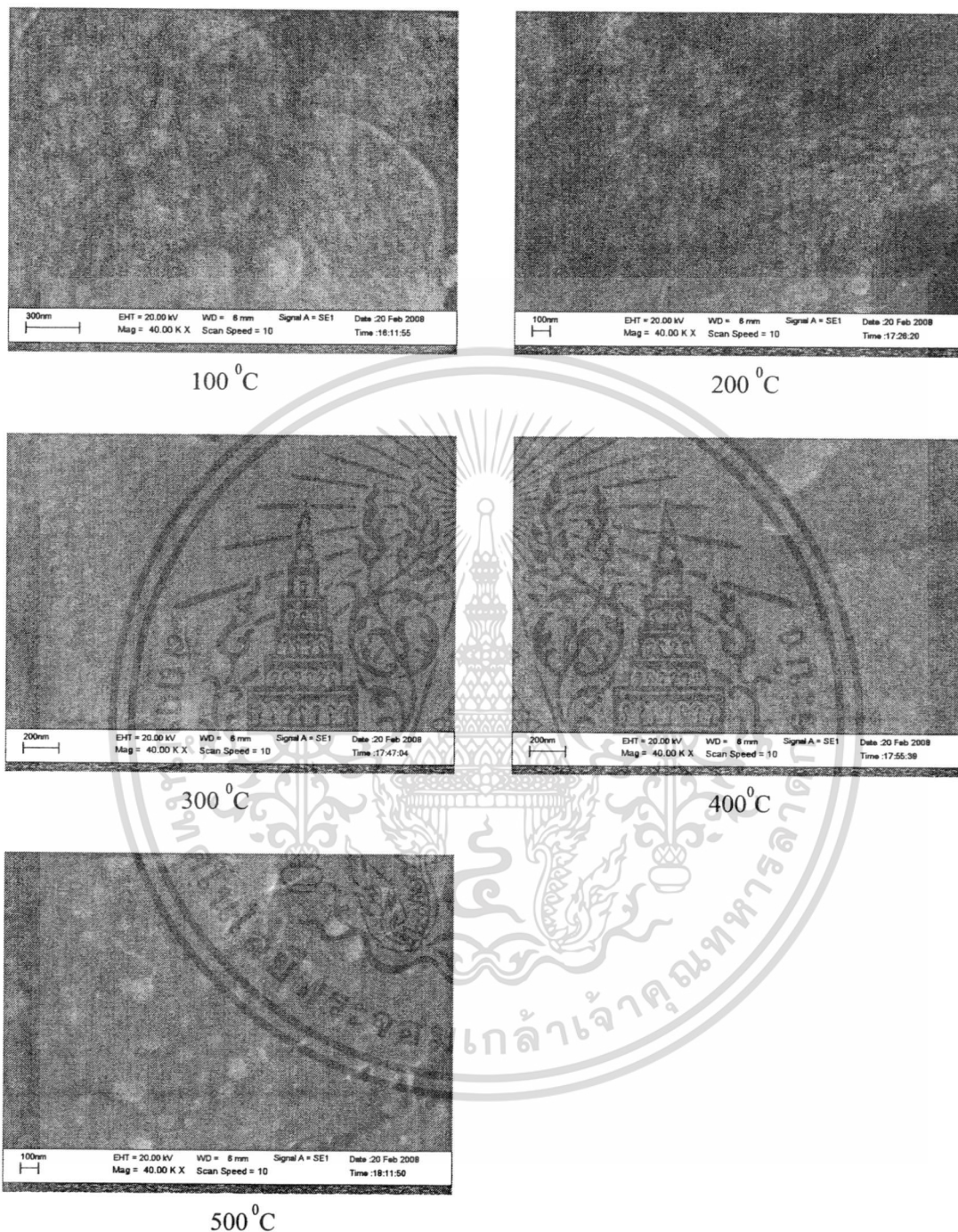
Annealing Temperature (°C)	Sheet Resistance (Ω /sq)	
	Darkness	Illumination
As-deposited	1.66E+08	5.33E+07
100	4.85E+08	4.24E+08
200	5.30E+08	4.25E+08
300	6.22E+08	5.10E+08
400	3.73E+09	5.38E+08
500	6.90E+09	5.70E+08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



