สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง CdS: F โดยวิธีอาบสารละลายเคมีบนชั้นตัวนำโปร่งแสง SnO_2: F ที่เคลือบบนกระจกสไลด์

นาย กิติศักดิ์ ทวีกิจโภไคย

นาย ชวลิต น้อยสมมิตร

นาย สิทธิศักดิ์ ชัยโสตถี

วพ.
ก679ก
2549

เลขหมู่...

เลขทะเบียน 76634

วัน,เดือน,ปี - 3 ธ.ค. 2550

b 11850589

i...

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chemical Bath Deposition of CdS: F Thin Films on the Transparent Conducting SnO_2: F Coated Slide Glass

Mr. Kitisak Taweekijpokai

Mr. Chawalit Noysommit

Mr. Sittisak Chaisotthee

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง CdS : F โดยวิธีอาบสารละลายเคมีบนชั้นตัวนำโปร่งแสง SnO_2 : F ที่เคลือบบนกระจกสไลด์
นักศึกษา	นายกิติศักดิ์ ทวีกิจโภไคย นายชวลิต น้อยสมมิตร นายสิทธิ์ศักดิ์ ชัยโสดถี
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.งามนิตย์ วงษ์เจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ชัยสิงห์ ภู่รักษ์เกียรติ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร. ฐิตินัย แก้วแดง	(ลงชื่อ)
กรรมการ	อ. กีรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์	(ลงชื่อ)
กรรมการ	อ. ณัฐพร พรหมรส	(ลงชื่อ)
กรรมการที่ปรึกษา	รศ. งามนิตย์ วงษ์เจริญ	(ลงชื่อ)
กรรมการที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร. ชัยสิงห์ ภู่รักษ์เกียรติ	(ลงชื่อ)

....

(รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	**การเตรียมฟิล์มบาง CdS : F โดยวิธีอาบสารละลายเคมีบนชั้นตัวนำโปร่งแสง SnO_2 : F ที่เคลือบบนกระจกสไลด์**
นักศึกษา	นายกิติศักดิ์ ทวีกิจโภไคย นายชวลิต น้อยสมมิตร นายสิทธิศักดิ์ ชัยโสดถี
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.งามนิตย์ วงษ์เจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ชัยสิงห์ ภู่รักษ์เกียรติ

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยธาตุฟลูออรีนด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมี โดยเคลือบบนชั้นตัวนำโปร่งแสง SnO_2 : F ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ ซึ่งสารตั้งต้นที่ใช้คือ $CdSO_4$, $SC(NH_2)_2$, NH_4F และNH_3 โดยเตรียมที่อุณหภูมิ 80^{0}C ใช้เวลาประมาณ 60 นาทีจากนั้นนำไปแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500 ^{0}C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ที่ความดันประมาณ 1 บรรยากาศ เป็นเวลา 20 นาที ทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง CdS และผิวหน้าของฟิล์มบาง โดยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง CdS หาได้จากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง ส่วนขนาดของเกรนจะโตขึ้นและมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิแอนนีลเพิ่มมากขึ้น ขนาดของช่องว่างแถบพลังงานและความต้านทานของฟิล์มบาง CdS : F จะมีค่าเปลี่ยนตามอุณหภูมิแอนนีล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Chemical Bath Deposition of CdS : F Thin Films on the Transparent Conducting SnO_2 : F Coated Slide Glass

Name Kitisak Tawcekijpokai
Chawalit Noysommit
Sittisak Chaisotthee

Department Applied Physics Faculty of Science

Program Applied Physics

Academic Year 2006

Special Project Advisor Assoc.Prof. Ngamnit Wongcharoen

Special Project Co-Advisor Assist.Prof. Dr. Chaisingh Poo-Rakkiat

Abstract

In this special project, CdS:F this films were deposited on the transparent conducting SnO_2:F coated slide glass substrate by the chemical bath deposition technique at 80^{0}C for 60 min. The solution in reaction bath consisted of $CdSO_4$, $SC(NH_2)_2$, NH_4F and NH_3 in deionized water was employed. The as-deposited films were annealed in N_2 atmosphere at the temperature ranging from 100-500^{0}C for 20 min. Crystal structure and crystal morphology of the films were checked by XRD and SEM techniques. Energy gap values of the films were determined from the optical transmission spectra. The SEM micrographs show that the grain size increases when the annealing temperature increases.The varation of energy gap and sheet resistance of pure and doped thin films as a function of annealing temperature were also investigated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จไปได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ งามนิตย์ วงษ์เจริญ รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิตินัย แก้วแดง รองศาสตราจารย์ ดร.ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยสิงห์ ภู่รักษ์เกียรติ และ อาจารย์ ณัฐพร พรหมรส ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนอุปการะทุนสนับสนุนและการให้คำปรึกษาทางวิชาการที่ดีตลอดมารวมไปถึงการปลูกฝังสิ่งที่ดีงามให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบคุณ ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์และการแนะนำในการใช้เครื่อง ยูวี–วิสสิเบิล แบบดับเบิลบีม สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น Heλ ios α ที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงโดยการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเลตไปจนถึงย่านอินฟาเรด (ความยาวคลื่น 190 – 1100 nm)

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ อนุพงศ์ สรงประภา ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องยูวี-วิสสิเบิล แบบดับเบิลบีม ยี่ห้อ จัสโก้ 7600 สเปกโตรมิเตอร์ ที่มีค่าความยาวคลื่นย่านอัลตราไวโอเลตและย่านตามองเห็นในการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง

ขอขอบคุณ รศ.ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง หัวหน้าศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ คุณเจริญชัย เหลืองอ่อน ผู้ช่วยวิจัยสังกัดศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำปลอดประจุมาใช้ในการทดลองของโครงงานพิเศษ

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความอนุเคราะห์คำแนะนำในการใช้เครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance ซึ่งรังสีเอ็กซ์มีความยาวคลื่น 1.5406 A ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM - 6400 ในการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดสรรงบประมาณของภาควิชา เพื่อใช้ในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอขอบคุณ คุณ ปกรณ์ สิทธิเขตรกรณ์ คุณ ฐิติกร จรรยาธรรม คุณ อดุลย์ หาญวังม่วง คุณ ประธาน ประจวบโชค และ นาย พีระพร สิริพุทธไชวรรณ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานและซ่อมอุปกรณ์การอาบสารละลายเคมี, แนะนำการใช้อุปกรณ์ต่างๆและคำแนะนำในการใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่เมตตาประสาทวิชาตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับถึงปัจจุบัน ตลอดจนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความอุปการะทุนในการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

นายกิติศักดิ์ ทวีกิจโภไคย
นายชวลิต น้อยสมมิตร
นายสิทธิศักดิ์ ชัยโสคถี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนของการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีและการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึก	5
2.1.1 ชนิดการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายในโครงผลึกแบบ 3 มิติ	5
2.1.1.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์	5
2.1.1.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์	6
2.1.2 หลักเกณฑ์ในการระบุถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของโครงสร้างผลึก	7
2.1.2.1 การระบุตำแหน่ง	7
2.1.2.2 การระบุทิศทาง	7
2.1.2.3 การระบุระนาบ	8
2.1.3 ความไม่สมบูรณ์ของผลึก	9
2.1.3.1 ข้อบกพร่องผลึกแบบจุด	9
2.1.3.2 ข้อบกพร่องผลึกเชิงเส้น	10
2.1.3.3 ข้อบกพร่องผลึกเชิงระนาบ	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.1.4 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ 11
2.1.5 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก 12
2.1.5.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ 12
2.1.5.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ 13
2.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ 13
2.2.1 ทฤษฎีโครงสร้างแถบพลังงาน 13
2.2.1.1 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะสารกึ่งตัวนำและฉนวน 14
2.2.1.2 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ 15
2.2.2 โครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์ 16
2.3 การส่งผ่านแสง 18
2.3.1 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านของแสง 19
2.4 สมบัติทางไฟฟ้า 21
2.4.1 สภาพนำไฟฟ้า 21
2.4.2 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า 23
2.4.2.1 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าจำเพาะโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น 23
2.5การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง CdS ด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมี 26
2.5.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยา 26
2.5.2 การเกิดฟิล์มบาง CdS บนฐานรองรับ 28
2.6 การเตรียมฟิล์มบางคีบุกออกไซด์ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่
เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 29
2.6.1 กระบวนการการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในสารละลาย 29
2.6.2 กระบวนการการเกิดฟิล์มบาง 30

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 33
3.1 วิธีการทดลองและเครื่องมือการวิจัย 33
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง 33
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS : F โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์ ของฟิล์มบาง ที่เตรียมได้ 34
3.1.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบาง โดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ 34
3.1.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการส่งผ่านทางแสงโดยใช้ เครื่องสเปกโครโฟโตมิเตอร์ 35
3.1.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างผลึกเชิงมหภาค ของฟิล์มบางโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 35
3.1.3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานแผ่น 36
3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอมของธาตุ F 37
3.2.1 การเตรียมฐานรองรับ 37
3.2.2 การเตรียมฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนโดย การพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 38
3.2.3 การเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี 38
3.2.4 วิธีการแอนนีล 40

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 42
4.1ฟิล์มบาง SnO_2: F ที่เตรียมได้โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมี ที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 42
4.2 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS: F ที่เตรียมได้โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี 43
4.2.1 ฟิล์มบาง CdS ที่มีการเจือด้วยอะตอมของธาตุฟลูออรีนที่เตรียมได้ ด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมี 43
4.2.2 ฟิล์มบาง CdS:F เมื่อแอนนีลที่อุณหภูมิต่างๆ 44
4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบาง 44
4.4 ผลการศึกษาลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง และขนาดของเกรนด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 47
4.5 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.6 ผลการศึกษาค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง 54

บทที่5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 58

5.1 สรุปผลการทดลอง 58

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 60

เอกสารอ้างอิง 61

ภาคผนวก 64

ภาคผนวก ก 65

ภาคผนวก ข 71

ประวัติผู้เขียน 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีเมื่อไม่มีการแอนนีลและเมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ100-500^{0}C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที 53

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความต้านทานแผ่นในกรณีที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงฟิล์มบาง CdS:F บนกระจกสไลด์ที่เตรียมได้โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี เมื่อไม่มีการแอนนีลและมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500^{0}C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงการจัดเรียงตัวของอะตอมของ CdS 6

2.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ของ CdS 6

2.3 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์กับแบบซิงค์เบลนด์ 7

2.4 การบอกระนาบต่าง ๆ ของผลึก 8

2.5 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบจุด 10

2.6 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบขอบ 10

2.7 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบสกรู 10

2.8 แสดงเกรนและขอบเขตของเกรน 11

2.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของแบรกก์ 12

2.10 แสดงโครงสร้างแถบพลังงาน 14

ก.โลหะ

ข.สารกึ่งตัวนำ

ค.ฉนวน

2.11 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน และการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน ในสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ 15

ก.โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง

ข.โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง

2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอน ของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ 16

ก.โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง

ข.โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีกระบวนการสร้างโฟนอน

2.13 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ เวิร์ทไซท์โดยไม่คิดการคับปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิท 17

2.14 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ ซิงค์เบลนด์โดยไม่คิดการคับปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิท 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.15 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง	18
2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่น โดยเส้นทึบจะแสดงขอบการดูดกลืนพื้นฐาน	20
2.17 แสดงการให้แรงดันกับสารตัวอย่าง	22
2.18 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น	23
2.19 แสดงการวัดความต้านทานแผ่น โดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น	25
ก. การวัดแบบสองขั้วโดยมีการเลื่อนระยะที่ขั้วหนึ่ง	
ข. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับระยะทางที่ได้จากการวัดชนิดเลื่อนขั้วไฟฟ้า	
2.20 แผนภาพแสดงกลไกในการเกิดผลึกเป็นฟิล์มบางที่เตรียมโดยใช้เทคนิคการอาบสารละลายเคมี	26
ก. กระบวนการเฮทเทอโรจีเนียส	
ข. กระบวนการโฮโมจีเนียส	
ค. กระบวนการผสมระหว่างเฮทเทอโรจีเนียสและโฮโมจีเนียส	
2.21 แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับโดยกระบวนการโฮโมจีเนียส	28
2.22 แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับโดยกระบวนการเฮทเทอโรจีเนียส	28
2.23 แสดงลักษณะโมเลกุลที่เกิดขึ้นภายในสารละลาย	29
2.24 ลักษณะของโมเลกุลของ SnO_2 ที่เจือปนด้วย F	30
2.25 แสดงการลดลงของขนาดของหยดสารละลายตามระยะทางจากฐานรองรับ	30
2.26 แบบจำลองการเกิดฟิล์มบางบนผิวของฐานรองรับ	31
ก. การเกิดปฏิกิริยาที่เกิดการสูญเสียน้ำ	
ข. การเกิดฟิล์มบางบนฐานรองรับ	
2.27 แสดงการรวมตัวของฟิล์มบางที่เกิดจากวิธีการพ่นละอองสารเคมี	32
3.1 แสดงเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟกโตรมิเตอร์: D8 Advance	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.2 แสดงภาพถ่ายเครื่องUV-VIS แบบดับเบิลบีม สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo electron corporation (Heλiosα) 35

3.3 แสดงภาพถ่ายเครื่อง SEM รุ่น LEO 1455 VP 35

3.4 แสดงเครื่องอิเล็กโตรมิเตอร์ยี่ห้อ keithley รุ่น 610 CR 36

3.5 แสดงรูปถ่ายการเตรียมฟิล์มบาง โดยวิธีอาบสารละลายเคมี 39

3.6 แสดงระบบเตาแอนนีลที่ทนอุณหภูมิได้ถึง 1200 °C 41

4.1 ฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนที่เตรียมโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิคเมื่อให้ปริมาณการเจือฟลูออรีนแตกต่างกัน 42

4.2 แสดงฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมจากสารตั้งต้นเป็นผลึกผงที่มีความบริสุทธิ์สูง (99.999%) โดยวิธีการอาบสารละลายทางเคมีเมื่อไม่มีการแอนนีล 43

4.3 แสดงฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายทางเคมี เมื่อไม่มีการแอนนีลและเมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที 44

4.4 แสดงสเปกตรัมของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอมของธาตุ F ทั้งในกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีลและมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100- 500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที 45

4.5 แสดงลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมได้โดยวิธีอาบสารละลายเคมีทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนีลและมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที 47

4.6 กราฟสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมี เมื่อไม่มีการแอนนีลและเมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100- 500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา20 นาที 48

4.7 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha h\nu)^2$ กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) ของฟิล์มบาง CdS : F เมื่อไม่มีการแอนนีล 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.8 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha h\nu)^2$กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) ของฟิล์มบาง CdS : F เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20นาที 50

4.9 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha h\nu)^2$ กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) ของฟิล์มบาง CdS : F เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 200 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที 51

4.10 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha h\nu)^2$กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) ของฟิล์มบาง CdS : F เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 300°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที 51

4.11 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha h\nu)^2$กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) ของฟิล์มบาง CdS : F เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °Cภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที 52

4.12 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha h\nu)^2$กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) ของฟิล์มบาง CdS : F เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20นาที 52

4.13 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีเมื่อไม่มีการแอนนีลและเมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100- 500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที 53

4.14 กราฟแสดงฟิล์มบาง CdS:F บนกระจกสไลด์ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมี เมื่อไม่มีการแอนนีลและมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 กราฟแสดงฟิล์มบาง CdS:F บนชั้นของ SnO_2 ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายทางเคมี เมื่อไม่มีการแอนนีลและมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาโครงงานพิเศษ [งามนิตย์ และคณะ, 2543; สิงหเดช, 2539; Kittel, 1971; Runya, 1975; ฐิตินัย และคณะ, 2546]

ปัจจุบันนี้มีความต้องการพลังงานทดแทนมากขึ้นเพราะพลังงานหลักคือน้ำมันเริ่มมีปริมาณน้อยลงอีกทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อดีหลายประการ คือ สะอาด ไม่สร้างมลภาวะที่เป็นพิษขณะใช้งาน ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ติดตั้งง่าย สามารถใช้งานได้ทันที และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ไม่มีที่สิ้นสุด ซึ่งแตกต่างจากพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานปรมาณูซึ่งอาจจะก่อให้เกิดอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี ถ้าเกิดการรั่วไหล

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่สร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำที่มีสมบัติเฉพาะที่สำคัญ คือ สามารถเปลี่ยนพลังงานโฟตอนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยที่เมื่อมีพลังงานโฟตอนที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับขนาดช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำมาตกกระทบทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic effect)

ฟิล์มบาง SnO_2 เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีค่าช่องว่างแถบพลังงานค่อนข้างกว้างโดย SnO_2 มีค่าช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 3.54 eV มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนัลรูไทล์ ที่อุณหภูมิห้องมีคุณสมบัติเป็นฉนวน และมีสมบัติการส่องผ่านแสงในย่านที่ตามองเห็น และสะท้อนแสงในย่านอินฟราเรด จึงทำให้ฟิล์มบางมีศักยภาพในการประดิษฐ์เป็นกระจกสะท้อนความร้อนหรือขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

การเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 สามารถเตรียมได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น สปัตเตอริง การระเหยสารในระบบสุญญากาศ วิธีระเหยสารเคมี วิธีการอาบสารละลายเคมี และการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เป็นต้น การเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก นี้มีข้อดี คือ สามารถเตรียมสารได้ขนาดใหญ่ตามความต้องการ ค่าใช้จ่ายในการเตรียมไม่สูงมากนะ จึงเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์

ฟิล์มบาง CdS มีการนำไปใช้กันอย่างมากมายในโครงสร้างของอุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงแสง ซึ่งมีค่าช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 2.42 eV เนื่องจาก CdS เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างแถบพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้างสภาพการนำไฟฟ้าจึงมีค่าสูงเมื่อมีการรับแสง ในการผลิตฟิล์มบาง CdS มีหลายวิธีดังนี้ เช่น วิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค วิธีการระเหยด้วยระบบสุญญากาศ และวิธีการอาบสารละลายเคมีแต่การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางที่ให้ประสิทธิภาพสูงฟิล์มบาง CdS ในโครงสร้างทำหน้าที่เป็นชั้นหน้าต่าง เป็นสารกึ่งสารกึ่งตัวชนิดเอ็น

การเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการอาบสารละลายทางเคมีนี้เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีในสารละลายเคมีประกอบด้วย Cd^{+2} กับ S^{-2} ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นฟิล์มบาง CdS เคลือบบนแผ่นรองรับ ในการเตรียมด้วยวิธีนี้ใช้อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังสามารถเตรียมฟิล์มให้พื้นที่ใหญ่ตามต้องการได้ และมีค่าใช้จ่ายในการเตรียมที่ต่ำจึงเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2:F ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิคและการเตรียมฟิล์มบาง CdS:F ด้วยวิธีอาบสารละลายเคมี

1.2.2 ศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง SnO2:F ที่มีปริมาณความเข้มข้นของ [F]/[Sn](5wt%) วิธีพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิคและเคลือบ CdS:F ด้วยวิธีอาบสารละลายเคมีด้วยค่าความเข้มข้นของฟลูออรีนต่างๆกันลงบนกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยดีบุกออกไซด์

1.2.3 ศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบางCdS:F บน SnO_2:F ที่เตรียมได้

1.2.3.1 ศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง CdS:F ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.2.3.2 ศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบางที่เตรียมได้ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์

1.2.3.3 ศึกษาสมบัติเชิงแสงโดยวัดการส่งผ่านแสงโดยเครื่อง UV-VIS แบบดับเบิลบีมสเปกโตรโฟโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo Electron Corporation รุ่น Heλiosα

1.2.3.4 ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าโดยการวัดค่าความต้านทานแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2:F ลงบนแผ่นรองรับที่เป็นโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิคโดยใช้วิธีการทำให้สารละลายระเหยกลายเป็นไอจากนั้นนำฟิล์มบาง SnO_2:F ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิคมาทำการเคลือบ CdS:F โดยวิธีอาบสารละลายเคมี เพื่อที่จะทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเจือและเพิ่มความหนาของฟิล์มบางเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการของการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2:F ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิคและการเตรียมฟิล์มบาง CdS:F ด้วยวิธีอาบสารละลายเคมี

1.4.2 ทำการเคลือบฟิล์มบาง SnO_2:F ที่มีปริมาณความเข้มข้นของ [F]/[Sn](5wt%) จากนั้นทำการเคลือบ CdS:F ที่ค่าความเข้มข้น1, 5, 10, 15และ 20wt%

1.4.3 ศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบาง CdS:F บน SnO_2:F ตามเงื่อนไขที่เตรียมได้ประกอบด้วย

1.4.3.1 ศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง CdS:F บน SnO_2:F ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.4.3.2 ศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบาง CdS:F บน SnO_2:F ด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

1.4.3.3 ศึกษาสมบัติเชิงแสงโดยวัดการส่งผ่านแสง

1.4.3.4 ศึกษาและวิเคราะห์สมบัติเชิงไฟฟ้าของฟิล์มบาง CdS:F บน SnO_2:F ด้วยวิธีสองขั้วเชิงเส้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบถึงหลักการและวิธีการเตรียมฟิล์มบาง CdS:F ด้วยวิธีอาบสารละลายเคมี