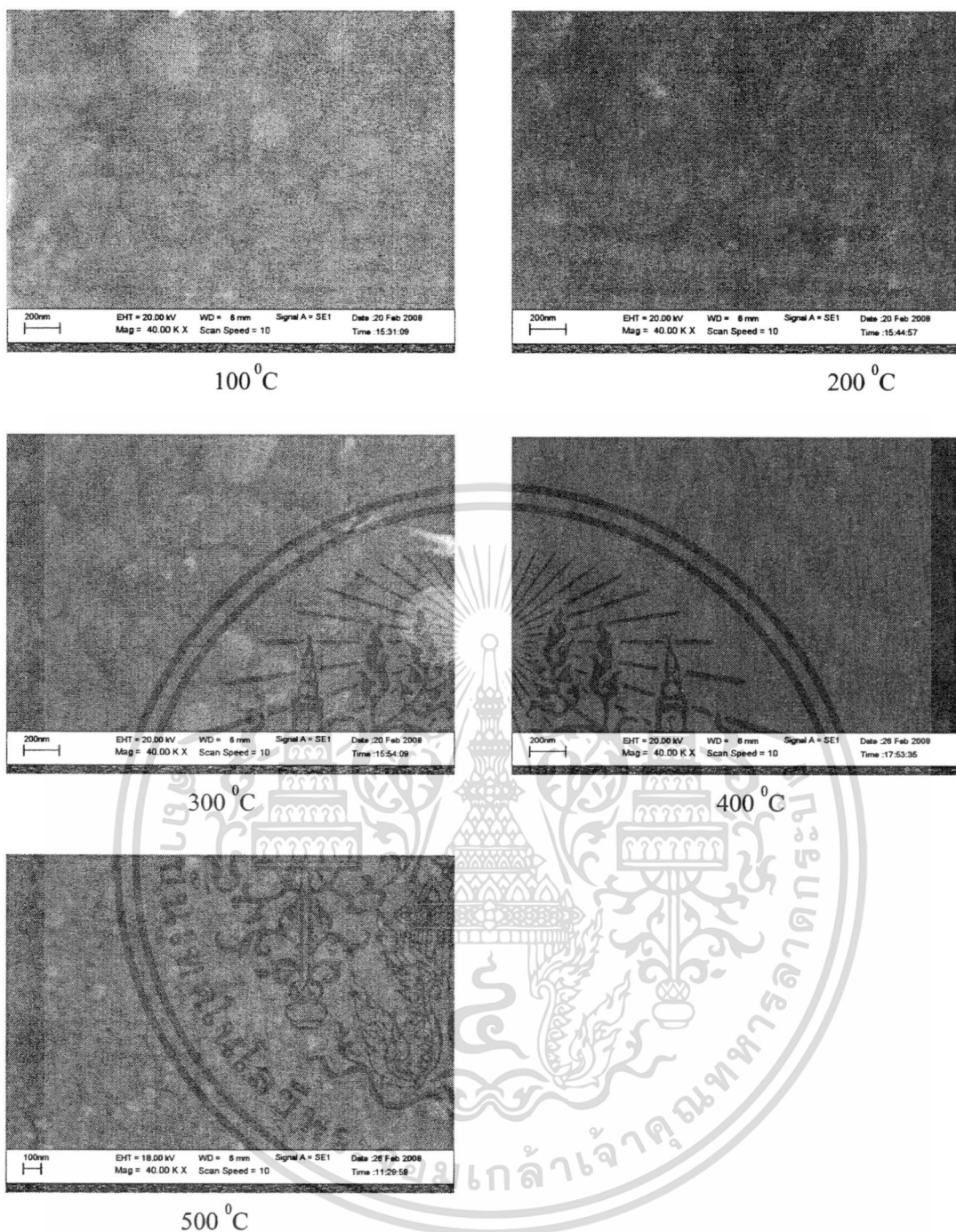
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนัลของฟิล์มบาง CdS:Bi(x = 0.00) เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เมื่อไม่มีการแอนนัล และเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

4.5 ผลการศึกษาลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบางและขนาดของเกรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมได้โดยวิธีอบสารละลายทางเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500⁰C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.07$) ที่เตรียมได้โดยวิธีอบสารละลาย เคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500⁰C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

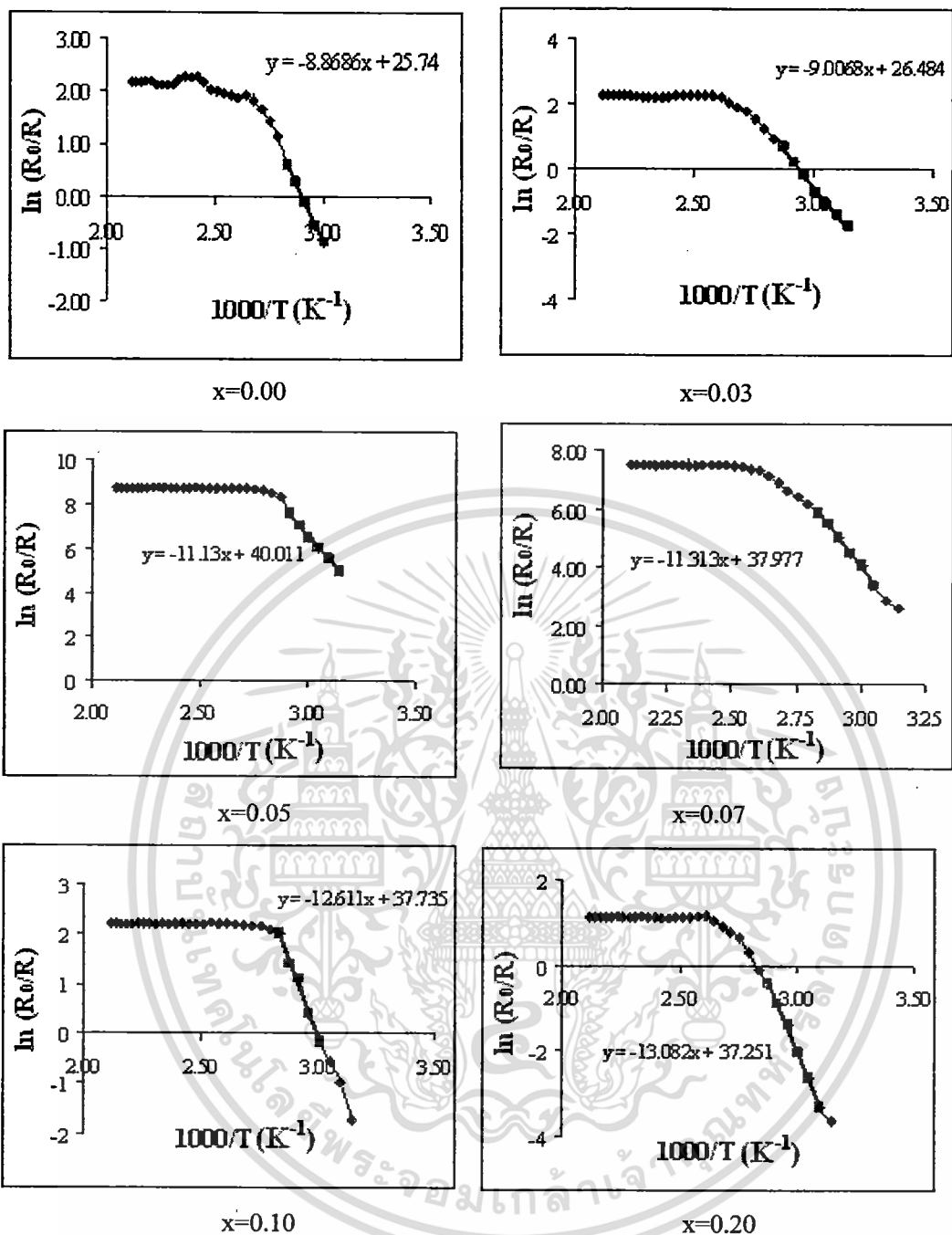
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิเพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้น

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม(x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่น ไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีกัล

Composition (x)	Activation Energy (meV)
0.00	765
0.03	777
0.05	960
0.07	976
0.10	1090
0.20	1130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

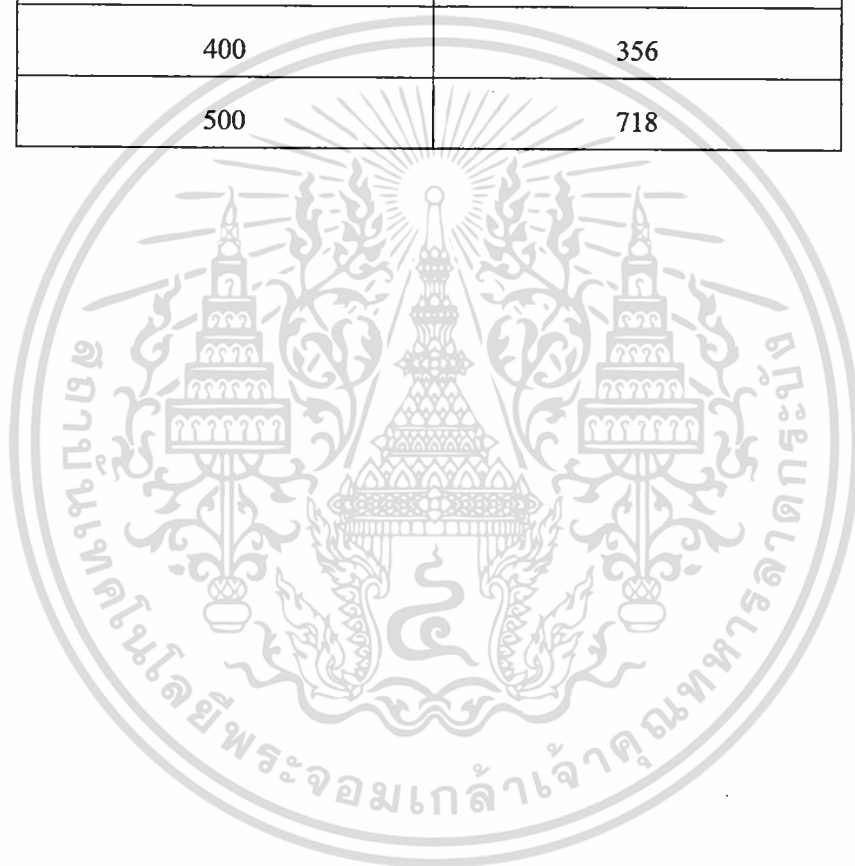


รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ $\ln(R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K^{-1}) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ที่มีอัตราส่วนผสม (x) ของ Bi ค่าต่างๆที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีก

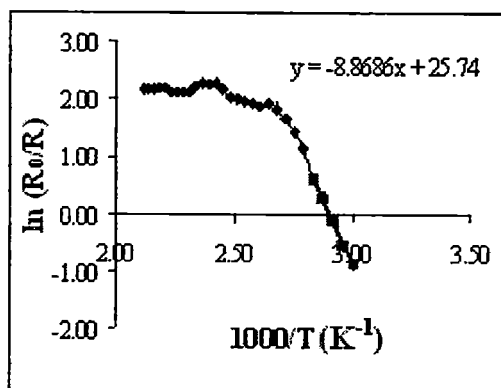
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x = 0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อทำการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 -500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

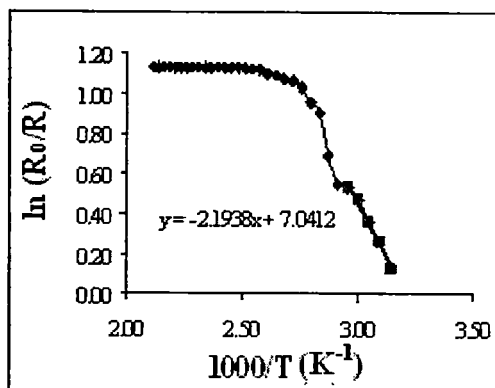
Annealing Temperature (°C)	Activation Energy (meV)
100	14
200	19
300	230
400	356
500	718



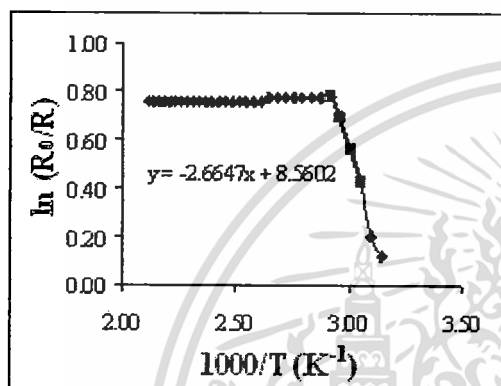
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