1.5.2 ทำให้ทราบถึงหลักการและวิธีการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2:F ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

1.5.3 ได้รับฟิล์มบางCdS:Fที่เตรียมได้ด้วยวิธีอาบสารละลายเคมีที่เคลือบลงบนฟิล์มบางSnO_2:F ที่เตรียมได้ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

1.5.4 ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของสารเจือที่มีต่อสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของฟิล์มบาง CdS:F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.5 ทำให้ได้ความรู้ในการศึกษาการเตรียมและเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อเตรียมฟิล์มบางCdS:F ให้มีคุณภาพเหมาะที่จะนำไปประยุกต์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

ในโครงงานพิเศษนี้เป็นการเตรียมฟิล์มบาง CdS:F ด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมีลงบนฟิล์มบาง SnO_2:F ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค ซึ่งจะได้อธิบายทฤษฎีและหลักการในส่วนที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 โครงสร้างของผลึก [งามนิตย์ และคณะ, 2543; ฐิตินัย และคณะ, 2546]

สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายในโครงผลึก การที่มีโครงผลึกที่แตกต่างกันนี้ทำให้สารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น คุณสมบัติการนำไฟฟ้า, คุณสมบัติการดูดกลืนแสง ฯลฯ

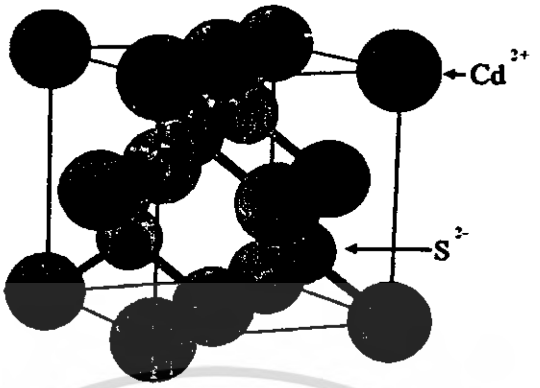
2.1.1 ชนิดการจัดเรียงตัวของอะตอมที่อยู่ภายในโครงผลึกแบบ 3 มิติ

โครงผลึก คือ ตำแหน่งที่เป็นที่อยู่ของเบสิส (basis)ในระบบ 3 มิติ ส่วนเบสิส คืออะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่อยู่ภายในโครงผลึกซึ่งจากการศึกษาพบว่าโครงสร้างผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์จะมีลักษณะโครงสร้างอยู่ 2 แบบ คือ แบบซิงค์เบลนด์(zincblende)และแบบเวิร์ทไซท์ (wurtzite)

2.1.1.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบอนด์ (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) ส่วนอีกโครงผลึกเป็นธาตุหมู่ VI (หรือ V) สำหรับสารกึ่งตัวนำเชิงคู่ II-VI (หรือ III-V) ในหนึ่งหน่วยเซลล์ประกอบด้วยอะตอมสองชนิดแต่ละชนิดมี สี่ อะตอม เช่นใน CdS ไอออนของ Cd^{2+} จะอยู่ที่ตำแหน่ง (0,0,0), (0,½,½) , (½,0,½) และ (½,½,0) ส่วนตำแหน่งของไอออนของ S^{2-} จะอยู่ที่ (¼,¼,¼), (¼,¾,¾), (¾,¼,¾) และ (¾,¾,¼) สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ได้แก่ ZnS, CuCl, AgI, CuF, SiC และ CdS เป็นต้น ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีความสำคัญสำหรับนำมาประยุกต์เพื่อประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง

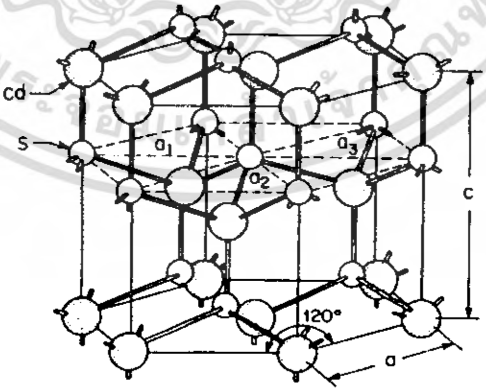
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงการจัดเรียงตัวของอะตอมของ CdS

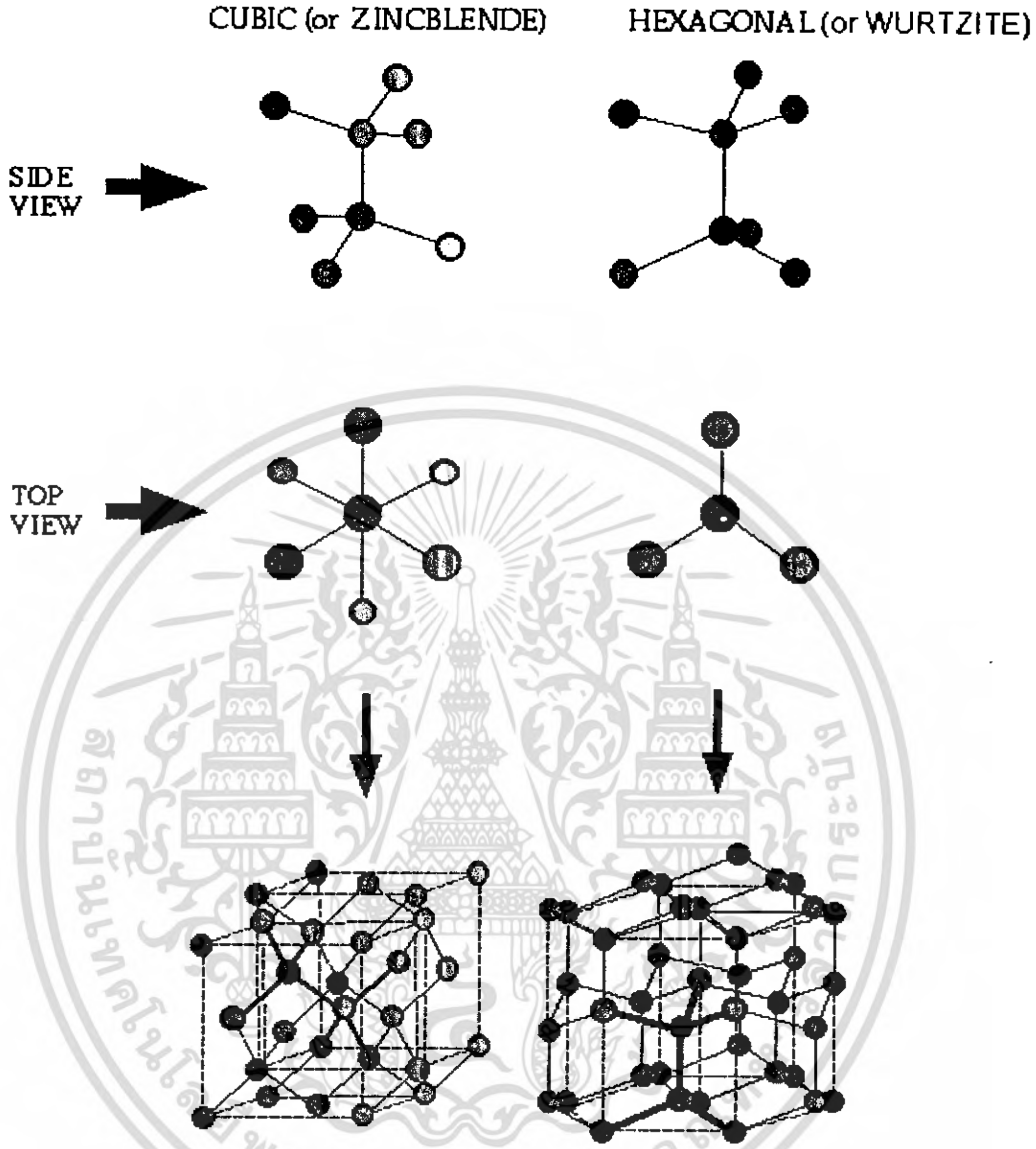
2.1.1.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ (wurtzite structure)

โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์จัดอยู่ในระบบ โครงสร้างผลึกแบบเฮ็กซะโกนอลเกิดจากการนำโครงสร้างผลึกแบบเฮ็กซะโกนอลที่มีอะตอมของธาตุต่างๆอยู่สองชนิดวางซ้อนเหลื่อมกันเป็นระยะ 5/8 ตามแนวแกน c (c-axis) หนึ่งหน่วยเซลล์จะมี 8 อะตอม มีอะตอมเพื่อนบ้านอยู่ 4อะตอม มีพันธะเคมีของโมเลกุลเป็นแบบพันธะเตตระฮีดรอน และมีพันธะเคมีระหว่างอะตอมเป็นแบบ โควาเลนท์ ดังนั้นจึงมีการจัดเรียงระนาบของอะตอมคล้ายกับโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์แต่จะมีความแตกต่างกัน คือ ในโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์จะมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอน เป็นแบบ ABAB...หรือ 0101... ส่วนในโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์จะมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอนแบบ ABCABC... หรือ 012012... สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ได้แก่ CdS, ZnS เป็นต้น



รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ของ CdS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์กับแบบซิงค์เบลนด์

2.1.2 หลักเกณฑ์ในการระบุถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของโครงสร้างผลึก

2.1.2.1 การระบุตำแหน่ง

ในกรณีทั่วไปจะเขียนเป็น (x,y,z) สังเกตเครื่องหมาย "," ซึ่งคั่นแต่ละค่า

2.1.2.2 การระบุทิศทาง

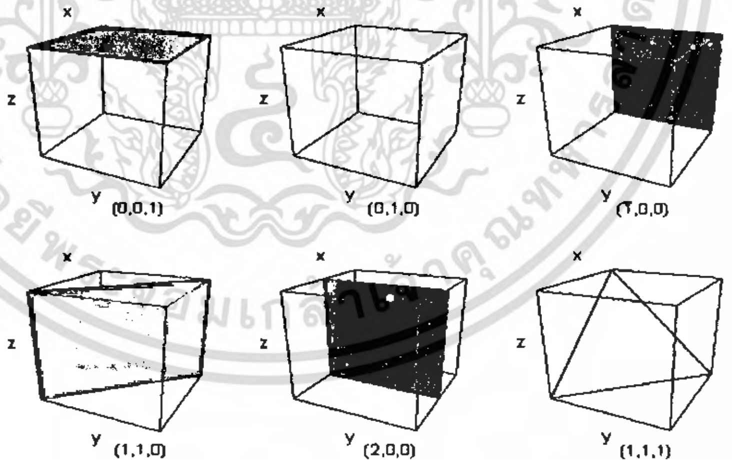
ในกรณีทั่วไป จะเขียนเป็น [u v w] สังเกตวงเล็บก้ามปูและไม่มี เครื่องหมาย "," คั่นระหว่างค่าแต่ละค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตัวอย่าง</u> **การระบุทิศทางที่ศึกษาจะใช้แนวที่ผ่านจุดเริ่มต้นของแกนผลึก คือ ที่จุด (0,0,0) ซึ่งสามารถใช้ค่าเดียวกันนี้ระบุทุกๆแนวทิศทางที่ขนานกันและจะใช้จุดที่เป็นค่าจำนวนเต็มที่น้อยที่สุดที่แนวนั้นตัดผ่านเป็นตัวระบุ เช่น ทิศทาง [111] มีจุดจำนวนนับไม่ถ้วนที่ทิศทางนี้ตัดผ่าน เช่น จุด(0,0,0) จุด (1,1,1) นอกจากนี้ยังผ่านจุด (2,2,2) และ (1/2,1/2,1/2) และจุดอื่นๆอีกนับไม่ถ้วนถ้าเป็นทิศทางที่เป็นลบก็จะใส่เครื่องหมาย "-" หรือ บาร์ (bar) ไว้บนตัวเลขนั้นๆ เช่นทิศทาง [$12\bar{1}$]** แสดงว่าในแนวแกน z มีค่าเป็นลบ

2.1.2.3 การระบุระนาบ

จะใช้อักษร(h k l) สังเกตวงเล็บ และไม่มีเครื่องหมาย"," คั่น ค่า **(h k l) เรียก**ว่า ดัชนีมิลเลอร์ **(Miller indices) ระนาบของผลึกเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกประการหนึ่งในการศึกษาผลึกเพราะในแต่ละระนาบจะประกอบไปด้วยอะตอมไอออนหรือโมเลกุลเรียงตัวกันอยู่บนระนาบ**นั้น อาจกล่าวได้ว่าระนาบแต่ละระนาบจะมีความแตกต่างกันเช่นเดียวกับทิศทางจุดที่ระนาบหนึ่งๆตัดแกนผลึกจะได้มาจากค่าส่วนกลับของดัชนีมิลเลอร์ เช่น ระนาบ(010) จะตัดแกน (x ,y, z) **ที่จุด (1/0,1/1,1/0) หรือ จุด (∞ , 1, ∞) นั่นเอง (ระยะอนันต์หมายถึงระนาบนั้นขนานกับแกนนั้นและไปตัดแกนนั้นที่ระยะอนันต์) ดังแสดงในรูปที่** 2.4 **ซึ่งสรุปความสัมพันธ์ระหว่างระนาบต่างๆกับระยะตัดแกนอ้างอิง**



รูปที่ 2.4 การบอกระนาบต่าง ๆ ของผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ความไม่สมบูรณ์ของผลึก

ที่ผ่านมาเราพิจารณาโครงสร้างผลึกในอุดมคติมาโดยตลอด แต่ในความเป็นจริงแล้วโครงสร้างผลึกจะมีลักษณะไม่สมบูรณ์แบบโครงสร้างผลึกในอุดมคติทั้งหมดความไม่สมบูรณ์ของผลึกนั้นมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารและในบางกรณีตัวแปรทางไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความไม่สมบูรณ์ของผลึกด้วยซึ่งความไม่สมบูรณ์หรือข้อบกพร่องของโครงผลึกมีหลายชนิดด้วยกัน

2.1.3.1 ข้อบกพร่องผลึกแบบจุด (point defect)

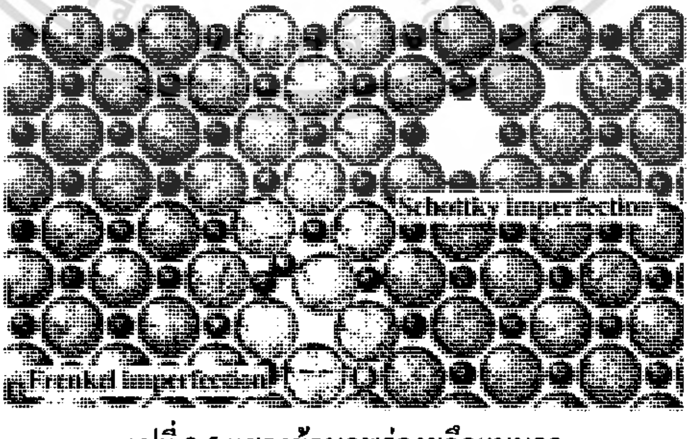
ข้อบกพร่องของผลึกแบบจุดดังแสดงในรูปที่ 2.5 นี้จะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาอะตอมที่ผิดเพี้ยนไปจากตำแหน่งเดิมในโครงสร้างผลึก

ก) ข้อบกพร่องผลึกแบบแวแคนซี (vacancy defect) ซึ่งมีลักษณะที่อะตอมหรือไอออนหลุดหายไป หรืออาจเรียกอีกอย่างว่า ข้อบกพร่องผลึกแบบชอตกี้ (schottky defect)

ข) ข้อบกพร่องผลึกแบบอินเตอร์สติเชียล (interstitial) ซึ่งเป็นลักษณะที่อะตอมบางอะตอมหรือไอออนที่ไม่อยู่ที่ตำแหน่งของโครงผลึก แต่จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างตำแหน่งที่เป็นที่ว่างของโครงผลึกโดยทั่วไปแล้วรัศมีอะตอมที่เข้าไปแทรกอยู่จะมีค่าอยู่ระหว่างหรือน้อยกว่ารัศมีของอะตอมหลัก

ค) การผิดรูปของโครงผลึกแบบเฟรนเคล (frenkel disorder) คือ จะเกิดลักษณะ (ก) และ (ข) ร่วมกันโดยมีจำนวนเท่าๆกัน

ง) การผิดรูปของโครงผลึกแบบแอนติสตรัคเจอร์ (antistructure disorder) เป็นลักษณะของอะตอมตั้งแต่สองอะตอมขึ้นไปเข้าไปอยู่ในตำแหน่งของโครงผลึกทำให้ลักษณะของโครงผลึกไม่เป็นระเบียบ

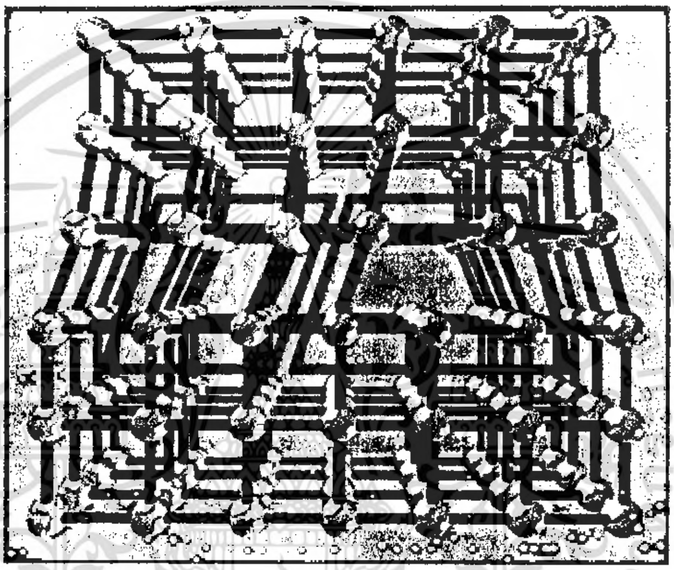


รูปที่ 2.5 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบจุด

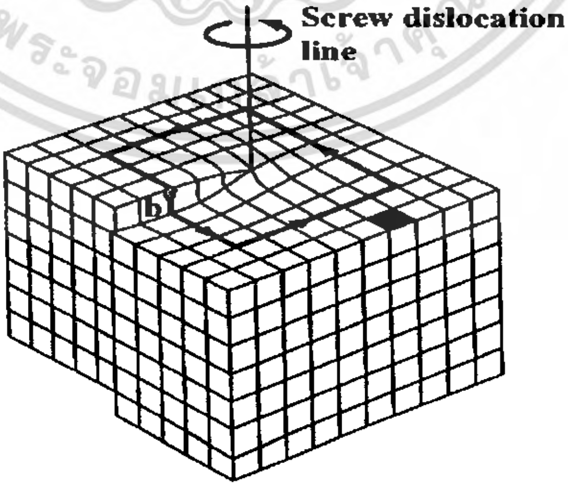
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2.6 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบขอบ



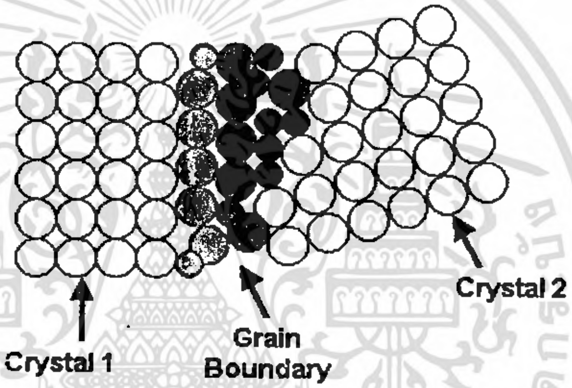
รูปที่ 2.7 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.3 ข้อบกพร่องผลึกแบบแนวระนาบ (planar defect)

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

ข้อบกพร่องผลึกชนิดนี้มักจะเกิดขึ้นในผลึกพหุพันธ์ (polycrystallines) ที่มีหลายเกรน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งในแต่ละเกรนจะมีการจัดเรียงตัวของผลึกในทิศทางเดียวกัน และมีแนวแบ่งระหว่างแต่ละเกรนที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกในทิศทางต่างกัน เรียกว่า ขอบเขตของเกรน ซึ่งเกรนและขอบเขตของเกรนจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงฟิสิกส์ต่างๆ ไปจากผลึกในอุดมคติ



รูปที่ 2.8 แสดงเกรน และขอบเขตของเกรน

2.1.4 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์โดยวิธี θ-2θ ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์ โดยใช้รังสีเอ็กซ์ความยาวคลื่นเดียวตกกระทบตัวอย่างซึ่งอาจเป็นผลึกเดี่ยวหรือผลึกพหุพันธ์ก็ได้ ตัวอย่างจะหมุนไปเป็นมุม θ ในขณะที่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณรังสีเอ็กซ์จะเคลื่อนที่ไปเป็นมุม 2θ เพื่อให้การเลี้ยวเบนสอดคล้องกับกฎของแบรกก์

ในปี ค.ศ. 1912 W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดว่า เราสามารถมองได้ว่าผลึกจัดเรียงตัวเป็นชั้น (layer) หรือ ระนาบ (plane) ของอะตอมซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบโดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนทั้งนี้ลำคลื่นที่สะท้อนออกไปจากระนาบต่างๆดังกล่าวจะมีความเข้มสูงและแทรกสอดแบบเสริม ถ้าหากความแตกต่างระหว่างทางเดินของคลื่นที่สะท้อนจากระนาบที่อยู่ข้างเคียงจะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นที่ ตกกระทบดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2d_{hkl}\sin\theta = n\lambda \tag{2.1}$$

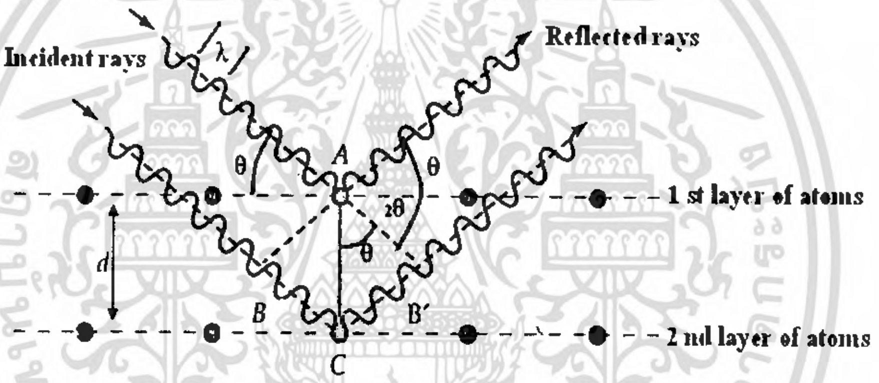
เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

d_{hkl} คือ ระยะระหว่างระนาบที่ขนานกัน

θ คือ มุมที่สะท้อนจากระนาบซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ

n คือ ลำดับที่ของการเลี้ยวเบน มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มคือ 1, 2, 3,...

ระนาบต่างๆของผลึกไม่ได้ก่อให้เกิดการสะท้อนเสมอไประนาบใดที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบแล้วกระเจิงออกมาอย่างสอดคล้องกับกฎของแบรกก์ เรียกว่าระนาบแบรกก์ (Bragg plane) และมุมที่รังสีสะท้อนทำกับแนวที่ขนานกับรังสีตกกระทบเรียกว่ามุมเลี้ยวเบน (diffraction angle) ซึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของมุมสะท้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของแบรกก์

2.1.5 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

ข้อมูลที่ได้จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในโครงสร้างผลึกสามารถนำไปคำนวณค่าคงที่โครงผลึกได้ โดยพิจารณาได้ในแต่ละโครงผลึกดังนี้

2.1.5.1 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์

โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ จัดอยู่ในรูปผลึกแบบคิวบิก (cubic) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่โครงผลึก ค่าดัชนีมิลเลอร์ และระยะระหว่างระนาบที่ขนานกันดังสมการ

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.2 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์

โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์หาได้จากสมการ

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3}\left[\frac{h^2 + hk \;\; + l^2}{a^2}\right] + \frac{l^2}{c^2} \tag{2.3}$$

เมื่อ a, c คือ ค่าคงที่ของโครงผลึก

(h k l) คือ ดัชนีมิลเลอร์ที่บอกชื่อระนาบของผลึก

2.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ [งามนิตย์และคณะ, 2543; ฐิตินัยและคณะ, 2546; งามนิตย์และคณะ,2549]

การศึกษาสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานและขนาดช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำโดยจะกล่าวถึงลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำและกระบวนการดูดกลืนแสงของอิเล็กตรอน, ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์, สเปกตรัมการส่งผ่านแสงและการคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน

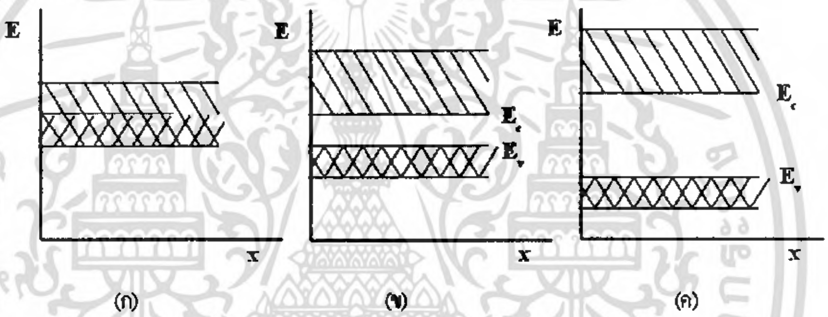
2.2.1 ทฤษฎีโครงสร้างแถบพลังงาน

ในโลหะอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอกสุด เรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอนและถือว่าเป็นอิเล็กตรอนอิสระไม่ถูกยึดอยู่ที่อะตอมหนึ่งอะตอมใดโดยเฉพาะซึ่งไม่เหมือนกับอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำหรือฉนวนที่ไม่เป็นอิสระอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดกระแสอาจถูก เรียกว่า ตัวนำอิเล็กตรอนตัวนำ (conduction electron) และในผลึกของแข็งอาจพิจารณาได้ว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ในผลึกซึ่งมีศักย์แบบเป็นคาบ (periodic potential) อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากระยะห่างของไอออนคอร์(ion core) มีระยะเท่ากันตลอดซึ่งเท่ากับค่าคงที่ของโครงผลึก(lattice constant) ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานของอิเล็กตรอนซึ่งจะมีได้นั้นจะมีได้ในแถบหนึ่งแถบใดเท่านั้นคือ แถบยินยอม(allowed band)และแถบพลังงานที่จะมีได้นี้จะถูกแบ่งกั้นไว้ด้วยแถบพลังงานต้องห้ามซึ่งหมายถึงพลังงานในย่านนี้อิเล็กตรอนไม่สามารถที่จะมีได้ แถบดังกล่าวถูกเรียกว่า “แถบต้องห้ามหรือช่องว่างแถบพลังงาน”(forbidden band or energy gap) ภายในแถบยินยอมหนึ่งๆอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนี้จะแสดงตัวเหมือนกับอิเล็กตรอนอิสระทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 โครงสร้างแถบพลังงาน ของโลหะ สารกึ่งตัวนำและฉนวน

ลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงานของของแข็งสามารถบ่งบอกคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุของแข็งนั้นๆได้เป็นอย่างดี สภาพความนำไฟฟ้าของสารใดๆ จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับจำนวนหรือปริมาณของความหนาแน่นของประจุพาหะที่มีอยู่กรณีที่จะมีการนำไฟฟ้าได้แล้วจำเป็นที่จะต้องมีสถานะซึ่งว่างอยู่ในแถบพลังงานและเมื่อมีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนที่ระดับต่างๆซึ่งอยู่ใต้ระดับพลังงานที่ว่างอยู่ก็จะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นและเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในสถานะที่ว่างอยู่นั้น จากนั้นอิเล็กตรอนตัวอื่นๆก็จะเคลื่อนที่ตาม กันไปอย่างนี้จะทำให้เกิดการไหลของกระแสอิเล็กตรอนขึ้น ตัวนำที่ดีจะต้องมีพาหะซึ่งอยู่ในระดับต่างๆ ภายในแถบพลังงานซึ่งประกอบด้วยแถบพลังงานสองแถบ คือ แถบนำและแถบวาเลนซ์ซ้อน เหลื่อมกันซึ่งคือโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะนั่นเอง ดังรูปที่ 2.10 (ก)



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างแถบพลังงาน

ก. โลหะ

ข. สารกึ่งตัวนำ

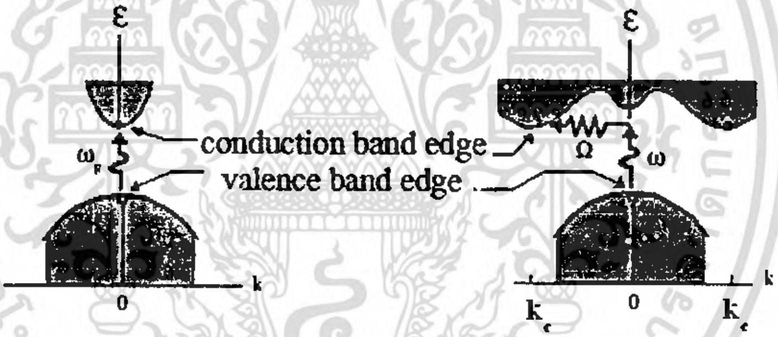
ค. ฉนวน

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 ($h\nu = E_g$) อิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานโฟตอนนั้นและอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นจึงย้ายสถานะพลังงาน (transition) จากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำกลายเป็นอิเล็กตรอนและโฮลอิสระโดยไม่มีการสูญเสียพลังงานให้แก่โครงสร้างผลึกคือ ไม่มีการสร้างหรือทำลายล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟนอน (phonon creation or phonon annihilation) เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ การดูดกลืนโฟตอน (absorption coefficient) กับพลังงาน โฟตอนจะได้กราฟดังรูปที่ 2.12 (ก) ส่วนลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง คือโครงสร้างแถบพลังงานที่มีจุดต่ำสุดของแถบนำกับจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ ไม่อยู่ที่ตำแหน่งเวกเตอร์คลื่นเดียวกันหรืออยู่ที่ตำแหน่งที่มีโมเมนตัมคลื่นเท่ากัน ดังนั้นอิเล็กตรอนต้องได้รับพลังงานโฟตอนที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงานแล้วจะทำให้เกิดกระบวนการสร้างหรือทำลายโฟนอนเกิดขึ้น $h\nu = E_g \pm \hbar\Omega$ เมื่อ Ω คือ ค่าความถี่เชิงมุมของพลังงาน โฟนอนนั่นคือ เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น ทำให้เกิดการย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบ วาเลนซ์ไปยังต่ำสุดของแถบนำ จะมีการปล่อยโฟนอน(emitted phonon)ที่มีความถี่เชิงมุมมีเวกเตอร์คลื่น $k \cong k_c$ ออกมาจึงเกิดการสร้างโฟนอนและสร้างอิเล็กตรอนและโฮลอิสระแสดงดัง รูปที่ 2.11 (ข) และเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน โฟตอนกับพลังงานโฟตอนจนได้กราฟดังรูป 2.12 (ข)

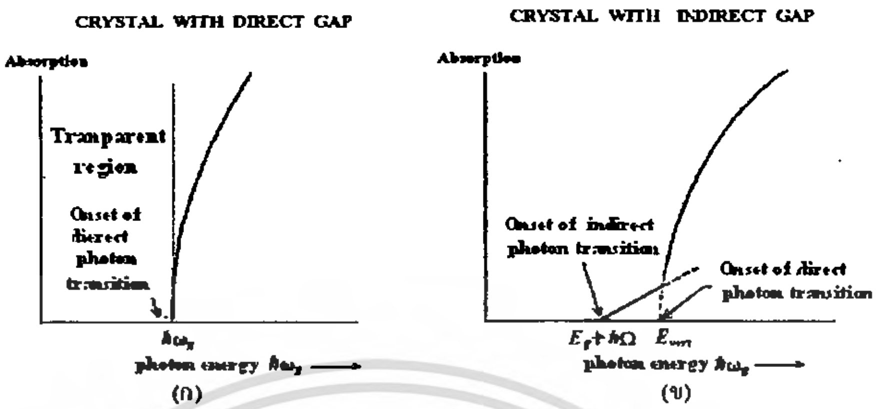


รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน และการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์

ก. โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง

ข. โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอน กับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์

ก. โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง

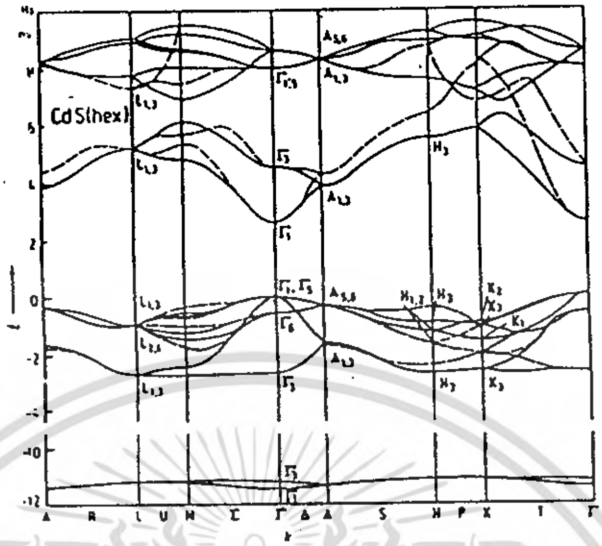
ข. โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีกระบวนการสร้างโฟนอน

2.2.2 โครงสร้างแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์

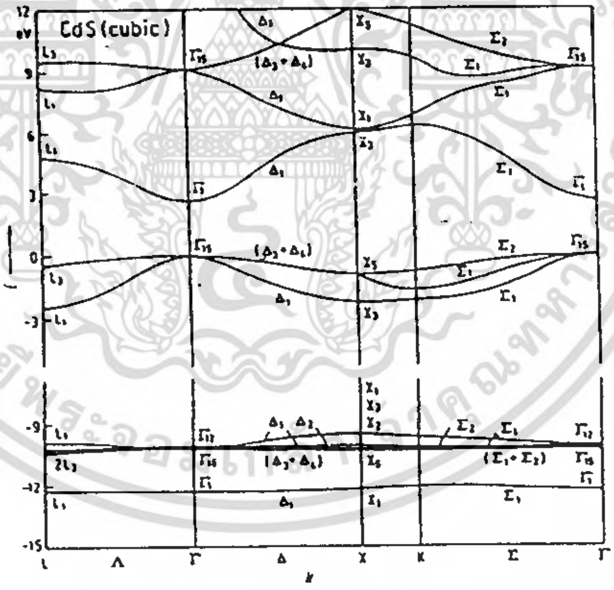
แคดเมียมซัลไฟด์ มีลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงคือ มีการย้ายสถานะพลังงาน ของอิเล็กตรอนจากตำแหน่งสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปจุดต่ำสุดของแถบนำซึ่งอยู่ที่เวกเตอร์คลื่นค่าเดียวกันหรือ ที่ตำแหน่ง Γ ของบริลลันโซนของโครงสร้างผลึกทั้งแบบซิงค์เบลนด์และเวิร์ทไซท์ ดังรูปที่ 2.13 และ 2.14 โดยที่โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์และโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์มีค่าช่องว่างแถบพลังงานเท่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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึก แบบ เวิร์ทไซท์ โดยไม่คิดการคับปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิท



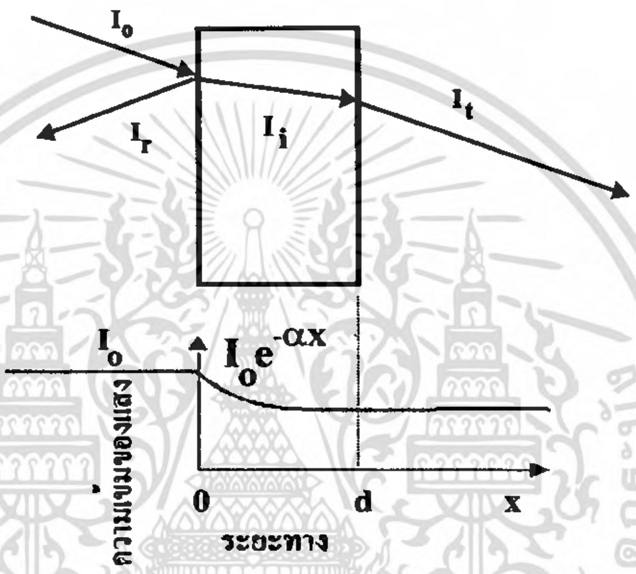
รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรงของ CdS ที่มีโครงสร้างผลึก แบบซิงค์เบลนด์โดยไม่คิดการคับปลิงระหว่างสปิน-ออร์บิท

76634

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การส่งผ่านแสง [งามนิตย์ และคณะ, 2543; ฐิตินัย และคณะ, 2546]

การศึกษาวิธีวัดสเปกตรัมการสะท้อนและการส่งผ่านแสงนี้จะกล่าวถึงสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงและองค์ประกอบของการวัดสเปกตรัมการส่งผ่านแสง เมื่อแสงเดินทางไปกระทบฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของฟิล์มบาง บางส่วนของแสงจะเดินทางเข้าไปในแผ่นฟิล์มบางและถูกดูดกลืนดังรูปที่2.15



รูปที่ 2.15 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง

เมื่อ	I_O	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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$I_r = RI_0 \tag{2.5}$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางมีค่า

$$I_i = I_0 - I_r = I_0 - RI_r = (1-R)\,I_0 \tag{2.6}$$

เมื่อแสงนี้เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางจะถูกดูดกลืนทำให้ความเข้มแสงภายในแผ่นฟิล์มบางลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลตามระยะทาง ดังนั้นความเข้มแสงที่ส่งผ่านฟิล์มบางมีค่าดังสมการ

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

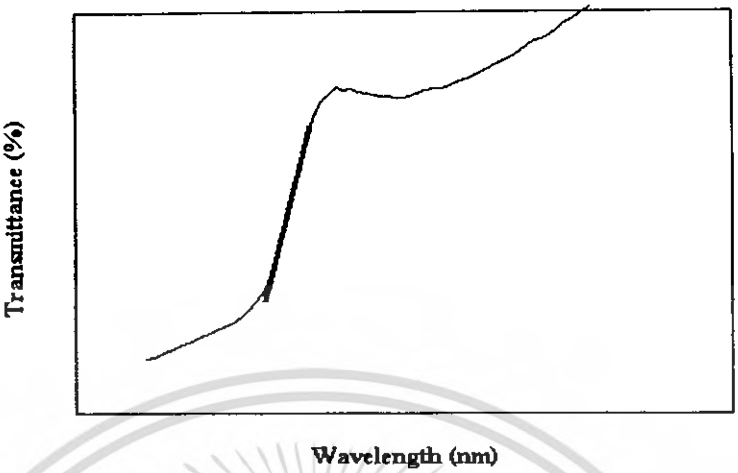
ถ้าไม่มีการสะท้อนแสงที่ผิวด้านหลังสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสงจะมีค่าเท่ากับ

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

2.3.1 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่นโดยเส้นทึบจะแสดงขอบการดูดกลืนพื้นฐาน

การหาค่าของช่องว่างแถบพลังงานสามารถพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง(α) ของสารกึ่งตัวนำจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (T) จากรูปที่ 2.15 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบจากด้านซ้ายของฟิล์มบาง (I_o) ความเข้มแสงภายในฟิล์มบางจะลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงโดยทั่วไป(R) มีค่าน้อยมากจะได้

$$T = e^{-\alpha d} \tag{2.9}$$

ดังนั้น

$$\alpha = -\frac{1}{d}\ln T \tag{2.10}$$

ที่กล่าวมา เป็นการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงโดยไม่คิดถึงการสะท้อนของแสงสำหรับกรณีการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง เนื่องจากการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับค่าช่องว่างแถบพลังงาน ซึ่งมีลักษณะเป็นพาราโบลาช่องว่างแถบพลังงานของแผ่นฟิล์มบางประมาณได้ โดยการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ซึ่งจะถูกดูดกลืนเมื่อแสงที่ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบางมีค่าพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าของแถบพลังงานต้องห้ามที่ขอบของการดูดกลืนค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะมีค่าเป็น

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A คือ ค่าคงที่ และสมการที่ (2.11) ใช้กับสารที่มีสถานะพลังงานแบบตรง

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

เมื่อ B คือ ค่าคงที่ และสมการที่ (2.12) ใช้กับสารที่มีสถานะพลังงานแบบเฉียง

2.4 สมบัติทางไฟฟ้า [งามนิตย์ และคณะ, 2543; ฐิตินัย และคณะ, 2546]

จากทฤษฎีแถบพลังงานนั้นสารกึ่งตัวนำที่มีขนาดช่องว่างแถบพลังงานใหญ่เกินกว่า 2 อิเล็กตรอนโวลต์ พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิห้องไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดพาหะอิสระได้ดังนั้นพาหะอิสระของสารกึ่งตัวนำประเภทนี้จึงน้อยส่วนใหญ่มาจากระดับพลังงานที่ปรากฏในช่องว่างแถบพลังงาน ซึ่งจะเป็นทั้งระดับพลังงานผู้ให้และระดับพลังงานผู้รับหรือศูนย์กลางการรวมตัวของพาหะ (recombination center) ดังนั้นสภาพนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิใดๆของสารกึ่งตัวนำจึงขึ้นกับความหนาแน่นของพาหะอิสระเหล่านี้

2.4.1 สภาพนำไฟฟ้า

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

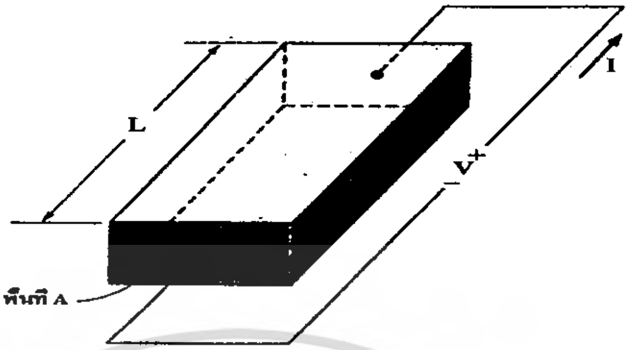
$$J = \sigma E = e(\mu_n n + \mu_p p)E \tag{2.13}$$

เมื่อ	μ_n , μ_p	คือ	สภาพคล่องของอิเล็กตรอนและโฮล ตามลำดับ
	n	คือ	ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน
	p	คือ	ความหนาแน่นของโฮล