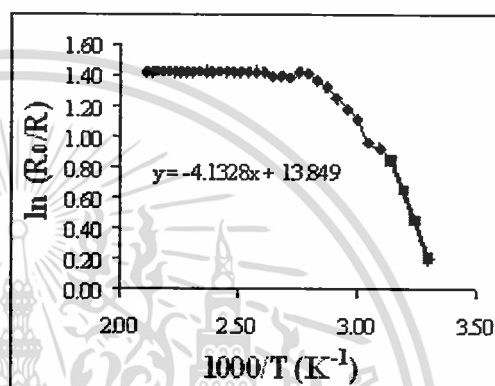
As-deposited



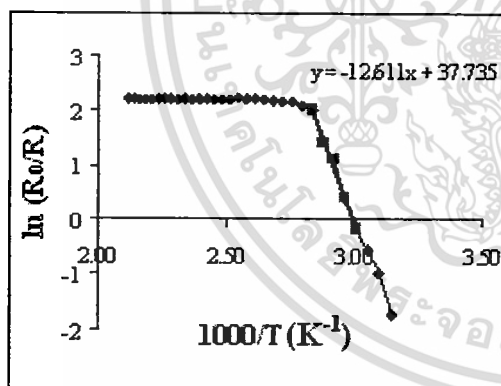
100°C



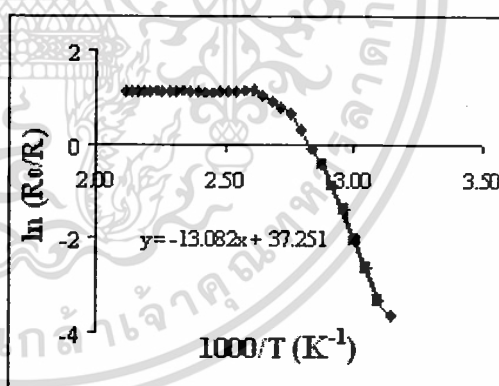
200°C



300°C



400°C



500°C

รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ $\ln(R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K^{-1}) ของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.00$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนีสล และเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

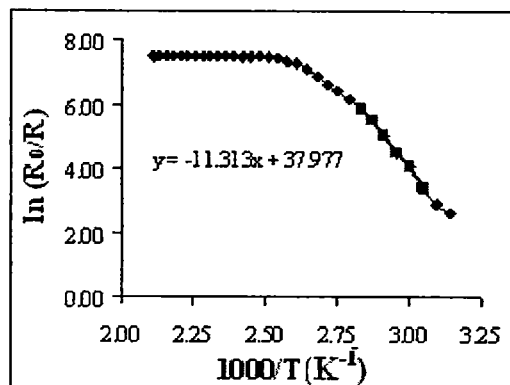
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบาง CdS:Bi ($x=0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อทำการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 -500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

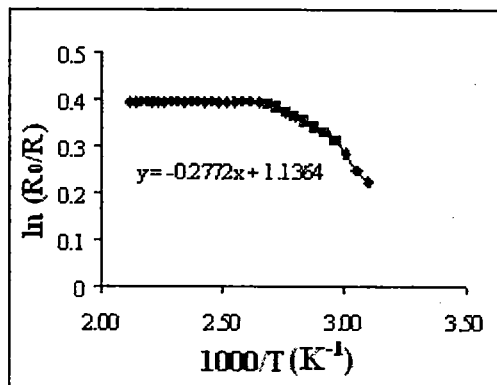
Annealing Temperature (°C)	Activation Energy (meV)
100	48.90
200	62.10
300	74.30
400	147.00
500	222.00



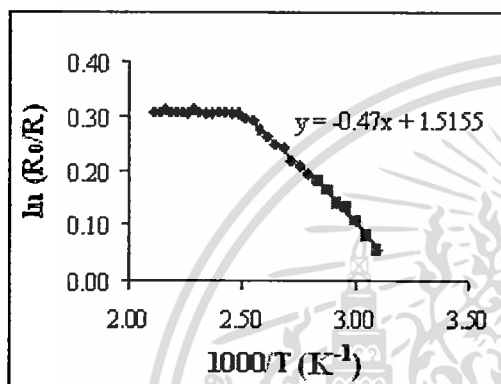
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



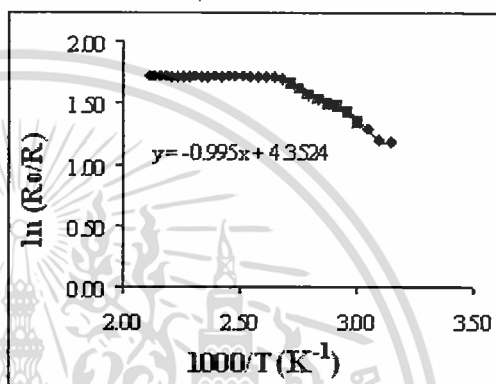
As-deposited



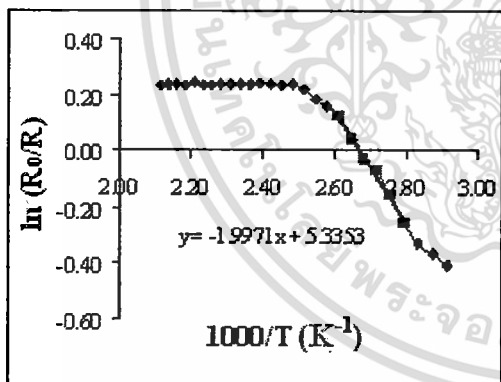
100°C



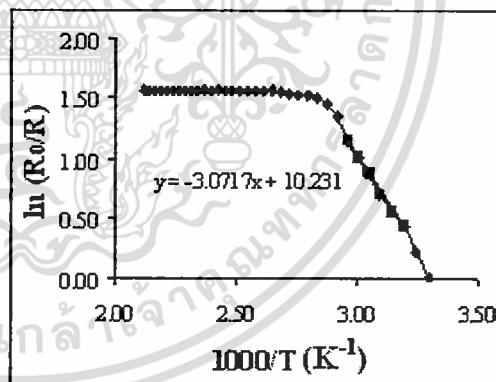
200°C



300°C



400°C



500°C

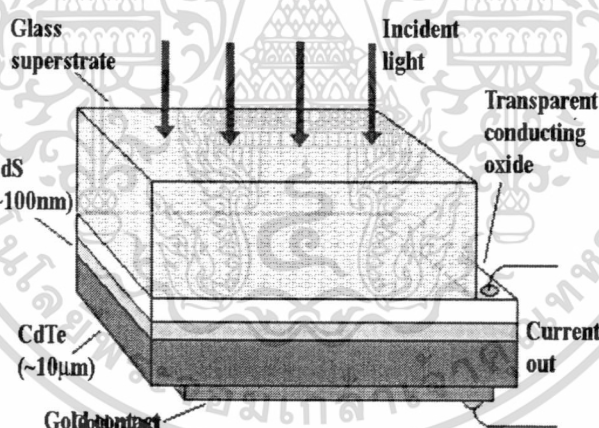
รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ $\ln(R_0/R)$ กับ $1000/T$ (K^{-1}) ของฟิล์มบาง $CdS:Bi$ ($x = 0.07$) ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟเมื่อไม่มีการแอนนัล และเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 รอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe

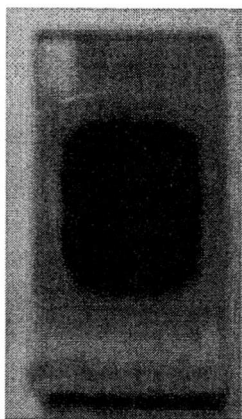
ได้มีการเตรียมรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe ลงบนชั้นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง(อินเดียมทินออกไซด์) ให้มีโครงสร้างดังรูปที่ 4.27 โดยเคลือบชั้นของแคดเมียมซัลไฟด์ CdS ก่อนโดยวิธีอบสารละลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟ จากนั้นเคลือบชั้นแคดเมียมเทลลูไรด์ CdTe โดยวิธีการระเหิดสารในระยะประชิด (CSS) ซึ่งมีลักษณะสีเทาดำผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอ เกาะติดบนฐานรองรับได้ดี โดยไม่หลุดร่อนง่ายโดยใช้อุณหภูมิแก่สารตั้งต้นเท่ากับ 550°C อุณหภูมิฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์เท่ากับ 450°C โดยเล็กระยะห่างระหว่างสารตั้งต้นถึงฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ที่ระยะ 4 mm ดังรูปที่ 4.28

ทำการวัดกระแส-แรงดันไฟฟ้าของรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe ภายใต้การฉายแสงด้วยความเข้ม 100 mW/cm^2 ดังปรากฏในรูปที่ 4.29 พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสสูงสุด (J_{sc}) ค่าแรงดันวงจรเปิด ค่าฟิลแฟกเตอร์ (F.F.) และค่าประสิทธิภาพ (η) ความต้านทานอนุกรมและความต้านทานชันท์แสดงดังตารางที่ 4.14 และทำการวัดค่าความจุขณะไม่มีการฉายแสงที่อุณหภูมิห้องไบอัสด้วยแรงดัน -2 ถึง +2 V เพื่อหาค่าศักย์คกคร่อมรอยต่อ (Φ_j) ซึ่งมีค่าประมาณ 1.3 V จากความชันของกราฟจะได้ว่าความหนาแน่นของโฮลมีค่าประมาณ $1 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$