ส่วนกลับของสภาพนำไฟฟ้า เรียกว่า สภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity: ρ) ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงการจ่ายแรงดันให้กับสารตัวอย่าง

ถ้ามีแท่งสารกึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งให้แรงดันและเกิดกระแส I แล้วจะได้ว่า

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

และ

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

สามารถเขียนสมการที่(2.16) ใหม่ได้เป็น

$$\frac{I}{A} = \sigma(\frac{V}{L}) \qquad (2.17)$$

หรือ

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

สมการที่ (2.18) คือ กฎของโอห์มสำหรับสารกึ่งตัวนำ

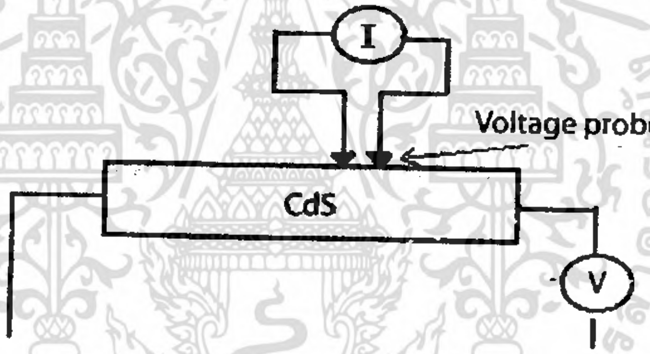
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า

วิธีการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำสามารถกระทำได้หลายวิธีทั้งวิธีที่ใช้ส่วนของอุปกรณ์ต่อเข้าสัมผัสกับชิ้นสารตัวอย่างและวิธีที่ไม่ต้องสัมผัสโดยตรงสำหรับวิธีที่จะกล่าวถึงในที่นี้เป็นวิธีที่ใช้การสัมผัสกับชิ้นสารตัวอย่าง ซึ่งทำโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในชิ้นสารตัวอย่างแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดบนชิ้นสารนั้น

2.4.2.1 การวัดความต้านทานจำเพาะโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น

การวัดด้วยวิธีนี้มีลักษณะการวัดคล้ายคลึงกับการวัดโดยตรงข้อแตกต่างตรงที่ลักษณะของ ขั้วไฟฟ้าของการวัดศักย์ไฟฟ้าจะวัดบนสารตัวอย่าง ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.18 วิธีการวัดชนิดนี้เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นจากแบบแรก เพื่อที่จะกำจัดศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อหัวท้ายของผิวสัมผัสให้น้อยลงและสามารถตรวจสอบความสกปรกบนพื้นผิวของชิ้นสารตัวอย่างได้ด้วย



รูปที่ 2.18 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น

ข้อจำกัดของการวัดด้วยวิธีนี้ คือ จะต้องวัดบนสารตัวอย่างที่มีความหนาสม่ำเสมอและ มีรูปทรงเรขาคณิตแน่นอน โดยพยายามปล่อยให้กระแสผ่านเข้าไปในสารตัวอย่างให้น้อยที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนภายในสารเพราะค่าความต่างศักย์ที่วัดได้อาจจะไม่ถูกต้องอีกทั้งในการวัดทุกครั้งจะต้องใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงและจุดที่ต้องการวัดศักย์ไฟฟ้าควรจะอยู่ห่างจากจุดที่ปล่อยกระแสเข้าและออกพอสมควรเพื่อป้องกันสารเจือเข้าไปทำการรวมตัวระหว่างจุดที่กำลังจะวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า หากมีสารเจือเข้ามารวมตัวที่บริเวณที่วัดนี้จะมีผลทำให้เกิดการรวมตัวกับพาหะข้างน้อย (minority carriers) บริเวณนั้น ทำให้การวัดค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้สูงเกินความเป็นจริง นอกจากนี้ควรคำนึงถึงความสม่ำเสมอของเส้นสมศักย์ (equi-potential lines)โดยการวัดที่บริเวณตรงจุดที่คิดว่าเป็นเส้นสมศักย์นั้นสม่ำเสมอ (ตรงกลางของสารตัวอย่าง) สัดส่วนระหว่างระยะขั้วที่วัดศักย์ไฟฟ้าต่อพื้นที่ตรงจุดที่ปล่อยกระแสเข้า-ออกจะต้องมีค่ามากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามเท่าL/A >3 เมื่อ L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วที่วัดศักย์ไฟฟ้า และ A คือ พื้นที่บริเวณให้กระแส ข้อที่ควรคำนึงถึงอีกประการก็ คือโครงสร้างทางผลึกว่ามีโครงสร้างชนิดใดเป็นรูปลูกบาศก์หรือไม่ ถ้าไม่ใช่จะต้องทราบทิศทางของการวัดว่ากำลังวัดอยู่ในทิศทางหรือระนาบใดของผลึก

ข้อดีของการวัดแบบสองขั้วในหลายๆตำแหน่งนี้จะสามารถแยกสภาพต้านทานไฟฟ้าที่สภาพผิวระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำและความต้านทานจำเพาะภายในของสารกึ่งตัวนำได้

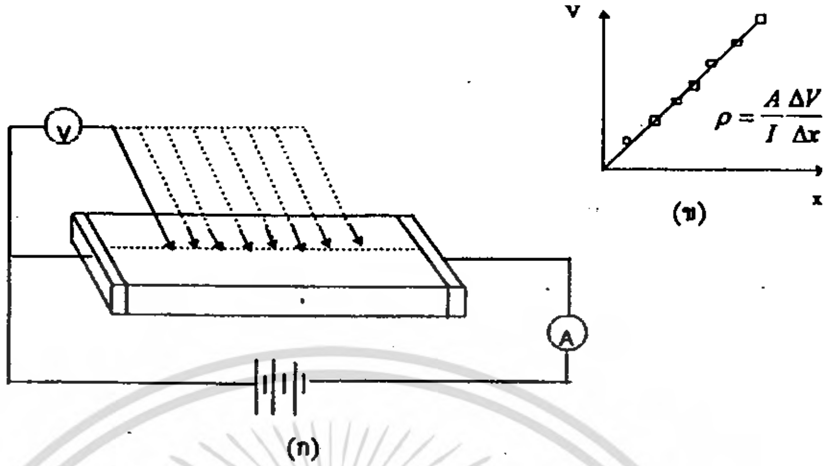
สรุปข้อแนะนำในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะแบบสองขั้วเชิงเส้น

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

ข้อแก้ไข

- ควรทำการวัดหลายๆจุดและต้องใช้ความระมัดระวังเพราะอาจทำให้สารตัวอย่างเกิดความเสียหายได้ซึ่งจะส่งผลไปถึงปรากฏการณ์ภายในสารตัวอย่าง
- ระยะระหว่างขั้วไฟฟ้าควรจะให้สั้นๆเพื่อจะได้วัดตรงจุดที่มีเส้นสมศักย์
- วัดบนสารตัวอย่างที่ใหญ่และมีรูปร่างทรงเรขาคณิตที่แน่นอน
- อาจจะแก้ไปด้วยวิธีตรึงที่ขั้วหนึ่งและอีกขั้วหนึ่งเลื่อนตำแหน่งออกไปเป็นระยะๆ โดยมีมาตราส่วนบอกระยะแล้วนำมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.19(ก) และ (ข) ความชันที่ได้จะเป็นค่าความต้านทานจำเพาะทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงการวัดความต้านทานแผ่นโดยวิธีสองขั้วเชิงเส้น

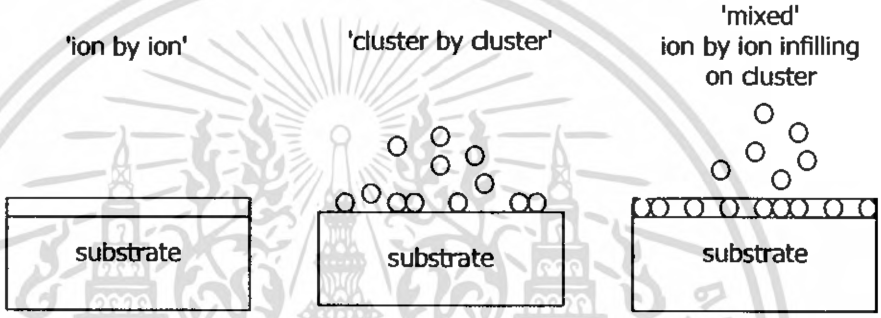
ก. การวัดแบบสองขั้วโดยมีการเลื่อนระยะที่ขั้วหนึ่ง

ข. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับระยะทางที่ได้จากการวัดชนิดเลื่อนขั้วไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง CdS ด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมี [Lee, 2003, 2004; งามนิตย์ และคณะ, 2543; ฐิตินัย และคณะ, 2546]

ฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีสารตั้งต้นประกอบด้วยแคดเมียมซัลเฟต ($CdSO_4$) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของแคดเมียมไอออน (Cd^{2+}) ไทโอยูเรีย ($SC(NH_2)_2$) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของซัลเฟอร์ไอออน (S^{2-}) และแอมโมเนีย (NH_3) โดยเลือกใช้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นให้เหมาะสม ได้ค่า pH ประมาณ 10-11 และอุณหภูมิประมาณ 80-90°C โดยในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง CdS คาดว่าจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



รูปที่ 2.20 แผนภาพแสดงกลไกในการเกิดผลึกเป็นฟิล์มบางที่เตรียมโดยใช้เทคนิคการอาบสารละลายทางเคมี

ก. กระบวนการเฮทเทอโรจีเนียส

ข. กระบวนการโฮโมจีเนียส

ค. กระบวนการผสมระหว่างเฮทเทอโรจีเนียสและโฮโมจีเนียส

2.5.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยา

ฟิล์มบาง CdS เกิดจากเกลือแคดเมียมในสารละลาย NH_3 โดยเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$$Cd^{2+}(ac) + 4NH_3(ac) \longleftrightarrow Cd(NH_3)_4^{2+} \quad K_c = 10^{-7.4} \qquad (2.31)$$

$$SC(NH_2)_2 + OH^- \longleftrightarrow SH^- + CN_2H_2 + H_2O$$

$$SH^- + OH^- \longleftrightarrow S^{2-} + H_2O$$

ดังนั้น
$$SC(NH_2)_2 + 2OH^- \longleftrightarrow S^{2-} + CN_2H_2 + 2H_2O \qquad (2.32)$$

$$Cd(NH_3)_4^{2+} + S^{2-} \longleftrightarrow CdS + 4NH_3 \quad K_{sp} = 10^{-2} \qquad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก (2.31) เกลือ $CdSO_4$ แตกตัวให้ Cd^{2+} จะรวมตัวกับแอมโมเนีย NH_3 กลายเป็นไอออนเชิงซ้อนที่เรียกว่าแคดเมียมเตตระแอมมีน (Cadmium Tetraammine Complex ion;$Cd(NH_3)_4^{2+}$) จากนั้นแตกตัวให้ Cd^{2+} แล้วรวมตัวกับ S^{2-} เกินกว่าค่าผลของความสามารถในการละลาย (solubility product; K_{sp}) ของ CdS ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.1×10^{-28} ก็ปรากฏคอลลอยด์ของแคดเมียมซัลไฟด์ขึ้นในสารละลาย

โดยปกติ NH_3 จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความเข้มข้นของ Cd^{2+} ดังนั้นจึงนิยมใช้ NH_3 ที่มีความเข้มข้นมากเพื่อไม่ให้ความเข้มข้นของ Cd^{2+} และ S^{2-} มีค่าเกินกว่าค่าผลของความสามารถของการละลายของ $Cd(OH)_2$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.2×10^{-14} เพราะจะทำให้เกิดเป็นคอลลอยด์ของ $Cd(OH)_2$ แทนที่จะเป็น CdS ดังสมการ (2.34)

$$Cd^{2+}(ac) + 2OH^{-} \longleftrightarrow Cd(OH)_2 \qquad (2.34)$$

การเกิดฟิล์มบาง CdS ประกอบด้วยสามกลไกด้วยกัน คือ

1. การจับ $Cd(OH)_2$ ที่ผิวแผ่นรองรับ

$$Cd(OH)_2 + 2OH^{-} + site \longleftrightarrow [Cd(OH)_2]_{abs} + 4NH_3 \qquad (2.35)$$

ซึ่งปฏิกิริยาสามารถผันกลับได้ความเข้มข้นของ NH_3 ประมาณ 0.8 – 2.5 โมลาร์

2. การจับไทโอยูเรียเอาไว้โดยทำให้เกิดองค์ประกอบเชิงซ้อนที่ไม่เสถียร

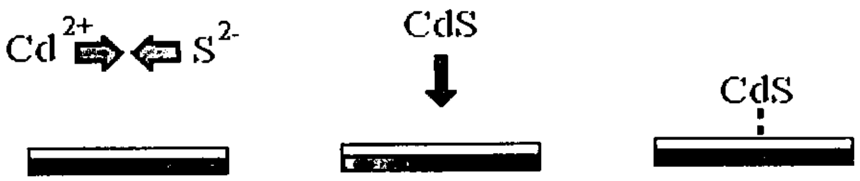
$$[Cd(OH)_2]_{abs} + SC(NH_2)_2 \longrightarrow [Cd(OH)_2SC(NH_2)_2]_{abs} \qquad (2.36)$$

3. การเกิด CdS และการเกิดที่อยู่ใหม่โดยการแตกตัวขององค์ประกอบเชิงซ้อน

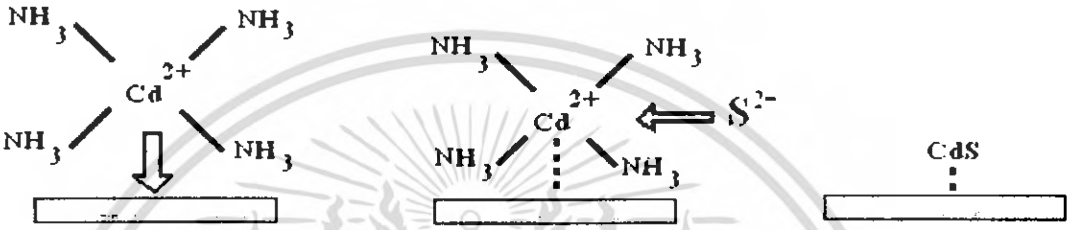
$$[Cd(OH)_2SC(NH_2)_2]_{abs} \longrightarrow CdS + CN_2H_2 + 2H_2O + site \qquad (2.37)$$

การเกิดฟิล์มบางในสมการ (2.31) ถึง (2.33) เรียกว่า การตกผลึกแบบโฮโมจีเนียส (homogenous preciptation) หรือ การตกผลึกแบบกลุ่มก้อนต่อกลุ่มก้อน (cluster by cluster) ดังแสดงตามรูปที่ 2.21 ส่วนสมการ (2.34) ถึง (2.36) เรียกว่าแบบเฮทเทอโรจีเนียส (heterogenous preciptation) หรือการตกผลึกแบบไอออนต่อไอออน (ion by ion) ดังแสดงตามรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับโดยกระบวนการโฮโมจีเนียส



รูปที่ 2.22 แสดงการเกิดฟิล์ม CdS บนฐานรองรับโดยกระบวนการเฮทเทอโรจีเนียส

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+} กลายเป็นไอออนเชิงซ้อน ดังสมการ (2.31) ถึง (2.38) ซึ่งไอออนเชิงซ้อนจะแตกตัวให้ไอออนอิสระดังสมการ

$$Cd(NH_3)_4^{2+} \longleftrightarrow 4NH3 + Cd^{2+} \quad K_c = 10\text{-}7.4 \qquad (2.38)$$

เมื่อพิจารณาค่าของ K_{sp} และค่าคงที่สมดุล K_c จะเห็นว่า CdS สามารถตกผลึกได้ง่ายโดยทั่วไป การเกิดฟิล์มบาง CdS มักเกิดผลึก แบบโฮโมจีเนียสและ แบบเฮทเทอจีเนียส ซึ่งการเกิดแบบ

โฮโมจีเนียส มักจะพบมากในช่วงท้ายของการเกิดฟิล์มบางมีผลทำให้ฟิล์มบางมีคุณภาพลดลง กล่าวคือโปร่งแสงน้อยลง และมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ผิวด้านนอกหลุดกร่อนได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การเตรียมฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่น อัลตราโซนิค [งามนิตย์ และคณะ, 2549]

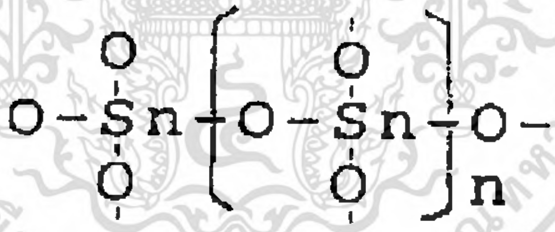
การพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (ultrasonic spray pyrolysis) คือ กรรมวิธีแบบหนึ่งที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบางโดยการพ่นละอองสารลงบนฐานรองที่ถูกให้ความร้อนละอองสารจะไปก่อตัวเป็นฟิล์มบางบนกระจกสไลด์

2.6.1 กระบวนการการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในสารละลาย

ในการเตรียมฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ด้วยวิธีการพ่นละอองสารเคมีสารตั้งต้นที่เป็นสารละลายจะอยู่ในรูปพอลิเมอร์ Sn-O ดังที่แสดงในรูปที่ 2.23 ซึ่งกระบวนการในการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเป็นไปตามสมการที่ (2.39) และ (2.40)

$$SnCl_4 + 2H_2O \rightarrow SnO + 4HCl + \frac{1}{2}O_2 \tag{2.39}$$

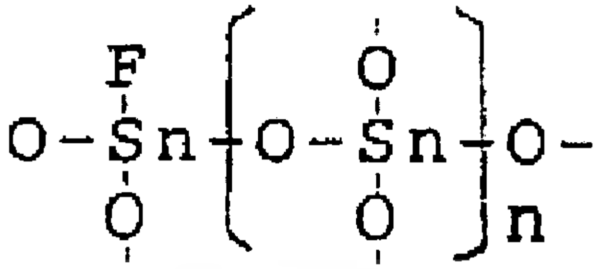
$$SnO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow SnO_2 \tag{2.40}$$



รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะโมเลกุลที่เกิดขึ้นภายในสารละลาย

กรณีที่มีการเจือด้วยอะตอมของฟลูออรีน(F) อะตอมของฟลูออรีนจะเข้าไปแทนที่ออกซิเจนบางตัวในโมเลกุลของ SnO_2 จะทำให้เกิดเป็น SnO_2: F ดังรูปที่ 2.24 การเกิดปฏิกิริยานั้นจะเป็นไปตามสมการที่ (2.41)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

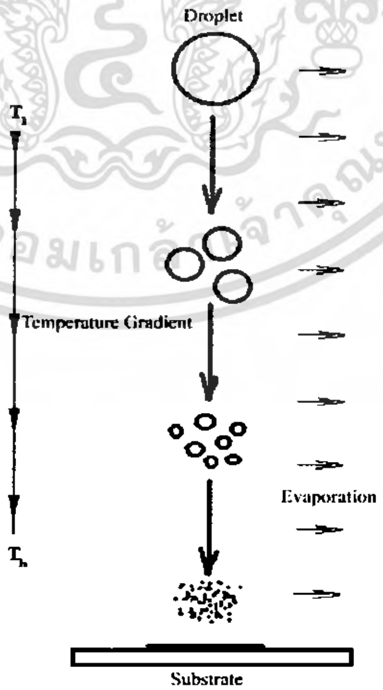


รูปที่ 2.24 ลักษณะของโมเลกุลของ SnO_2 ที่เจือปนด้วย F

$$SnO + \frac{1}{2}O_2 + NH_4F \rightarrow SnO_2 : F + NH_3 + \frac{1}{2}H_2 \qquad (2.41)$$

2.6.2 กระบวนการการเกิดฟิล์มบาง

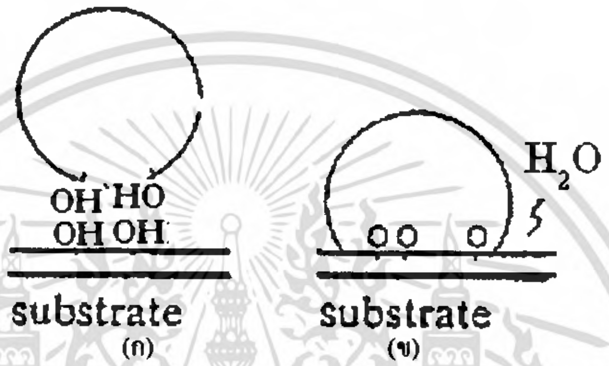
เมื่อสารละลายถูกทำให้กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กโดยวิธีการใช้อัลตราโซนิคช่วยหรือวิธีการใช้ลมอัดก็ตามนั้น เมื่อหยดของสารละลายเข้าใกล้ฐานรองรับมากขึ้นอุณหภูมิ บริเวณใกล้กับฐานรองรับก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย เนื่องจากมีการให้ความร้อนกับฐานรองรับ ซึ่งผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะส่งผลให้ขนาดของหยดของสารละลายมีขนาดเล็กลงด้วย เนื่องจากเมื่อหยดของสารละลายได้รับความร้อนจะทำให้สารละลายบางส่วนมีการระเหยออกไปทำให้หยดของสารละลายมีขนาดเล็กลง ดังที่แสดงรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงการลดลงของขนาดของหยดสารละลายตามระยะทางจากฐานรองรับ