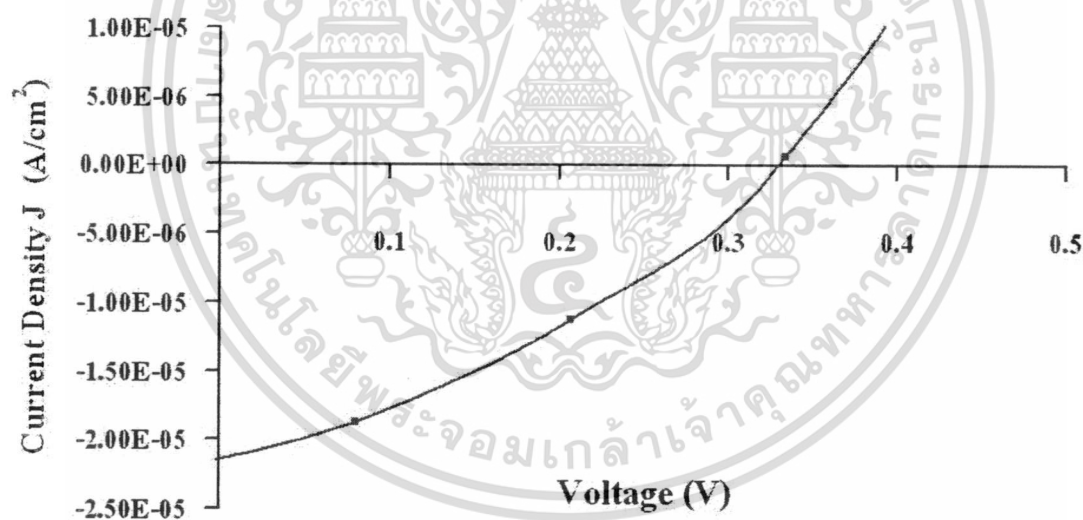


รูปที่ 4.27 แผนภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

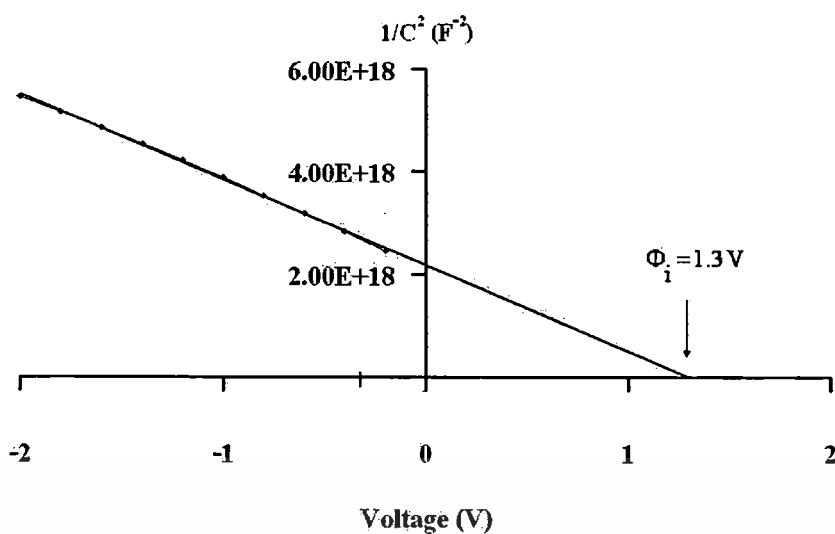


รูปที่ 4.28 แสดงฟิล์มบางของรอยต่ออวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe มีชั้นของแคดเมียมซัลไฟด์ CdS โดยวิธีออบสารถลายเคมีภายใต้คลื่นไมโครเวฟลงบนชั้นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง (อินเดียมทินออกไซด์) จากนั้นเคลือบชั้นแคดเมียมเทลลูไรด์ CdTe โดยวิธีการระเหิดสารในระยะประชิด (CSS) โดยใช้อุณหภูมิแก๊สสาร ตั้งต้นเท่ากับ 550°C อุณหภูมิฐานรองรับเท่ากับ 450°C โดยเลือกระยะห่างระหว่างสารตั้งต้นถึง ฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ที่ระยะ 4 mm



รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันไฟฟ้าของรอยต่ออวิวิธพันธุ์ของ CdS/CdTe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงค่าส่วนกลับกำลังสองของค่าความจุ-แรงดันไฟฟ้าของรอยต่อที่อุณหภูมิห้องของ รอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าพารามิเตอร์กระแส-แรงดันไฟฟ้าของรอยต่อวิวิธพันธุ์ CdS/CdTe ที่ อุณหภูมิห้องภายใต้การฉายแสงด้วยความเข้มมาตรฐาน

Illumination Intensity (mW/cm^2)	J_{sc} ($\times 10^{-6} \text{ A}/\text{cm}^2$)	V_{oc} (V)	F.F.	η (%)	R_s ($\times 10^4 \Omega$)	R_{sh} ($\times 10^4 \Omega$)
100	18.00	0.336	0.362	4.43	0.78	3.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่ขั้นเตรียมฟิล์มบาง และเน้นทางด้าน การวัดสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางจนถึงขั้นการวิเคราะห์ผลสุดท้าย พร้อมด้วยการประยุกต์ทำเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CdS/CdTe

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีออบสารละลายเคมี เป็นเวลา 60 นาที โดยฟิล์มบางที่เตรียมได้เมื่อไม่มีการเจือด้วยอะตอมของธาตุ Bi และยังไม่ได้มีการแอนนีส จะมียุทธศาสตร์โปร่งแสง มีผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอ ส่วนฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอมของธาตุ Bi จะมีลักษณะผิวหน้า ค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ มีนูน และมียุทธศาสตร์ เมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที สังเกตเห็นว่าฟิล์มบางที่ได้มีสีส้มเข้มเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์พบว่าฟิล์มบาง CdS:Bi ที่เตรียมด้วยวิธีการออบสารละลายเคมี มีทิศทางการจัดเรียงตัวในระนาบ โดยเราจะพบว่าในกรณีที่ CdS:Bi ในปริมาณต่าง ๆ นั้นเมื่อเจือ Bi ในปริมาณมากขึ้นค่าคงที่โครงสร้างก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกันซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นคิวบิกมีฟิคที่ระนาบ (1,1,1) เกิดขึ้น สำหรับกรณีของฟิล์มบางเมื่อทำการแอนนีสก็จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการแอนนีสเพิ่มมากขึ้น ขนาดของเม็ดผลึกก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะเป็นโครงสร้างเป็นคิวบิกมีฟิคที่ระนาบ (1,1,1) เช่นเดียวกันและในกรณีของผงตะกอน CdS:Bi นั้นมีโครงสร้างเป็นแบบคิวบิกซึ่งมีฟิคที่ระนาบด้วยกัน 3 ฟิคคือ (1,1,1) (2,2,0) (3,1,1) และจากสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะรู้ FWHM และ 2θ ที่ฟิคเด่นชัดมาคำนวณหาขนาดของเกรนได้ และขนาดของเกรนก็จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิแอนนีส

จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง CdS:Bi พบว่าเกรน ขนาดของเกรนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแอนนีสเพิ่มขึ้น และพบอนุภาคของ CdS ที่ผิวหน้าของฟิล์มบางซึ่งบ่งบอกถึงการมีกระบวนการเกิดฟิล์มบางแบบ โฮโมอีเนปัสชันด้วย

จากการวิเคราะห์การส่งผ่านแสง พบว่าฟิล์มบาง CdS:Bi มีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง ค่าช่องว่างแถบพลังงานที่เตรียมได้ด้วยวิธีออบสารละลายเคมีมีค่าอยู่ในช่วง 2.39-2.47 eV และเมื่อไม่มีการแอนนีสและแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนบริสุทธิ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเวลา 20 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิแอนนัลสูงขึ้นบริเวณขอบการดูดกลืนแสงจะมีความชันมากขึ้น บอกรถึงโครงสร้างผลึกที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้นและนอกจากนี้ยังพบว่าค่าช่องว่างแถบพลังงาน(Eg) มีค่าเปลี่ยนไปซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิการแอนนัล ค่าของช่องว่างพลังงานที่เปลี่ยนไป อาจเกิดมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันย่อมมีค่าช่องว่างของแถบพลังงานที่แตกต่างกัน
2. อะตอมมีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบทำให้เกิดส่วนหางของแถบพลังงาน
3. ผลของขนาดควอนตัม (quantum size effect) หรือขนาดของเกรน

สำหรับการวัดความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง CdS: Bi ที่เตรียมได้ด้วยวิธีอบสารละลายเคมีเมื่อยังไม่มีการแอนนัลพบว่าเมื่อมีการเจือด้วยอะตอมของธาตุ Bi ในปริมาณที่มากขึ้นค่าความต้านทานแผ่นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงปริมาณการเจือของ Bi เป็น 0.07 และความต้านทานแผ่นจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีปริมาณการเจือของ Bi มากกว่า 0.07 และเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแผ่นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งมีแนวโน้มแบบเดียวกันเมื่อไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงน่าจะมีผลมาจากฟิล์มบางที่เตรียมได้ด้วยวิธีอบสารละลายเคมีมีข้อบกพร่องทางโครงสร้างผลึกสูงมาก นอกจากนี้ความบกพร่องของ โครงสร้างผลึกดังกล่าวยังเห็นผลชัดเจนเมื่อมีการฉายแสงซึ่งค่าความต้านทานแผ่นจะลดลงอย่างมากซึ่งค่าความต้านทานแผ่นอาจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

1. แวนเดินซีของอะตอมซัลเฟอร์ (V_s)
2. อะตอมมีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ
3. สัดส่วนทางเคมี
4. ผลของควอนตัมหรือขนาดของเกรนซึ่งเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิการแอนนัลเพิ่มขึ้นขนาดของเกรนจะเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนขอบเขตของเกรนลดลงอิเล็กตรอนหรือโฮลจึงจะไหลได้สะดวกยิ่งขึ้น
5. อะตอมของออกซิเจนที่ถูกจับไว้ที่ขอบของเกรนของฟิล์มบาง

ทำการวัดกระแส-แรงดันไฟฟ้าของรอยต่ออวิวิพพันธุ์ CdS/CdTe ภายใต้การฉายแสงด้วยความเข้ม 100 mW/cm² พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสสูงสุด (J_{sc}) ค่าแรงดันวงจรเปิด ค่าฟิลแฟกเตอร์ (F.F.) และค่าประสิทธิภาพ (η) มีค่าเท่ากับ 18×10^{-6} A/cm², 0.336 V, 0.362 และ 4.43 % ตามลำดับ สำหรับความต้านทานอนุกรมและความต้านทานชันท์มีค่าเท่ากับ 0.78×10^4 และ 3.62×10^4 โอห์ม และทำการวัดค่าความจุขณะไม่มีการฉายแสงที่อุณหภูมิห้อง ไปอัสด้วยแรงดัน -2 ถึง +2 V เพื่อหาค่าศักย์คกคร่อมรอยต่อ (ϕ) ซึ่งมีค่าประมาณ 1.3 V จากความชันของกราฟจะได้อ่าความหนาแน่นของโฮลมีค่าประมาณ 1×10^{16} cm⁻³

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมฟิล์มบางที่เตรียมด้วยวิธีการอบสารละลายเคมีนั้นพบปัญหาและเทคนิคบางประการที่สามารถนำไปปรับปรุงการทดลองเพื่อให้ได้ผลออกมาดีที่สุด ปัญหาและข้อเสนอแนะมีดังนี้

- ควรทำการเตรียม $Cd_{1-x}Sn_xS$ และเจือด้วย Bi หรือ In, Sn เพื่อให้ E_g เพิ่มขึ้นและนำไฟฟ้าดีขึ้น
- ควรทำการศึกษาปรากฏการณ์การเปล่งแสง (photoluminescence) ของสาร เพื่อตรวจหาระดับพลังงานของสารเจือ Bi
- ควรทำการวัดปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) เพื่อหาความหนาแน่นของพาหะ
- ควรทำการเคลือบ $Cd_{1-x}Bi_xS$ ลงบนฟิล์มตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงเช่น ITO หรือ $SnO_2:F$ เพื่อไปประดิษฐ์เป็นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป
- ควรลดความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ CdS/CdTe โดยการลดความต้านทานของ CdTe ซึ่งสามารถทำได้โดยการแอลนีลในบรรยากาศของ $CdCl_2$
- ควรลดความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ CdS/CdTe โดยการพัฒนารอยต่อโอห์มมิกของ CdTe ให้มีความต้านทานที่รอยต่อน้อยกว่า 1 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chavez H., Jordan M., McClure J.C., Lush G. and Singn V.P., W “Physical and Electrical Characterization of CdS Films Deposition by Vacuum Evaporation, Solution Growth and Spray Pyrolysis” *J.Master.Sci : Matter Elec.*, Vol. 8, 1997, pp. 151-154.
- [2] Melo O.De., Hernandez L., O.Zelaya-Angel., R. Lozasa-Morales, and M. Becerril, “Low Resistivity Cubic Phase CdS Films by Chemical Bath Deposition Technique” *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 65, 1995, pp.19215-19217.
- [3] Ran Zhai, ShuBo Wang, HaiYan Xu, Hao Wang and Hui Yan, “Rapid Formation of CdS, ZnS Thin Films by Microwave-Assisted Chemical Bath Deposition” *Materials Letters* Vol. 59, 2005, pp. 1497-1501.
- [4] Rao, K.J., Vaidhyathan, B., Ganguli, M. and Ramakrishnan, P.A. 1999. “Synthesis of Inorganic Solid Using Microwave” *Chem. Mater.* Vol. 11, 1999, pp. 882-885.
- [5] Krokida, M.K.,and Massulis, Z.B., 1999. “Effect of Microwave Drying on Some Quality Properties of Dehydrated Products” *Drying technology* Vol. 17(3), 1999, pp. 449-446.
- [6] Kittel C. **Introduction to Solid State Physics.** 8th ed. United States of America : John Wiley & Sons. 2005.
- [7] งามนิตย์ แก้วแดง, จูตินัย แก้วแดง, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ และชัยสิงห์ ภูรักษาเกียรติ “การเตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์” รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [8] จูตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ แก้วแดง, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ และ ชัยสิงห์ ภูรักษาเกียรติ “การประดิษฐ์ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มี Zn ในปริมาณสูงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์” รายงานการวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.
- [9] จูตินัย แก้วแดง, งามนิตย์วงษ์เจริญ และทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ “การประดิษฐ์ฟิล์มบางคิงกอก ไชต์ที่เจือด้วยอะตอมฟลูออรีนสำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงของเซลล์แสงอาทิตย์” รายงานการวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Ignatowicz S. and Kobendza A. **Semiconducting Thin Films of $A^{II}B^{VI}$ Compounds.** Warsaw : PWN-POLISH SCIENTIFIC. 1990.
- [11] Abrikosov N.Kh, Bankina V.F., Poretskaya L.V., Shelimova L.E. and Skudnova E.V. **Semiconducting II-VI,IV-VI, and V-VI Compounds.** New York : PLENUM PRESS. 1969.
- [12] Ray B. **II-VI Compounds.** Oxford : PERGAMON PRESS. 1969
- [13] Adachi S. **Properties of Group-IV,III-V and II-VI Semiconductors.** West Sussex : John Wiley&Sons. 2005.
- [14] Runyan W.R. **Semiconductor Measurement and Instrument.** 3rd ed. New York : Mc Graw-Hill. 1975.
- [15] จูตินัย แก้วแดง “การเตรียมและศึกษาสมบัติของสารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์”วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- [16] จูตินัย แก้วแดง, นางนิศย์ วงษ์เจริญ และทิพรัตน์ วงษ์เจริญ “การประดิษฐ์ฟิล์มหนา $CuAlO_2$ เพื่อเป็นชั้นดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์” รายงานการวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.
- [17] นายจูตินัย แก้วแดง, นางงามนิศย์ วงษ์เจริญ, นางทิพรัตน์ วงษ์เจริญ และนายณัฐพร พรหมรส “การเตรียมฟิล์มบาง $CdTe$ โดยวิธีระเหิดในระยะประชิดเพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์” รายงานการวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อผู้ขอรับทุน (ภาษาไทย) นายณัฐพร พรหมรส
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Nathaporn Promros

2. ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

อาจารย์ประจำ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520 โทร. 0-3264339-52 ต่อ 328

3. ประวัติการศึกษา

วท.บ. (ฟิสิกส์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วท.ม. (ฟิสิกส์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ประสบการณ์ในการวิจัย

- 4.1 การเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำด้วยวิธีแมกนีตรอน สเปคโตรริง วิธีระเหยในระบบสุญญากาศ วิธีเคมี-แสง และวิธีสเปร์ไฟโรไลซิส
- 4.2 การศึกษาสมบัติพื้นฐาน เช่น คุณสมบัติเชิงไฟฟ้า คุณสมบัติเชิงแสง เป็นต้น

5. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ออกเผยแพร่ในวารสารและสิ่งตีพิมพ์ต่างๆ

- 5.1 Ng. Wongcharoen, T. Gaewdang, P. Siripuddhaiwon and N. Promros “Influence of Substrate Temperature on Some Properties of Close-Spacing Thermal Evaporated CdTe Thin Films” Advanced Materials Research, Vol. 55-57, 2008, pp.881-884.
- 5.2 Ng. Wongcharoen, T. Gaewdang, P. Sittiketkorn and N. Promros “Effects of Sodium Incorporation in Copper Indium Diselenide Thin Films Grown by Thermal Evaporation Method” Laos Journal on Applied Science, Vol. 1, No. 1, November 2006 (Special Issue), pp.134-141.
- 5.3 T. Gaewdang, Ng. Wongcharoen, A. Hanwunggmoung and N. Promros “Influence of Precursor-Substrate Spacer on Some Properties of CSS-CdTe Thin Films” Laos Journal on Applied Science, Vol.1, No. 1, November 2006 (Special Issue), pp.151-157.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5.4 T. Gaewdang, Ng. Wongcharoen, A. Nakaruk and N. Promros “Growth and Characterization of Co-Doped Fluorine and Antimony in Tin Oxide Thin Films Obtained by Ultrasonic Spray Pyrolysis” Asian Symposium on Materials and Processing 2006 (ASMP2006), November 9-10, 2006 Sofitel Central Plaza Bangkok, Thailand. Proceeding, p.36.
- 5.5 Ng. Wongcharoen, T. Gaewdang, P. Sittiketkorn and N. Promros “The Role of Sodium, Sulfur and Oxygen Incorporation in Copper Indium Diselenide Thin Films” Asian Symposium on Materials and Processing 2006 (ASMP2006), November 9-10, 2006 Sofitel Central Plaza Bangkok, Thailand. Proceeding, p.47.
- 5.6 N. Promros, S. Chaiyakun, K. Ratanathampan and B. Paosawatyanong “Effect of Discharge Power on Structural Properties of Copper Thin Films Deposited by a Compact dc Magnetron Sputtering” *Jurnal Fizik Malaysia* Vol. 26 No. 2 2005, pp. 61-66.)
- 5.7 N. Promros, B. Paosawatyanong and S. Chaiyakun “Design and Characterization of Small DC Magnetron Sputtering Head for Small Lab Scale” บทความวิจัย “การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 13 ประจำปี 2548”, วันที่ 16- 17 มีนาคม 2548, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 17.
- 5.8 Ng. Gaewdang, T. Gaewdang, N. Promros, A. Nakaruk, W. Lipar and T. Chanyatham “Photochemical Deposition CdS Thin Films for Photovoltaic Applications” The First National Conference on Optics and Applications (NCOA-1), 9 January 2004, Bangkok, Thailand, pp.75-79.
- 5.9 Ng. Gaewdang, T. Gaewdang and N. Promros, “Structural and Optical Properties of CdS Thin Films Prepared by Photochemical Deposition Technique” The second Thailand Materials Science and Technology Conference, MSAT II: Materials Science and Technology for a Sustainable Development of Thailand, 6-7 August 2002 Kasetsart University , Bangkok.pp. 212-215.
- 5.10 Ng. Gaewdang , T. Wongcharoen, C. Poo-Rakkiat, T. Gaewdang and N. Promros “Influence of Cd:S Ratio on CdS Thin Films Prepared by Photochemical Deposition Method” 28th Congress on Science and Technology of Thailand, 24-26 October 2002, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok , p. 207.