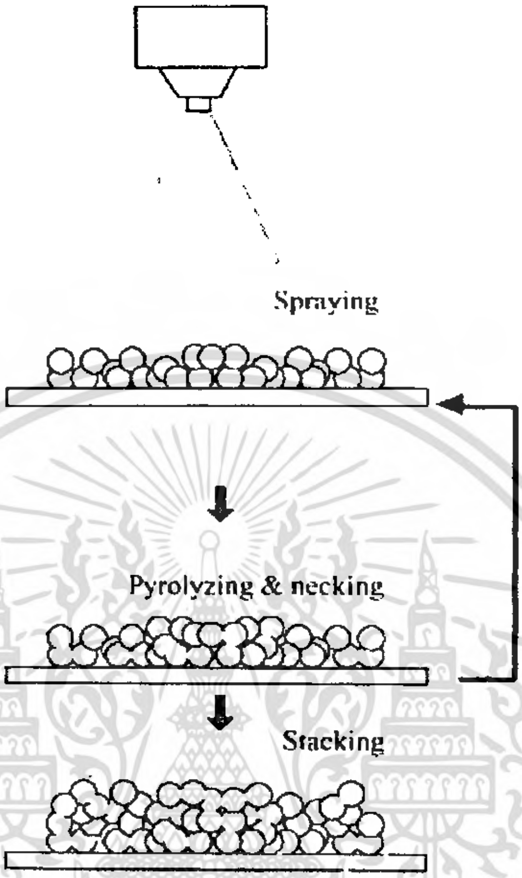
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหยดของสารละลายตกลงบนพื้นผิวของฐานรองรับ หยดของสารละลายจะเกิดปฏิกิริยาการสูญเสียน้ำ (dehydration) ดังแสดงในรูปที่ 2.26 (ก) และจะเกาะกับแผ่นของฐานรองรับดังรูปที่ 2.26 (ข) เมื่อปริมาณของหยดสารละลายที่จับอยู่บนพื้นผิวของฐานรองรับมีปริมาณที่มากพอ อีกทั้งยังได้รับความร้อนจากแผ่นฐานรองรับทำให้แต่ละหยดของสารละลายที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของฐานรองรับนั้นเกิดการเชื่อมต่อกันและเมื่อมีปริมาณมากขึ้นจะทำให้เกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นเนื้อฟิล์มในที่สุดซึ่งกระบวนการดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.26 แบบจำลองการเกิดฟิล์มบางบนผิวของฐานรองรับ
ก. การเกิดปฏิกิริยาที่เกิดการสูญเสียน้ำ
ข. การเกิดฟิล์มบางบนฐานรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แสดงการรวมตัวของฟิล์มบางที่เกิดจากวิธีการพ่นละอองสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในโครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่ทำการเจือด้วยฟลูออรีน (CdS:F) ด้วยวิธีอาบสารละลายเคมี บนกระจกที่เคลือบด้วยดีบุกออกไซด์ที่ทำการเจือด้วยฟลูออรีน (SnO_2:F) ที่มีปริมาณสารเจือ [F]/[Sn] เท่ากับ 20 wt % พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆได้แก่ ศึกษาโครงสร้างและขนาดของเกรนของฟิล์มด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ศึกษาการส่องผ่านทางแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยวัดความต้านทานแผ่นด้วยวิธีสองขั้วเชิงเส้นซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการทดลองและเครื่องมือการวิจัย

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง

- สารตั้งต้นที่ใช้ประกอบไปด้วย
    - อะซิโตน (CH_3COOH)
    - เอทธานอล (C_2H_5OH)
    - เมทธานอล (C_2H_3OH)
    - น้ำปลอดประจุ (DI water)
- แผ่นกระจกสไลด์ 12 x 75 มิลลิเมตร
- บีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร
- เตาให้ความร้อน
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิของ SHIMADEN รุ่น PID FP21
- เครื่องอัลตราโซนิค

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS : F โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี

- สารตั้งต้นที่ใช้ประกอบไปด้วย
    - แคดเมียมซัลเฟต ($CdSO_4 .8/3H_2O$)
    - ไทโอยูเรีย ($SC(NH_2)_2$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมโมเนีย (NH_3) 25%

แอมโมเนียมฟลูออไรน์ (NH_4F)

น้ำปลอดประจุ (DI water)

- กระจกสไลด์ใช้เป็นแผ่นรองรับฟิล์มบาง
- บีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร
- เตาให้ความร้อน
- แมกเนติกสเตอเรอร์
- เทอร์โมมิเตอร์
- เครื่องชั่งดิจิตอล (ที่มีตำแหน่งทศนิยมละเอียดถึง 4 ตำแหน่ง)
- แท่นยึด

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางด้านฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบางที่เตรียมได้

3.1.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

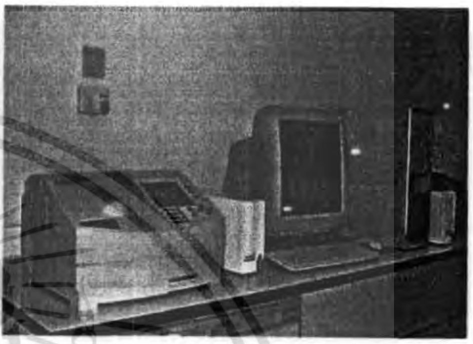
ในการศึกษาโครงสร้างของผลึกของฟิล์มบาง โดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 1830 รังสีเอ็กซ์ย่านCuK_α มีความยาวคลื่น 1.5418 อังสตรอมซึ่งใช้กระแส 30 มิลลิแอมป์และความต่างศักย์ 25 กิโลโวลต์

รูปที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์: D8 Advance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการส่งผ่านทางแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

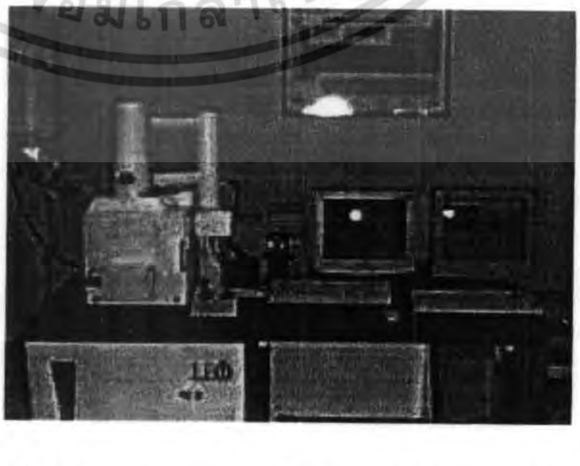
ในการศึกษาการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้นด้วยเครื่องUV-VIS แบบดับเบิลบีม สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น Heλios α ช่วง 190-1100 นาโนเมตร



รูปที่ 3.2 แสดงภาพถ่ายเครื่องUV-VIS แบบดับเบิลบีม สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น Heλiosα

3.1.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบางโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ในการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบางที่เตรียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น LEO 1455 VP กำลังขยาย 5000 เท่า และความต่างศักย์ 25 กิโลโวลต์



รูปที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายเครื่อง SEM รุ่น LEO 1455 VP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานแผ่น

-อิเล็กโตรมิเตอร์ยี่ห้อ Keithley รุ่น 610 CR

-กล่องอลูมิเนียม

-สายโคแอคเชียลและคอนเนคเตอร์แบบ BNC

-หลอดฮาโลเจนชนิด ELH (120 โวลต์ , 300 วัตต์)

รูปที่ 3.4 แสดงภาพถ่ายเครื่องอิเล็กโตรมิเตอร์ยี่ห้อ Keithley รุ่น 610 CR

วิธีการวัดค่าความต้านทานแผ่นในกรณีที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสง

1.นำฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วย F ทั้งที่ไม่มีการแอนนีล และที่มีการแอนนีลที่ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที นำมาทำรอยต่อ โดยใช้กาวเงินแต้มลงผิวหน้าของฟิล์มบางจำนวน 2 เส้นขนานกัน เพื่อทำเป็นขั้วไฟฟ้า

2.ทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปที่กาวเงินทั้ง 2 เส้นจากนั้นวัดค่ากระแสที่แหล่งจ่ายไฟตรงให้กับวงจร

3. นำแผ่นชิ้นงานใส่กล่องโลหะเพื่อลดสัญญาณรบกวน แล้วบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ ตกคร่อมขั้วทั้งสองพร้อมทั้งบันทึกค่ากระแสที่ไหลภายในวงจรกระแสที่วัดได้อยู่ในช่วง 10^{7}-10^{8} แอมแปร์

4. เพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับวงจร พร้อมทั้งบันทึกค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงกับกระแส โดยทำการวัดค่าความต้านทานประมาณ 10 ค่า

5. ฉายแสงด้วยหลอดไฟชนิดฮาโลเจน ELH ขนาด 120 โวลต์ 300 วัตต์ ที่ค่าความเข้มแสงประมาณ 950 ลักซ์ และ ทำการวัดค่าความต่างศักย์กับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการเขียนกราฟระหว่างกระแสในแนวแกน x และความต่างศักย์ในแนวแกน y
7. จากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์สามารถหาค่าความต้านทานแผ่นได้จากสมการ

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

โดยที่ W คือ ความกว้างของฟิล์มบาง

L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสอง

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

3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอมของธาตุ F

3.2.1 การเตรียมฐานรองรับ [งามนิตย์และคณะ , 2543 ; ฐิตินัยและคณะ , 2546]

การเตรียมฐานรองรับที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอมของธาตุF ด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมีที่เป็นกระจกสไลด์ที่มีขนาดความกว้าง 12 มิลลิเมตร และความยาว 75 มิลลิเมตร มีขั้นตอนดังนี้

1. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปทำความสะอาดด้วยไตรคลอโรเอทธีลีน
2. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยอะซีโตนในเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา 10 นาที
3. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเอทธานอลในเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา 10 นาที
4. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปกัดด้วยกรดกัดแก้วหรือไฮโดรฟลูออริก 10% เป็นเวลา 10 นาที และล้างด้วยน้ำปลอดประจุ
5. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ในน้ำปลอดประจุด้วยเครื่องอัลตราโซนิค เป็นเวลา 10 นาที จำนวน 3 ครั้ง
6. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปอบในเตาที่มีอุณหภูมิประมาณ 90°C เป็นเวลา 30 นาที
7. หลังจากทำการอบแผ่นกระจกสไลด์แล้วจึงนำแผ่นกระจกสไลด์ที่ได้นี้ไปทำการเคลือบฟิล์ม CdS : F ด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเตรียมฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนโดยการพ่นละอองสารเคมีที่เกิดจากการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก [งามนิตย์และคณะ, 2549]

1. เตรียมสารละลายดีบุกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารตั้งต้นทินไดคลอไรด์ไดไฮเดรต ($SnCl_2.2H_2O$) 4.513 กรัม ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ปริมาตร 8 มิลลิลิตร
2. ชั่งแอมโมเนียมฟลูออไรด์(NH_4F)โดยใช้อัตราส่วนฟลูออรีนต่อดีบุกต่างๆกัน
3. เติมน้ำปลอดประจุให้ได้ปริมาตรรวมเป็น 50 มิลลิลิตร
4. เติมเมทธานอลให้ได้ปริมาตรรวมเป็น 200 มิลลิลิตร
5. นำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 15 นาที
6. ให้อุณหภูมิฐานรองรับอยู่ที่ 400 °C
7. ปรับค่าความดันของก๊าซไนโตรเจน
8. เปิดเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิคเพื่อทำการพ่นละอองของสารเคมีเป็นเวลา 20 นาที
9. นำฟิล์มบางที่ได้ไปศึกษาสมบัติต่างๆ

3.2.3 การเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี [งามนิตย์และคณะ, 2543; ฐิตินัยและคณะ, 2546]

ในการเตรียมฟิล์มบาง CdS:F โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งสารตั้งต้นเกลือแคดเมียมซัลเฟต [$CdSO_4.8/3H_2O$] ความเข้มข้น 0.01โมล 0.3848 กรัม ไทโอยูเรีย [$SC(NH_2)_2$] ความเข้มข้น 0.05โมล 0.5709 กรัม และแอมโมเนียมฟลูออไรด์[NH_4F] 0.0031, 0.0164, 0.0329, 0.0493, 0.0657 กรัม ตามลำดับและเตรียมแอมโมเนียปริมาตร17.0 มิลลิลิตร
2. ละลายเกลือแคดเมียมซัลเฟตและแอมโมเนียมฟลูออไรด์ลงในน้ำปลอดประจุ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง
3. ละลายเกลือไทโอยูเรียลงในน้ำปลอดประจุ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง
4. นำกระจกสไลด์ที่ยึดด้วยแท่งเทฟลอนใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำปลอดประจุอยู่ประมาณ 100 มิลลิลิตร ซึ่งแช่อยู่ในอ่างปรับอุณหภูมิ 80 °C
5. เปิดสวิทซ์หมุนแท่งแมกเนติกสเตอเรอร์ตลอดเวลา อย่างช้าๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เทสารละลายแคดเมียมซัลเฟต 10 มิลลิลิตร ตามด้วยแอมโมเนีย ไทโอยูเรีย และแอมโมเนียมฟลูออไรด์ที่เตรียมไว้ลงบีกเกอร์ตามลำดับ
7. เมื่อสารละลายเริ่มเปลี่ยนสีให้วัดค่าpH ของสารละลายซึ่งจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 11 จากนั้นรอประมาณ 1 ชั่วโมง โดยระหว่างนั้นให้ควบคุมอุณหภูมิของอ่างอาบสารละลายเคมีและควบคุมอัตราการหมุนของแท่นยึดให้มีค่าคงที่สม่ำเสมอเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงให้นำออกจากบีกเกอร์จะพบว่าฟิล์มบางเคลือบติดอยู่บนแผ่นกระจกสไลด์นอกจากนี้ยังมีตะกอนของแคดเมียมซัลไฟด์เกาะอยู่ที่ผิวหน้าของฟิล์มบางและตกตะกอนอยู่ที่ก้นของบีกเกอร์
8. นำแผ่นกระจกที่เคลือบฟิล์มบางใส่ลงในน้ำปลอดประจุ แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิคประมาณ 30 นาที จากนั้นเปลี่ยนน้ำปลอดประจุแล้วทำการเขย่าอีก 2 ครั้ง เพื่อขจัดตะกอนที่อยู่ผิวหน้าของฟิล์มบางออกให้หมด
9. นำฟิล์มบางที่ได้มาเคลือบอีก 7 ครั้ง ตามขั้นตอนที่ 1-9 หลังจากครบแล้วนำมาเป่าให้แห้งด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์และเก็บในถุงที่ปิดผนึกอย่างดี
10. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์
11. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปวัดการส่งผ่านแสงในช่วง 400 - 800 นาโนเมตร
12. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ถ่ายผิวหน้าของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
13. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปวัดค่าความต้านทานแผ่น

รูปที่ 3.5 แสดงรูปถ่ายการเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการอาบสารละลายเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

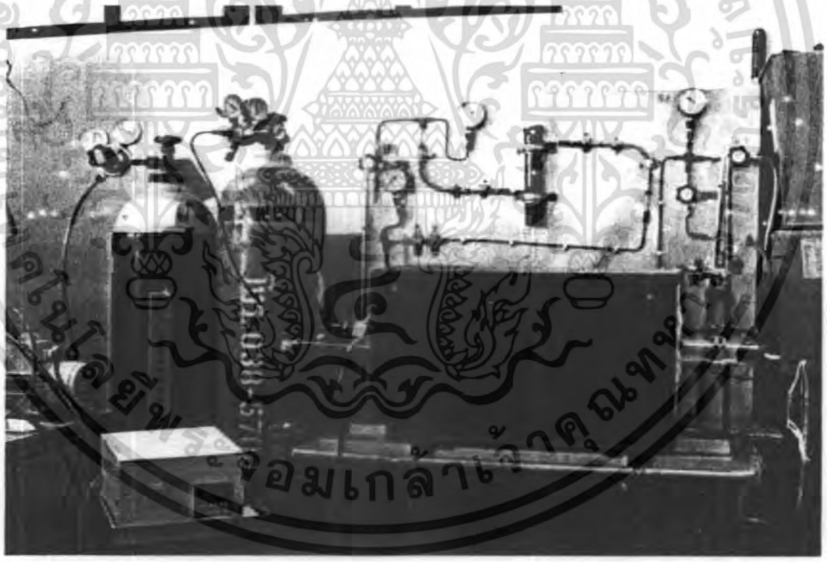
3.2.4 วิธีการแอนนีล [งามนิตย์และคณะ, 2543; ฐิติมัยและคณะ, 2546; งามนิตย์และคณะ, 2549]

เปิดวาล์วที่ถังก๊าซไนโตรเจนก่อนให้วาล์วละเอียดอยู่ที่ 100 kPa

1. ตรวจสอบวาล์วหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ให้อยู่ในตำแหน่งปิด(บิดไปทางขวามือ)
2. เสียบปลั๊กไฟปั๊มพ์ดูดอากาศ เพื่อให้ปั๊มพ์ทำงาน ตรวจสอบสายยางระบายอา-กาศออกสู่ภายนอกห้อง จากนั้นจึงค่อยๆ เปิดวาล์วหมายเลข 4 ช้าๆ เพื่อทำการดูดอากาศออกแล้วจึงค่อยปิดวาล์วหมายเลข 4
3. เปิดวาล์วหมายเลข 1 ช้าๆ โดยให้สเกลใน G1 ไม่เกิน 4 Psi (ไม่เช่นนั้นหลอดซิลิกาเจลจะระเบิดได้) ให้เปิดวาล์วหมายเลข 2 ต่อเนื่องทำให้สเกลใน G3 จะเพิ่มขึ้น
4. พยายามปรับวาล์วหมายเลข 1 ให้ก๊าซไนโตรเจนไหลช้าๆ โดยดูจากสเกลG3 จะเพิ่มขึ้นจนเต็มสเกล แล้วจึงปิดวาล์วหมายเลข 1 และ 2
5. ทำการดูดอากาศออกจากท่อแก้วโดยการเปิดวาล์วหมายเลข 4 จนสเกล G3 ลดลงต่ำสุด
6. ปิดวาล์วหมายเลข 4
7. เริ่มทำ 3, 4 และ 5 ซ้ำตามลำดับ อีก 2 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มี ก๊าซออกซิเจนเหลืออยู่
8. ปิดวาล์วหมายเลข 4
9. เปิดวาล์วหมายเลข 1 และ 2 ให้แก๊สไหลเข้าในท่อแก้วจนความดันในสเกล G3เพิ่มขึ้น เกือบเป็นศูนย์ แล้วจึงเปิดวาล์วหมายเลข 3 ปล่อยให้ฟองอากาศผุดขึ้นมาอย่างช้าๆส่วนสเกล G1 ต้องไม่เกิน 4Psi ซึ่งจะค่อยๆลดลงเมื่อเวลาผ่านไป
10. คอยตรวจสอบวาล์วหมายเลข 1 อย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้สเกล G1 เพิ่มขึ้นสูงเกินไป หรือ ลดต่ำลงจนเกินไป จากนั้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับเตาตามต้องการ เพื่อเป็นการรักษาอุณหภูมิของเตาให้คงที่ จะต้องใช้เซรามิกไฟ-เบอร์(ceramic fiber) อุดที่หัวเตาและท้ายเตา เพื่อป้องกันการไหลของอากาศเย็นเข้าไปในเตา
11. กดปุ่มโหมด ให้ไฟขึ้นที่ปุ่มโหมด แล้วกดปุ่มขึ้นลง เพื่อทำการปรับอุณหภูมิตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ใช้เวลาแอนนีล ≈ 20 นาที เมื่อครบแล้ว ให้ปิดสวิตช์ของแหล่งจ่ายไฟ แล้วเอาเซรามิกไฟเบอร์(ceramic fiber)ออก(ในขั้นตอนนี้ควรสวมถุงมือและหน้ากาก เพื่อความปลอดภัยจากเซรามิกไฟเบอร์ (ceramic fiber))
13. เมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 100°C ให้ทำการปิดวาล์วทุกตัวและเปิดจุกที่หัวท้ายเตาเอาสารตัวอย่างออก
14. เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ จึงเริ่มทำการจับเวลา 20 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่จะใช้ในการแอนนีล
15. ปิดสวิตช์ของแวริแอคไปที่เลขศูนย์
16. ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ ในการแอนนีลมีค่าเท่ากับ 300°C 400°C และ 500°C ต้องรอให้อุณหภูมิลดลงถึง 100°C จึงจะสามารถปิดวาล์วที่บอร์ดทั้งหมดปิดวาล์วละเอียด (สีดำ) และวาล์วหยาบ
17. จากนั้นรอให้เตาเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง นำสารตัวอย่างออก



รูปที่ 3.6 แสดงภาพถ่ายระบบเตาแอนนีลที่ทนอุณหภูมิได้ถึง 1200 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ฟิล์มบาง SnO_2: F ที่เตรียมได้โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

การเตรียมฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออรีนโดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีด้วยคลื่นอัลตราโซนิคจะใช้ระยะเวลาในการพ่นละอองสารเคมีเท่ากับ 20 นาทีโดยจะทำการเตรียมฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่มีปริมาณการเจือของฟลูออรีนแตกต่างดังนี้ 0 , 5 , 10 , 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งควบคุมอุณหภูมิฐานรองอยู่ที่ประมาณ 400 เคลวิน พบว่าลักษณะของฟิล์มบางที่ได้จะมีลักษณะใสส่งผ่านแสงได้ ถึงแม้จะเพิ่มปริมาณการเจือของสารเจือลักษณะทางกายภาพของฟิล์มจะคงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่บริสุทธิ์และมีการเจือด้วยฟลูออรีนที่เตรียม โดยวิธีการพ่นละอองสารเคมีด้วยคลื่นอัลตราโซนิคเมื่อให้ปริมาณความเข้มข้นของฟลูออรีนที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS: F ที่เตรียมได้โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี

จากการสังเกตการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการอาบสารละลายทางเคมี พบว่าฟิล์มที่ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สังเกตได้จากสีของสารละลายในบีกเกอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทันทีหลังจากเติมไทโอยูเรียลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายของเกลือแคดเมียมซัลเฟต โดยสารละลายจะปรากฏสีขาวขุ่นแล้วเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อนและสีเหลืองเข้มอย่างรวดเร็วโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 30 วินาที หลังจากจุ่มเป็นเวลา 60 นาที จึงนำฟิล์มบางขึ้นจากสารละลาย พบว่ามีอนุภาคแคดเมียมซัลไฟล์บางส่วนที่จับตัวเป็นตะกอนเกาะอยู่ที่ผิวของฟิล์มบางเป็นจำนวนมากแต่หลังจากเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิคแล้วเป่าให้แห้งด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์จะสังเกตเห็นว่าฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้ มีความเรียบสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น มีสีเหลืองส้ม มันวาว แสดงไว้ดังรูป 4.2 ซึ่งพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของผู้อื่นที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้ว [งามนิตย์และคณะ, 2543 ; ฐิตินัยและคณะ, 2546 ; Dona and Herrero; 1994, 1995]

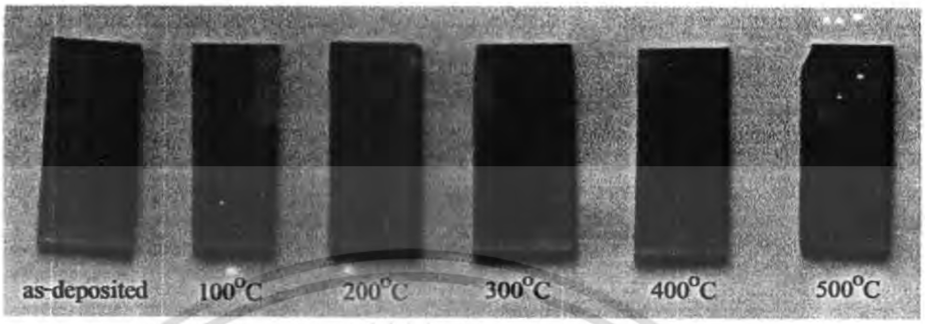
รูปที่ 4.2 แสดงฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมจากสารตั้งต้นเป็นผลึกผงที่มีความบริสุทธิ์สูง (99.999%) โดยวิธีการอาบสารละลายเคมีเมื่อไม่มีการแอนนีล

4.2.1 ฟิล์มบาง CdS ที่มีการเจือด้วยอะตอมของธาตุฟลูออรีนที่เตรียมด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมี

จากการสังเกตการเตรียมฟิล์มบาง CdS:F พบว่าฟิล์มบาง CdS:F เกิดปฏิกิริยาโฮโมจีเนียสที่ค่อนข้างเร็ว ซึ่งสามารถสังเกตได้จากสีสารละลายจะเปลี่ยนจากสีขาวขุ่นไปเป็นสีเหลืองส้มในระยะเวลาประมาณ 10-15 วินาที โดยลักษณะของฟิล์มบางที่เคลือบติดกระจกสไลด์จะมีคอลลอยด์ติดอยู่เมื่อนำไปเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิค แล้วเป่าให้แห้งด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์ สังเกตเห็นได้ว่าฟิล์มบางมีลักษณะผิวหน้าที่เรียบเป็นเนื้อเดียวกันสม่ำเสมอ มีความหนา และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความมันวาว จากนั้นนำเอาฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายทางเคมี เมื่อไม่มีการแอนนีลและเมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

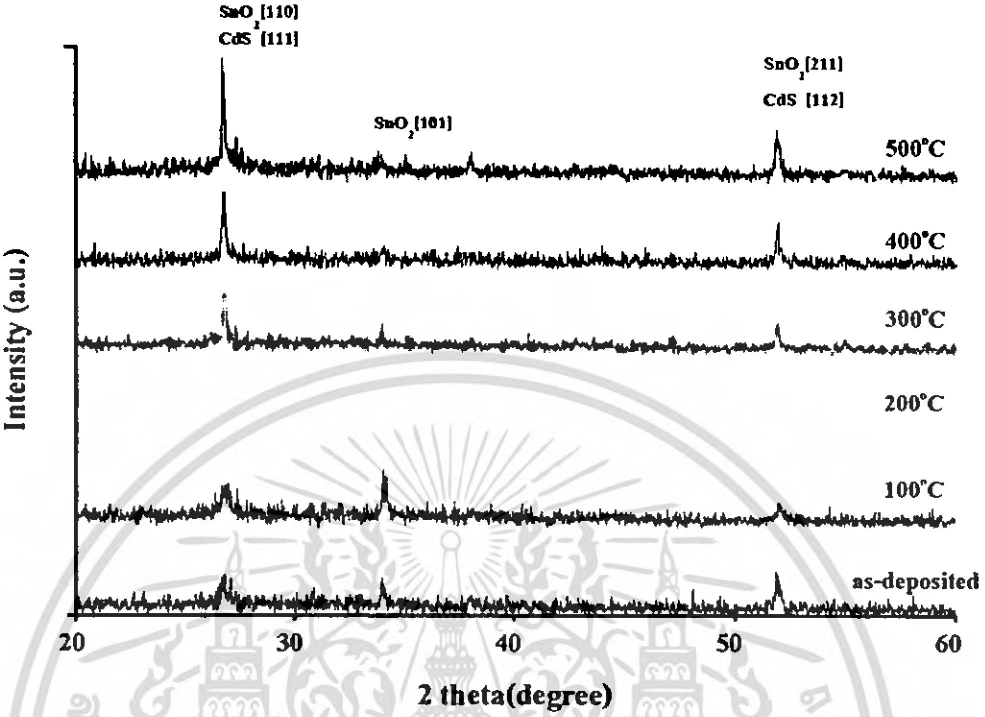
4.2.2 ฟิล์มบาง CdS:F เมื่อแอนนีลที่อุณหภูมิต่างๆ

รูปที่ 4.3 แสดงฟิล์มบาง CdS:F ที่แอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นฟิล์มบางจะมีสีเหลืองส้มและมีความเป็นมันวาวลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิแอนนีล ประมาณ 300-500 °C แสดงให้เห็นว่าฟิล์มบางที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกจากเฟสคิวบิกไปเป็นเฮ็กซะโกนอล ดังที่พบได้จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของผู้อื่นที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้ว [งามนิตย์ และคณะ, 2543]

4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบาง

เนื่องจากเราต้องการทราบถึงลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบาง CdS:F ที่เคลือบลงบนกระจกสไลด์ SnO_2 ดังนั้นเราจึงนำฟิล์มบาง CdS:F ไปทำการศึกษาการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์เพื่อพิจารณาลักษณะของพีคและนำไปเปรียบเทียบกับไฟล์มาตรฐาน เพื่อดูว่าฟิล์มบาง CdS:F มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบใดซึ่งพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของผู้อื่นที่ผ่านการตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้ว [บัญชาและคณะ, 2544 ; สิงหเดชและคณะ, 2539; ฐิตินัยและคณะ, 2547] ดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอมของธาตุ F ในกรณีเมื่อไม่มีการแอนนีลและมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ100-500°C ภายใต้ บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

จากรูปที่ 4.4 นั้นแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance ที่ มุม 2θ เท่ากับ 20 - 60° ของฟิล์มบาง CdS บนกระจก SnO_2 พบว่า จะเกิดระนาบที่เด่นชัดขึ้นที่ ระนาบ (110) ของ SnO_2 และ ระนาบ (111) ของ CdS นอกจากนี้ยังปรากฏระนาบอื่นๆ ดังนี้ เช่น ระนาบ (101) ที่มุม2θ และ (211)ที่มุม2θ ของ SnO_2 และระนาบ(112)ที่มุม2θ ของ CdS เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งพีคต่างๆ ของฟิล์มบางCdSบนกระจกSnO_2 กับไฟล์มาตรฐาน จะพบว่าฟิล์มบางCdS มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิก และ SnO_2 มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเตตระโกนอลรูไทต์ต่อจากนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มบาง CdS บนกระจก SnO_2 ที่ไม่ผ่านการแอนนีลและผ่านการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100 °C จะพบว่าขนาดของเกรนจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อผ่านการแอนนีลที่อุณหภูมิ 200 - 500 °C ขนาดของเกรนจะโตขึ้น แสดงว่าอุณหภูมิแอนนีลมีผลทำให้ขนาดของเกรนโตขึ้นและโครงสร้างผลึกจะสมบูรณ์มากขึ้นมีความใกล้เคียงสตอยคิโอเมตทรีมากขึ้น ที่อุณหภูมิ 400 - 500 °C จะเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากคิวบิกเป็นเฮ็กซะโกนอล ซึ่งส่วนใหญ่จัดเรียงตัวกันในทิศทางของระนาบ (111),(211) ตั้งฉากกับแผ่นรองรับแต่ยังมีเฟสของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฮ็กซะโกนอลอยู่บ้างแต่เชื่อว่ามีปริมาณน้อยดังนั้น แสดงว่ากระบวนการตกผลึก แบบโฮโมจีเนียส(homogeneous) จะเด่นกว่ากระบวนการตกผลึกแบบเฮทเทอโรจีเนียส (heterogenous)

จากการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ สามารถนำไปคำนวณหาค่าขนาดของเกรน (grain size) ได้จากสมการที่ (4.1)

$$d \equiv \frac{\lambda}{D\cos\theta} \tag{4.1}$$

เมื่อ d = ขนาดของเกรน

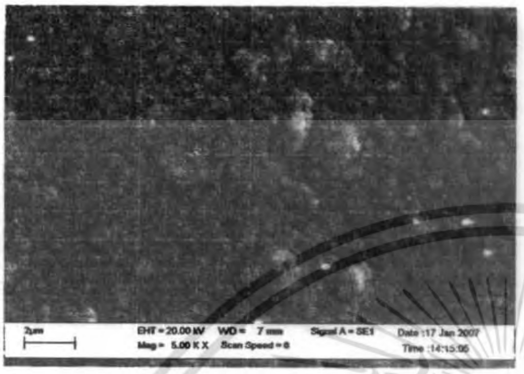
λ = ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

D = ความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนที่มีความเข้มเป็นครึ่งหนึ่งของความเข้มสูงสุด (full width at half maximum : FWHM)

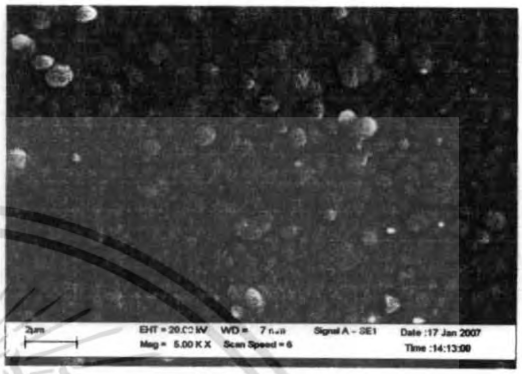
θ = มุมที่พีคของสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบางและขนาดของเกรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

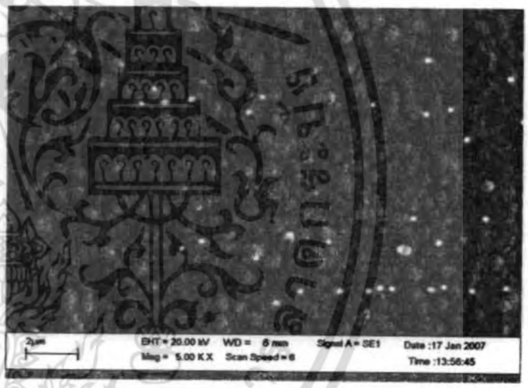


As-deposited

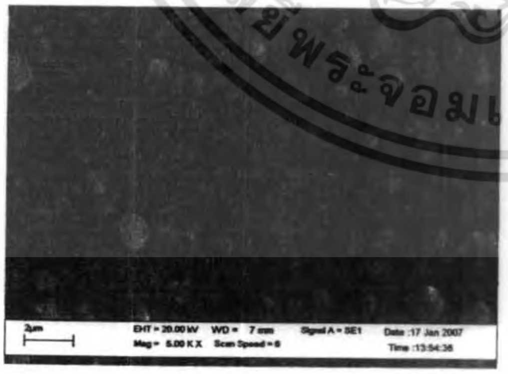


100 °C

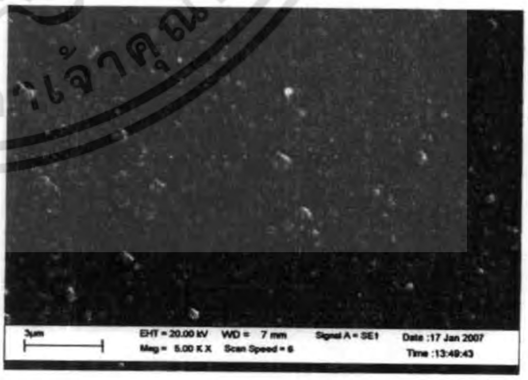
200 °C



300 °C



400 °C



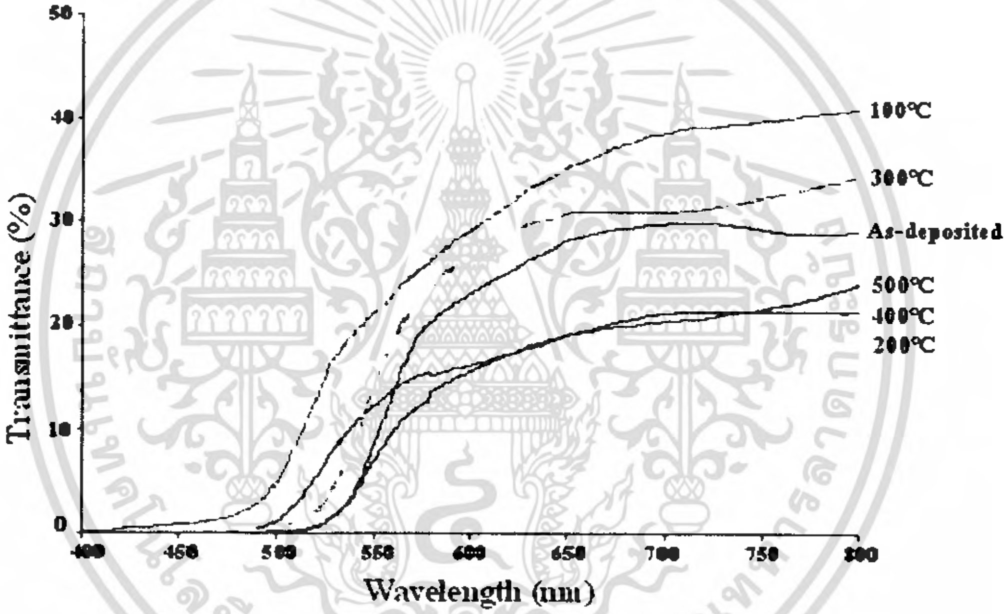
500 °C

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS: F ที่เตรียมได้โดยวิธีอาบสารละลายทางเคมีเมื่อไม่มีการแอนนีลและมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเกรนที่ได้มีลักษณะค่อนข้างกลม เมื่ออุณหภูมิแอนนีลเพิ่มมากขึ้นทำให้ขอบเขตของเกรนชัดเจนขึ้นและมีขนาดโตขึ้นที่ผิวหน้าฟิล์มบางมีอนุภาคกลมขนาดใหญ่จำนวนมากซึ่งเป็นอนุภาคของ CdS บอกถึงการมีกระบวนการโฮโมจีเนียส (homogenous) เกิดขึ้นและอนุภาค CdS ดังกล่าวจะลดขนาดลงเมื่ออุณหภูมิแอนนีลสูงขึ้น ซึ่งพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของผู้อื่นที่ผ่านการตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้ว [วิรุฬห์ และคณะ, 2543; เลอพงศ์ ,2547]

4.5 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง



รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS: F ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมี เมื่อไม่มีการแอนนีลและเมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ100- 500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

จากรูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS ที่มีการเจือของธาตุ F (fluorine) โดยใช้เครื่อง UV-VIS แบบดับเบิลบีม สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ thermo Electron Corporation รุ่น Heλiosα โดยเลือกใช้ช่วงความยาวคลื่นที่ 400-800 นาโนเมตร จะพบว่าฟิล์มที่ยังไม่ผ่านการแอนนีล จะยอมให้แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 570 นาโนเมตร ผ่านได้แต่เมื่อแอนนีลฟิล์มบางภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 100-500°C เป็นเวลา 20นาที จะพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มบางยอมให้แสงที่มีความยาวคลื่น 580 นาโนเมตรผ่านได้ และพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 100°C ขอบการดูดกลืนพื้นฐาน (absorption edge) กลับเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่มีค่าลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 200°C ขอบการดูดกลืนพื้นฐาน เลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น และสุดท้ายที่อุณหภูมิที่ 400-500°C ขอบการดูดกลืนพื้นฐาน กลับตรงกันซึ่งพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของผู้อื่นที่ผ่านการตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้ว [Dona and Herrero, 1994 ,1995] ดังรูปที่ 4.6

เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha h\nu)^2$กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ได้โดยทำการลากเส้นตรงหาค่าคาดหมาย (extraporation) ของกราฟส่วนที่เป็นเชิงเส้นไปตัดกับแกนพลังงานโฟตอนจุดตัดที่ได้คือค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง หรือ จากวิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ดังสมการที่ (2.10) คือ

$$\alpha = \frac{1}{d}\ln\left(\frac{1}{T}\right)$$

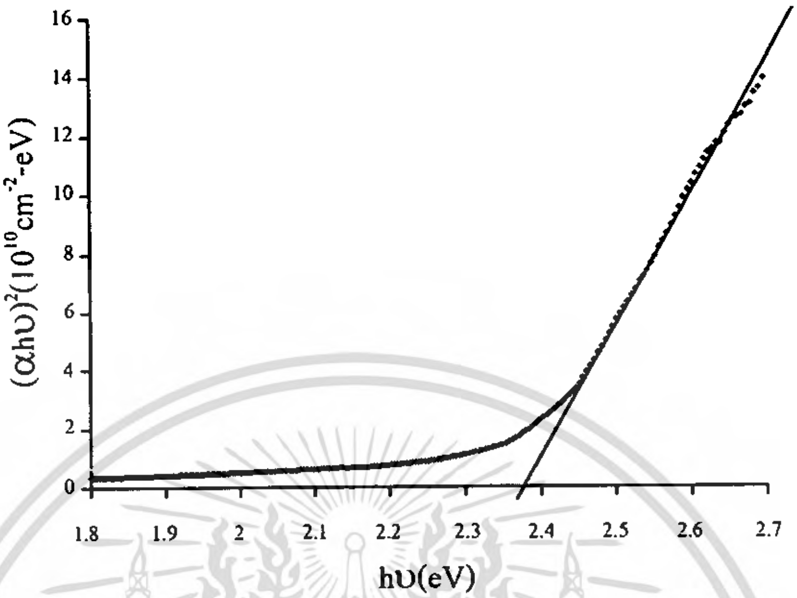
α = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

d = ความหนาของฟิล์มบาง

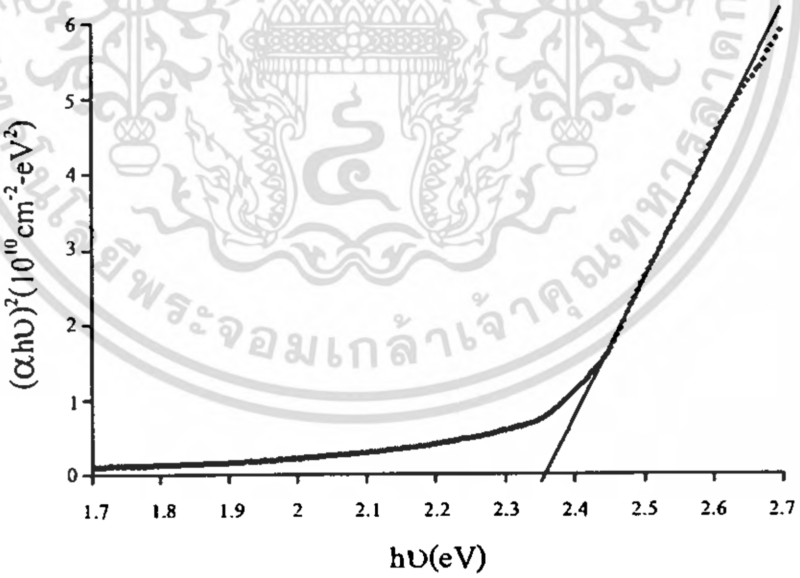
T = สัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง

พบว่าฟิล์มบาง CdS:F ที่ได้เตรียมได้ทั้งหมดจะเป็นกราฟลักษณะเชิงเส้นซึ่งเป็นการแสดงว่าเมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอนที่เท่ากับหรือมากกว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน อิเล็กตรอนจะดูดพลังงานและอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นจึงมีการย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำแบบไม่มีกระบวนการสร้างหรือทำลายโฟนอนเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งเป็นการแสดงว่าฟิล์มบางนี้ทั้งหมดที่เตรียมได้มีลักษณะโครงสร้างพลังงานเป็นแบบตรงและสามารถหาขนาดของค่าช่องว่างแถบพลังงานได้จากการลากเส้นตรงต่อส่วนที่แสดงกราฟแบบเชิงเส้นไปตัดแกนพลังงานโฟตอน โดยจุดตัดกราฟที่ได้คือ ขนาดของค่าช่องว่างแถบพลังงาน และพบว่า ขนาดของค่าช่องว่างแถบพลังงานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิแอนนีลเพิ่มขึ้นและจะมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิแอนนีล ประมาณ 400°C จากนั้นขนาดค่าช่องว่างแถบพลังงานก็จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแอนนีลเพิ่มขึ้นจาก 400°C เป็น 500°C ซึ่งกราฟทั้งหมดจะแสดงให้เห็นดังรูป 4.8-4.13 และตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

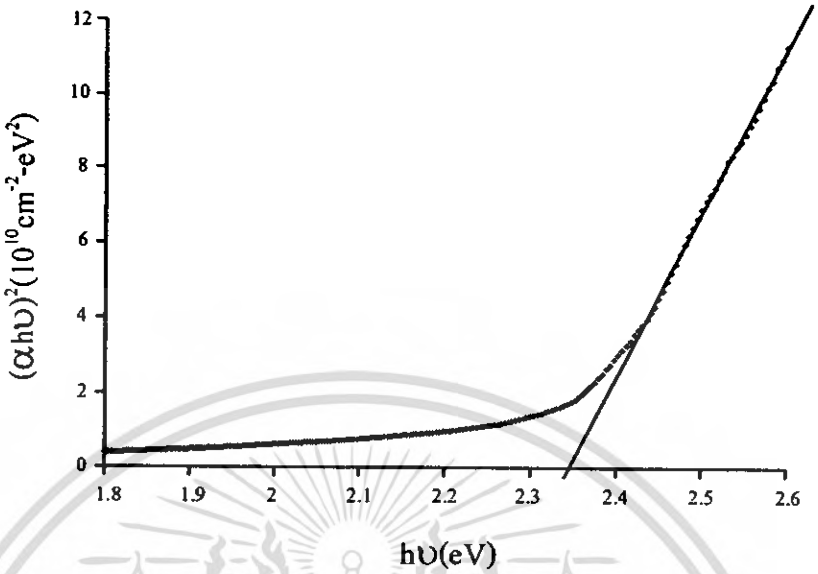


รูปที่ 4.7 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha hV)^2$ กับพลังงานโฟตอน(hV) ของฟิล์มบาง CdS:F เมื่อไม่มีการแอนนีล

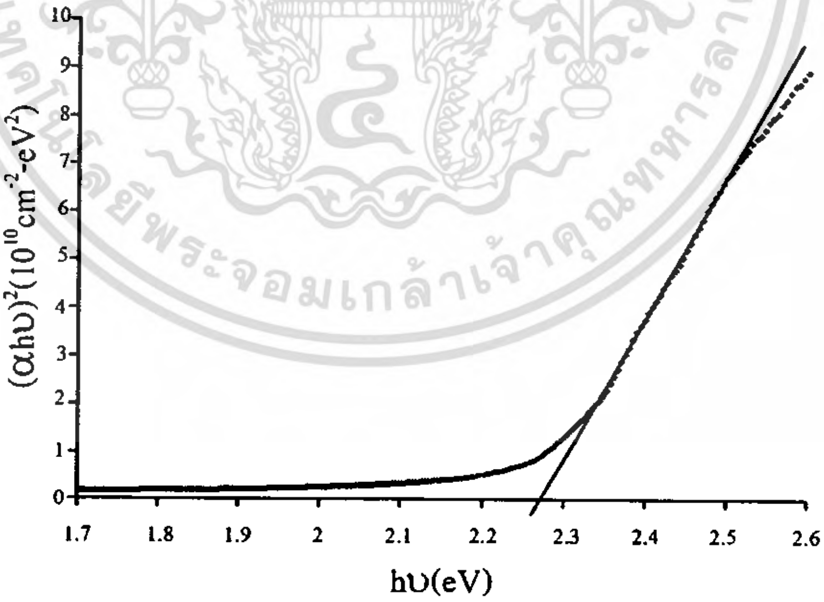


รูปที่ 4.8 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha hV)^2$ กับพลังงานโฟตอน(hV) ของฟิล์มบาง CdS:F เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ100°Cภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

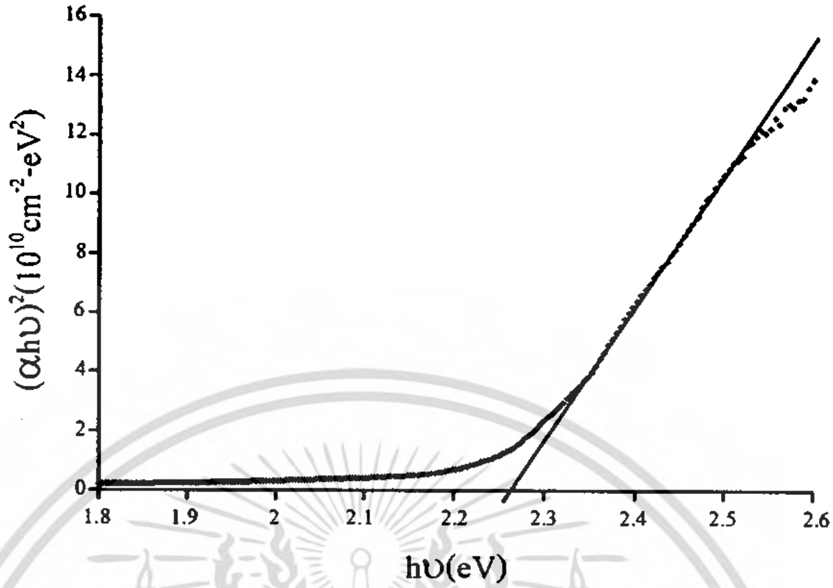


รูปที่ 4.9 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืน แสง $(\alpha h\nu)^2$ กับพลังงานโฟตอน($h\nu$)ของฟิล์มบาง CdS:F เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ200°Cภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

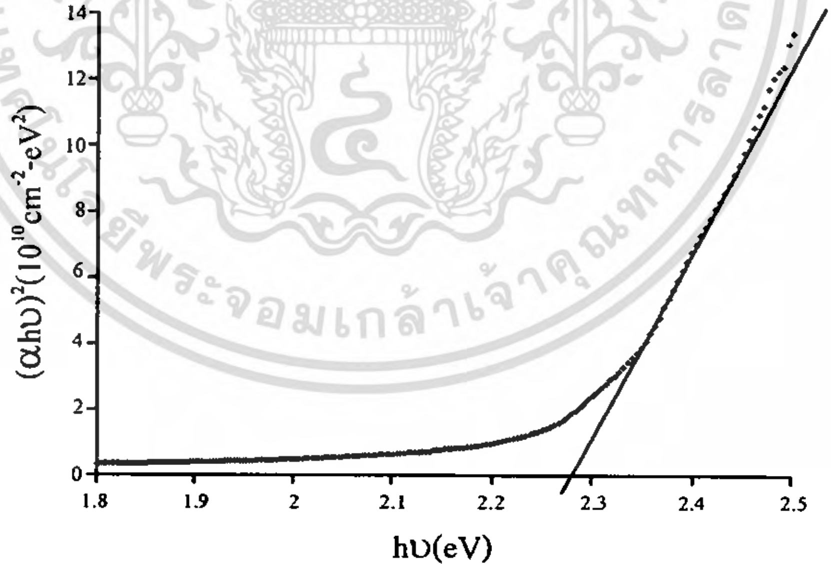


รูปที่ 4.10 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha h\nu)^2$ กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) ของฟิล์มบาง CdS:F เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 300°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha h\nu)^2$ กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) ของฟิล์มบาง CdS:F เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 400 °Cภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

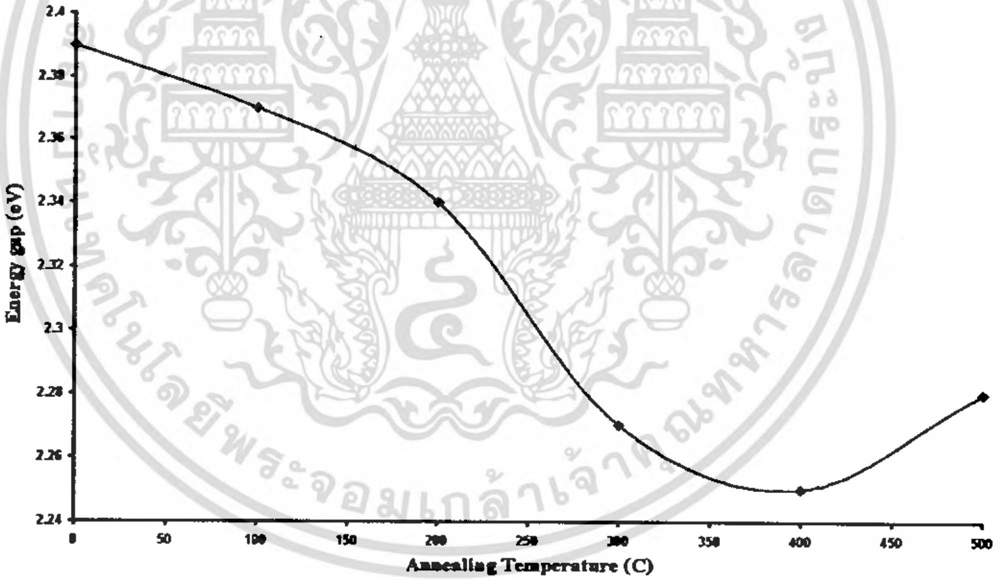


รูปที่ 4.12 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $(\alpha h\nu)^2$กับพลังงานโฟตอน($h\nu$) ของฟิล์มบาง CdS:F เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีเมื่อไม่มีการแอนนีลและเมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100- 500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	Energy Gap (eV)
as-deposited	2.39
100	2.36
200	2.34
300	2.27
400	2.25
500	2.28

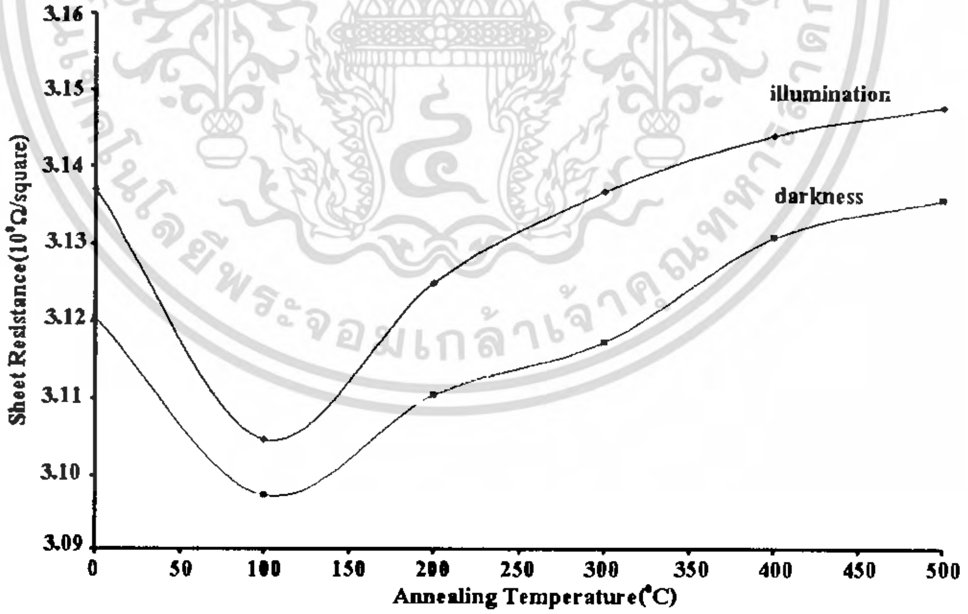


รูปที่ 4.13 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมี เมื่อไม่มีการแอนนีลและเมื่อมีการแอนนีล ที่อุณหภูมิ 100-500 °C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

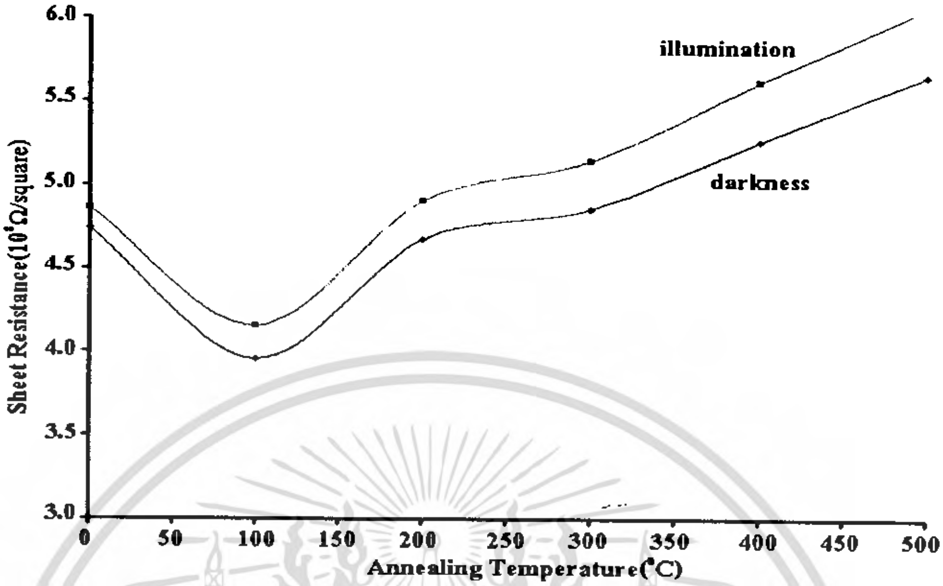
4.6 ผลการศึกษาค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของฟิล์มบางCdS:F ที่ทำการแอนนีลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 100-500°C ขณะที่ไม่มีการฉายแสงและฉายแสงซึ่งจะพบว่าผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.15 กล่าวคือ เมื่อทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500 ^{0}C จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ขนาดเกรนของฟิล์มบางมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งทำให้ขอบเขตของเกรนมีค่าลดลง กระแสจึงไหลได้มากขึ้นจึงทำให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 300 ^{0}C ค่าความต้านทานแผ่นจะขึ้นกับสัดส่วนทางเคมีเป็นสำคัญ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิการแอนนีลสูงขึ้นสัดส่วนทางเคมีระหว่าง Cd:S จะเข้าใกล้ 1:1 จึงทำให้โครงผลึกมีความสมบูรณ์มากขึ้นดังนั้นความต้านทานแผ่นจึงเพิ่มขึ้นซึ่งพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของผู้อื่นที่ผ่านการตีพิมพ์เผยแพร่มาแล้ว [Dona,and Herrero, 1995]ในการวิเคราะห์หาค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางได้ทำการวิเคราะห์ทั้งสองด้านของฟิล์มบางคือ ด้านที่เป็นฟิล์มบาง CdS:F เพียงอย่างเดียวและด้านที่เป็นฟิล์มบาง CdS:F บนชั้นของ SnO_2 ซึ่งจะพบว่าฟิล์มบางที่เคลือบด้วยชั้น SnO_2 มีค่าความตอบสนองต่อแสงที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับฟิล์มบาง CdS:F เพียงด้านเดียว



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนีลฟิล์มบางCdS:Fบนกระจกสไลด์ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมีเมื่อไม่มีการแอนนีลและการแอนนีลที่อุณหภูมิ100-500^{0}C ภายใต้บรรยากาศ ไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิแอนนีลของฟิล์มบาง CdS:F บนชั้นของ SnO_2 ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายทางเคมี เมื่อไม่มีการแอนนีลและมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 20 นาที

แต่เนื่องจากการวัดความต้านทานแผ่น(R_s)ของฟิล์มบาง CdS:F ที่อยู่บนชั้นตัวนำโปร่งแสง SnO_2:F จะมีผลของความต้านทานแผ่นของชั้นตัวนำโปร่งแสง SnO_2:F เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเนื่องจาก R_s ของชั้นฟิล์มบาง CdS:F เสมือนต่อขนานกับ R_s ของชั้นตัวนำโปร่งแสง SnO_2:F และ R_s ของตัวนำโปร่งแสง SnO_2 จะมีค่าต่ำกว่า R_s ของฟิล์มบาง CdS มาก ดังนั้นความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง CdS:F บนชั้นตัวนำโปร่งแสง SnO_2:F จะมีค่าดังนี้ คือ

$$\frac{1}{R_{s(CdS/SnO_2)}} = \frac{1}{R_{s(CdS)}} + \frac{1}{R_{s(SnO_2)}}$$

$$\frac{1}{R_{s(SnO_2)}} = \frac{1}{R_{s(CdS/SnO_2)}} - \frac{1}{R_{s(CdS)}}$$

เมื่อ $R_{s(CdS/SnO_2)}$ คือ ความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางCdS:F บนชั้นตัวนำโปร่งแสงSnO_2:F

$R_{s(CdS)}$ คือ ความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง CdS:F บนกระจกสไลด์

$R_{s(SnO_2)}$ คือ ความต้านทานแผ่นของตัวนำโปร่งแสง SnO_2:F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง $R_{s(SnO_2)}$ ที่คำนวณได้จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิแอนนีลและไม่ขึ้นกับการฉายแสงจากหลอดไฟ ELH

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความต้านทานแผ่นในกรณีที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบาง CdS:F บนกระจกสไลด์ที่เตรียมโดยวิธีการอาบสารละลายเคมี เมื่อไม่มีการแอนนีลและมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที

Annealing Temperature (°C)	R_s (CdS)(Ω/sq)		R_s (CdS/SnO_2)(Ω/sq)		R_s (SnO_2)(Ω/sq)	
	Darkness(10^8)	illumination(10^8)	Darkness(10^2)	illumination(10^2)	Darkness(10^1)	illumination(10^1)
as-deposited	3.12	3.14	4.74	5.43	9.12	7.7
100	3.1	3.1	3.95	4.46	14.405	10.6
200	3.11	3.13	4.67	4.9	9.3	9.13
300	3.12	3.14	4.85	5.52	8.746	7.5
400	3.13	3.14	5.26	5.62	7.729	7.34
500	3.14	3.15	5.65	6.06	7.068	6.58

เมื่อเราทราบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำสุดและค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางแล้วนั้นเราสามารถที่จะนำไปคำนวณหาค่าดัชนีเชิงคุณภาพมากที่สุด (ξ_{max}) [งามนิตย์และคณะ, 2547; ฐิตินัยและคณะ, 2547] ซึ่งดัชนีเชิงคุณภาพมากที่สุดสามารถบอกประสิทธิภาพของฟิล์มที่เตรียมได้ โดยที่เมื่อ (ξ_{max}) มีค่ามากก็จะทำให้ฟิล์มบางที่เตรียมได้มีค่าประสิทธิภาพสูงมากขึ้นด้วย

$$\xi_{max} = \frac{R_s}{\Delta E_g} = \frac{R_s(80\ ^0C) - R_{s\,min}(TTA)}{E_g(80\ ^0C) - E_g(TTA)}$$

เมื่อ $R_s(80^0C)$ = สภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางเมื่อไม่มีการแอนนีล

$R_{s\,min}(TTA)$ = สภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางเมื่อมีการแอนนีล

$E_g\,(80^0C)$ = ค่าช่องว่างแถบพลังงานเมื่อไม่มีการแอนนีล

$E_g\,(TTA)$ = ค่าช่องว่างของแถบพลังงานเมื่อมีการแอนนีล ที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า ξ_{max} ของฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมได้บนกระจกสไลด์กับฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมบน SnO_2 ที่เคลือบบนกระจกสไลด์จะมีค่าเท่ากับ $6.7x10^7$และ $2.63x10^9$ Ω/square.eV ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่ขั้นเตรียมฟิล์มบาง และเน้นทางด้านการวัดสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางจนถึงขั้นการวิเคราะห์ผลสุดท้าย พร้อมด้วยข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการเตรียมฟิล์มบาง CdSโดยวิธีอาบสารละลายเคมี เป็นเวลา 60 นาที โดยฟิล์มบางที่เตรียมได้เมื่อไม่มีการเจือด้วยอะตอมของธาตุต่างๆและยังไม่ได้มีการแอนนีล จะมีสีเหลืองโปร่งแสง มีผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอ ส่วนฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอมของธาตุฟลูออรีนจะมีลักษณะผิวหน้าค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ มันวาว และมีสีเหลืองส้ม เมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500 ^{0}C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที สังเกตเห็นว่าฟิล์มบางที่ได้มีสีส้มเข้มเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์พบว่าฟิล์มบาง CdS:F ที่เตรียมด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมี มีทิศทางการจัดเรียงตัวในระนาบ (111),(110), (112),(211) และ(101)ตามลำดับ โดยเราจะพบว่ามีระนาบเด่นซ้อนทับกันอยู่ 2 ระนาบ ซึ่งระนาบดังกล่าวเป็นระนาบของแคดเมียมซัลไฟด์และดีบุกออกไซด์ ซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นคิวบิกและเมื่ออุณหภูมิแอนนีลมากกว่า 400 °C จะเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเฮ็กซะโกนอล จะพบว่ามีพีคที่ระนาบ (111),(110) เกิดขึ้นมา และที่ 400 °C กับ 500 °C พีคที่ระนาบ (101) จะเด่นชัดขึ้นตามอุณหภูมิแอนนีล และจากสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะรู้ FWHM และ 2 θ ที่พีคเด่นชัด มาคำนวณหาขนาดของเกรนได้ และขนาดของเกรนก็จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิแอนนีล

จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง CdS:F พบว่าเกรนขนาดของเกรนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแอนนีลเพิ่มขึ้น และพบอนุภาคของ CdS ที่ผิวหน้าของฟิล์มบางซึ่งบ่งบอกถึงการมีกระบวนการเกิดฟิล์มบางแบบโฮโมจีเนียสขึ้นด้วย

จากการวิเคราะห์การส่งผ่านแสง พบว่าฟิล์มบาง CdS:F มีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง ค่าช่องว่างแถบพลังงานที่เตรียมได้ด้วยวิธีอาบสารละลายเคมีมีค่าอยู่ในช่วง 2.39-2.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

eV.และเมื่อไม่มีการแอนนีลและแอนนีลที่อุณหภูมิ100-500°C ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิแอนนีลสูงขึ้นบริเวณขอบการดูดกลืนแสงจะมีความชันมากขึ้นบอกถึง โครงสร้างผลึกที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้นและนอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน(E_g) มีค่าเปลี่ยนไปซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิการแอนนีล ขนาดของช่องว่างพลังงานที่เปลี่ยนไปอาจจะเกิดมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้ [ฐิตินัยและคณะ, 2547; งามนิตย์และคณะ, 2547; วีรชัย, 2547; Schroder D.K., 1975; Prathap P.,และคณะ, 2006]

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

สำหรับการวัดความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง CdS: F ที่เตรียมได้ด้วยวิธีอาบสารละลายเคมีเมื่อยังไม่มีการแอนนีลและเมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 100-500°C ภายใต้บรรยากาศของ ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแผ่นค่อนข้างจะคงที่และลดลงที่อุณหภูมิ 400 °C จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งมีแนวโน้มแบบเดียวกันเมื่อไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงน่าจะมีผลมาจากฟิล์มบางที่เตรียมได้ด้วยวิธีอาบสารลายเคมี มีข้อบกพร่องผลึกสูงมาก นอกจากนี้ข้อบกพร่องผลึกดังกล่าวยังเห็นผลชัดเจนเมื่อมีการฉายแสงซึ่งค่าความต้านทานแผ่นจะลดลงอย่างมากซึ่งค่าความต้านทานแผ่นอาจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น

1. แวแคนซีของอะตอมซัลเฟอร์ (V_s)
2. อะตอมมีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ (disorder)
3. สัดส่วนผสมทางเคมี
4. ผลของควอนตัมหรือขนาดของเกรนซึ่งเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิการแอนนีลเพิ่มขึ้นขนาดของเกรนจะเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนขอบเขตของเกรนลดลงอิเล็กตรอนหรือโฮลจึงจะไหลได้สะดวกยิ่งขึ้น
5. อะตอมของออกซิเจนที่ถูกซับไว้ที่ขอบของเกรนของฟิล์มบาง

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมฟิล์มบางที่เตรียมด้วยวิธีการอาบสารละลายเคมีนั้นพบปัญหาและเทคนิคบางประการที่สามารถนำไปปรับปรุงการทดลองเพื่อให้ได้ผลออกมาดีที่สุด ปัญหาและข้อเสนอแนะมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คุณภาพของฟิล์มบางขึ้นอยู่กับการกัดผิวหน้าของกระจกสไลด์ด้วยกรดกัดแก้ว (HF) เจือจาง ดังนั้นเวลากัดผิวหน้าต้องระวังไม่ให้กระจกซ้อนทับกัน มิฉะนั้นกระจกจะถูกกัดไม่สม่ำเสมอทั่วแผ่น
- ในขณะที่ทำการเคลือบฟิล์ม ไม่ควรเติมน้ำในบีกเกอร์สารละลายเพราะจะทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ผิวหน้าไม่เรียบ
- การถ่ายภาพฟิล์มบางที่มีค่าความต้านทานสูงด้วยเครื่อง SEM หากไม่เห็นเกรนควรทำการเคลือบฟิล์มบางก่อนทำการถ่ายภาพ
- การวัดค่าความต้านทานแผ่นควรใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีค่าความต้านทานภายใน(impedance) สูงมากๆเนื่องจากฟิล์มบาง CdS:F มีค่าความต้านทานสูง
- การทำการวัดสมบัติทางแสงหรือสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางควรทำให้เร็วที่สุดหลังจากเตรียมฟิล์มบางที่ได้เพื่อลดผลกระทบจากข้อบกพร่องผลึกที่ปรากฏบนผิวหน้าของฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Lee, J.H., 2004, Raman scattering and photoluminescence analysis of B-doped CdS thin m films,**Thin Solid Films**, 451-452:170-174.

Lee, J. H., Yi, J. S., Yang, K. J, Park, J.H. and Oh, R. D., 2003, Electrical and optical propoties of Boron doped CdS thin films prepared by chemical bath deposition,**Thin Solid Films**, 431-432:344-348.

Lee, J. H., Song, Wc., Yi, J. S., Yang, K. J., Han, W. D. and Hwang, J., 2003, Growth and properties of the $Cd_{1-x}Zn_xS$ thin film for solar cell application, **Thin Solid Films**, 431-432:349-357.

งามนิตย์ แก้วแดง, ฐิตินัย แก้วแดง, ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ และชัยสิงห์ ภู่รักษ์เกียรติ, 2543, **การเตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์**, รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ แก้วแดง, ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ และ ชัยสิงห์ ภู่รักษ์เกียรติ, 2546, **การประดิษฐ์ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มี Zn ในปริมาณสูงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์**, รายงานการวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ฐิตินัย แก้วแดงและ ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ, 2549, **การประดิษฐ์ฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยอะตอมฟลูออรีนสำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงของเซลล์แสงอาทิตย์**, รายงานวิจัยนี้เสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Kumar, V., Singh, V., Sharma, S. K. and Sharma T. P., 1998, Structural and optical properties of sintered $Cd_{1-x}Zn_xS$ films, **Opt. Mater.**, 11: 29-34.

Cullity, B. D., 1956, **Element of X – rays Diffraction,** Addison-Wesley Publishing Company Inc.: pp 9-14.

Kittel, C., 1971, Introduction of Solid State Physics, 4th Ed, Newyork: John Wiley &Sons Inc.: pp 4-32,46-48,56-60,364-365,540-552,611-612.

บัญชา ธนบุญสมบัติ, 2544, **การศึกษาวัสดุโดยเทคนิคดิฟแฟรกชัน**, ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น): หน้า 9, 12-15, 25.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิงหเดช แดงจวง, 2539, **การเตรียมฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคการเคลือบแบบอาบสารละลายเคมี**, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abelas, F., 1972, **Optical Propreties of Solids**, London, North – Holland, pp.23 – 40.

Runya, W. R., 1975, **Semiconductor Measurement and Instrumentation**, 3[Rd] Ed., Newyork: McGraw-Hill, Bombay.

อารีย์ วิเชียรฉาย, 2543, **เครื่องมือและการวัดทางฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำ**, เอกสารประกอบการเรียน, คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Garadkar,K.M.;Hankare,P.P.and Patil R.K., 1999, Effect of indium doping on structural, optical and electrical properties of $Cd_{0.95}Hg_{0.05}S$ thin films, **Mater.Chem.Phys.**, 58.:64-70.

Ramaiah,K.S., 1999, Electrical properties of In doped CdS thin films, **J.Mater.Sci.Mater.Elec.**, 10:291-294.

Garcia-Cuencu,M.V.;Morenza,J.L.and Codina,J.M., 1987, Electrical condition in polycrystalline CdS films:I.theory, **J.Phys.D:Appl.Phys.**, 20:51-957.

Garcia-Cuencu,M.V.;Morenza,J.L.;Bertran,E. and Lousa,A., 1987, Electrical condition in polycrystalline CdS films:II. comparison of theory and experiment, **J.Phys.D:Appl.Phys.**, 20 :958-962.

Gunal,I.and Parlak,M., 1997, Current transport mechanisms in low resistive CdS thin films., **J.Mater.Sci.Mater.Elec.**, 8 :9-13.

Schroder D.K., 1998, **Semiconductor Material and Characterization**, 2[nd] Ed., Newyork: John Wiley & Sons Inc.

วิรุฬห์ มังคละวิรัชและ สุวิทย์ ปุณชัยยะ, 2543, **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน**, วารสารเครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่1, ฉบับที่2, พฤษภาคม, หน้า 129-165

Dona, J. M., Herrero, J., 1995, Chemical bath co-deposited Cds-ZnS films characterization., **Thin Solid Films**, 268:5-12.

Dona, J. M., Herrero, J., 1994, Process and characterization of chemical bath - deposited ZnS thin films, **J. Electrochem. Soc.**, 141 (1): 205-210.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลอพงศ์ รักธรรม และอภิรัตน์ มีมูซอ, 2547, **การศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่เตรียมโดยการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ,** โครงงานพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Dhage, S. R., Choube, V. and Ravi, V., 2004 , Nonlinear I-V characteristics of doped SnO, **Mater.Sci & Eng.B,** 110:168-171.

ฐิตินัย แก้วแดง,งามนิตย์ วงษ์เจริญและทิพรัตน์ วงษ์เจริญ, 2547, **การเตรียมฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยIn โดยวิธีระเหยในระบบสุญญากาศ** รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งามนิตย์ วงษ์เจริญ ,ฐิตินัย แก้วแดง,ทิพรัตน์ วงษ์เจริญและชัยสิงห์ ภู่รักษ์เกียรติ, **2547, การประดิษฐ์ฟิล์มบาง CdS โดยวิธีทางเคมีแสง สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์,** รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วีรชัย ลิภา, **2547, การศึกษาสมบัติฟิล์มบาง CdS-ZnS ซึ่งเตรียมโดยวิธีอาบสารละลายทางเคมี** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Schroder D.K., 1975, **Semiconductor Material and Device Characterization.,** New York:Mc Graw-Hill.

Prathap P., Subbaiah Y.P.V., Devika M.and Ramakrishna Reddy K.T., 2006, "Optical Properties of In_2O_3 Films Prepared by Spray Pyrolysis", **Material Chemistry and Physics**, vol 100, pp.375-379.

ดุสิต เครืองาม, 2542, **เซลล์แสงอาทิตย์. สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์,** สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 589-590

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ไฟล์มาตรฐานของการเลี้ยงเบนรังสีเอ็กซ์

ข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ CdS:F ที่ได้จากไฟล์ฐานข้อมูลมาตรฐาน JCPDS

(The Joint Committee on Powder Diffraction Standards)

Pattern : 80-19   *Radiation =* 1.540598   *Quality :* Calculated

Cd S

Cadmium Sulfide

Lattice : Face-centered cubic   *Mol. weight =* 144.47

S.G. : F-43m (216)   *Volume [CD] =* 196.22

a = 5.81100   *Dx =* 4.890

Z = 4   *I/Icor =* 14.08

ICSD COLLECTION CODE : 067789
REMARKS FROM ICSD : REM THE.
TEST FROM ICSD : No R value given.
TEST FROM ICSD : At least one TF missing.

2th	I	h	k	l
26.547	100	1	1	1
30.748	22	2	0	0
44.040	47	2	2	0
52.163	33	3	1	1
54.671	5	2	2	2
64.043	6	4	0	0
70.594	10	3	3	1
72.715	4	4	2	0
80.993	10	4	2	2
87.069	6	5	1	1

*Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997) primary reference

*Phys. Rev. B: Condens. Matter, volume 46, page 10086, (1992) : Yeh, C., Lu, Z.W., Froyen, S., Zunger, A.

Radiation : CuKa1   *Filter :* Not specified

Lambda : 1.54060   *d-sp :* Calculated spacings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 80-19 *Radiation* = 1.540598 *Quality :* Calculated

Cd S

Cadmium Sulfide

Lattice : Face-centered cubic *Mol. weight* = 144.47

S.G. : F-43m (216) *Volume [CD]* = 196.22

a = 5.81100 *Dx* = 4.890

Z = 4 *I/Icor* = 14.06

d (Å)	I	h	k	l
3.35498	100	1	1	1
2.90550	22	2	0	0
2.05450	47	2	2	0
1.75208	33	3	1	1
1.67749	5	2	2	2
1.45275	6	4	0	0
1.33313	10	3	3	1
1.29938	4	4	2	0
1.18617	10	4	2	2
1.11833	6	5	1	1

ICSD COLLECTION CODE : 067789
REMARKS FROM ICSD : REM THE.
TEST FROM ICSD : No R value given.
TEST FROM ICSD : At least one TF missing.

*Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997) primary reference :

*Phys. Rev. B: Condens. Matter, volume 46, page 10086, (1992) :
Yeh, C., Lu, Z.W., Froyen, S., Zunger, A.

Radiation : CuKa1 *Filter :* Not specified

Lambda : 1.54060 *d-sp :* Calculated spacings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 77-2306 *Radiation =* 1.540598 *Quality :* Calculated

Cd S

Cadmium Sulfide

Lattice : Hexagonal *Mol. weight =* 144.47

S.G. : P63mc (186) *Volume [CD] =* 99.45

a = 4.13600 *Dx =* 4.824

c = 6.71300

Z = 2 *I/Icor =* 7.93

ICSD COLLECTION CODE : 060629
REMARKS FROM ICSD : REM F Determination based on model III of Fakineos, Stevenso
REMARKS FROM ICSD : REM Barnes Aust. J. Phys. 1982,35 415 424.
TEST FROM ICSD : At least one TF missing.

2th	*I*	*h*	*k*	*l*
24.837	63	1	0	0
26.535	45	0	0	2
28.216	100	1	0	1
36.662	25	1	0	2
43.738	43	1	1	0
47.894	41	1	0	3
50.949	6	2	0	0
51.890	31	1	1	2
52.866	13	2	0	1
54.644	2	0	0	4
58.354	5	2	0	2
60.911	2	1	0	4
66.658	12	2	0	3
69.359	8	2	1	0
70.962	9	2	1	1
72.472	4	1	1	4
75.572	8	1	0	5
75.689	5	2	1	2
77.956	1	2	0	4
80.356	4	3	0	0
83.367	10	2	1	3
86.434	4	3	0	2
87.021	1	0	0	6

*Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997) primary reference :

*Acta Crystallogr., Sec. B: Structural Science, volume 40, page 521, (1984) : Stevenson, A.W., Milanko, M., Barnea, Z.

Radiation : CuKa1 *Filter :* Not specified

Lambda : 1.54060 *d-sp :* Calculated spacings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 77-2306 *Radiation =* 1.540598 *Quality :* Calculated

Cd S

Cadmium Sulfide

Lattice : Hexagonal *Mol. weight =* 144.47

S.G. : P63mc (186) *Volume [CD] =* 99.45

a = 4.13600 *Dx =* 4.824

c = 6.71300

Z = 2 *I/Icor =* 7.93

ICSD COLLECTION CODE : 060629
REMARKS FROM ICSD : REM F Determination based on model KI of Fakineos, Stevenso
REMARKS FROM ICSD : REM Barnea Aust. J. Phys. 1982,35 415 424.
TEST FROM ICSD : At least one TF missing.

*Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997) primary reference

*Acta Crystallogr., Sec. B: Structural Science, volume 40, page 521, (1984) : Stevenson, A.W., Milanko, M., Barnea, Z.

Radiation : CuKa1 *Filter :* Not specified

Lambda : 1.54060 *d-sp :* Calculated spacings

d (Å)	I	h	k	l
3.58188	63	1	0	0
3.35650	45	0	0	2
3.16017	100	1	0	1
2.44921	25	1	0	2
2.06800	43	1	1	0
1.89778	41	1	0	3
1.79094	6	2	0	0
1.76065	31	1	1	2
1.73042	13	2	0	1
1.67825	2	0	0	4
1.58008	5	2	0	2
1.51971	2	1	0	4
1.39824	12	2	0	3
1.35382	8	2	1	0
1.32711	9	2	1	1
1.30313	4	1	1	4
1.25719	8	1	0	5
1.25554	5	2	1	2
1.22460	1	2	0	4
1.19396	4	3	0	0
1.15832	10	2	1	3
1.12491	4	3	0	2
1.11883	1	0	0	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SnO_2 ที่ได้จากไฟล์ฐานข้อมูลมาตรฐาน JCPDS (The Joint Committee on Powder Diffraction Standards)

Pattern : 3-1114

Radiation = 1.540598

Quality : Deleted

Sn O_2

Tin Oxide

Lattice : Tetragonal

S.G. : (0)

a = 4.73550

c = 3.18500

Mol. weight = 150.69

Volume [CD] = 71.42

Dx = 3.503

2th	*I*	*h*	*k*	*l*
26.587	80	1	1	0
33.929	80	1	0	1
37.934	50	2	0	0
38.958	20	1	1	1
51.911	100	2	1	1
54.936	60	2	2	0
57.955	50	0	0	2
61.799	60	3	1	0
64.678	60	1	1	2
66.229	60	3	0	1
71.403	50	2	0	2
79.079	60	3	2	1
81.505	40	4	0	0
84.107	60	4	1	0
86.907	50	3	0	2
89.934	60	3	1	2
90.998	60	4	1	1
93.220	50	4	2	0
95.577	50			
108.524	80	2	1	3
112.027	70	5	1	0
114.869	70	3	3	2
116.065	80	4	3	1

DELETED AND REJECTED BY : Deleted by NBS card.
GENERAL COMMENTS : D-values corrected by absorption.

*Private Communication, primary reference :
United Steel Companies, Sheffield, England, UK.

Radiation : CoKa

Filter : Not specified

Lambda : 1.79020

d-sp : Not given

SS/FOM : F22= 4(0.1440,44)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 3-1114 *Radiation* = 1.540598 *Quality :* Deleted

$Sn O_2$

Tin Oxide

Lattice : Tetragonal

S.G. : (0)

a = 4.73550

c = 3.18500

Mol. weight = 150.69

Volume [CD] = 71.42

Dx = 3.503

d (Å)	I	h	k	l
3.35000	80	1	1	0
2.64000	80	1	0	1
2.37000	50	2	0	0
2.31000	20	1	1	1
1.76000	100	2	1	1
1.67000	60	2	2	0
1.59000	50	0	0	2
1.50000	60	3	1	0
1.44000	60	1	1	2
1.41000	60	3	0	1
1.32000	50	2	0	2
1.21000	60	3	2	1
1.18000	40	4	0	0
1.15000	60	4	1	0
1.12000	50	3	0	2
1.09000	60	3	1	2
1.08000	60	4	1	1
1.06000	50	4	2	0
1.04000	50			
0.94900	80	2	1	3
0.92900	70	5	1	0
0.91400	70	3	3	2
0.90800	80	4	3	1

DELETED AND REJECTED BY : Deleted by NBS card.
GENERAL COMMENTS : D-values corracted by absorption.

*Private Communication, primary reference :
United Steel Companies, Sheffield, England, UK.

Radiation : CoKa

Lambda : 1.79020

SS/FOM : F22= 4(0.1440,44)

Filter : Not specified

d-sp : Not given

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณการปริมาณสารตั้งต้น

การเตรียมสารตั้งต้นเพื่อเตรียมฟิล์มบาง CdS:F โดยวิธีการอาบสารละลายเคมี

การคำนวณปริมาณของ $CdSO_4.\frac{8}{3}H_2O$, $ZnSO_4.7H_2O$ ในสารละลายปริมาตร 150 ml

มวลโมเลกุลของธาตุ

Cd	=	112.40 g / mol
F	=	18.998 g / mol
S	=	32.064 g / mol
H	=	1.007 g / mol
O	=	15.9994 g / mol
N	=	14.0067 g/mol

$CdSO_4.\frac{8}{3}H_2O$ 1 โมล มีน้ำหนักโมเลกุล

$$= (112.40) + (32.064) + 4(15.9994) + \frac{8}{3}[2(1.007)+15.9994] \quad g$$

$$= 256.4973 \quad g$$

NH_4F 1 โมล มีน้ำหนักโมเลกุล

$$= (14.0067) + 4(1.007) + 18.998 \quad g$$

$$= 37.0327 \quad g$$

ต้องการ [$CdSO_4.\frac{8}{3}H_2O + NH_4F$] จำนวน 0.01 M

แต่สัดส่วน $CdSO_4.\frac{8}{3}H_2O$: NH_4F เป็น 0.6 : 0.4

ดังนั้น $CdSO_4.\frac{8}{3}H_2O$ จะมีความเข้มข้น = (0.6)(0.01) = 0.006 M

$ZnSO_4.7H_2O$ จะมีความเข้มข้น = (0.4)(0.01) = 0.004 M

สารละลาย 1000 ml มี $CdSO_4.\frac{8}{3}H_2O$ (ความเข้มข้น 0.006M)จำนวน = 2.5651 g

สารละลาย 150 ml มี $CdSO_4.\frac{8}{3}H_2O$ (ความเข้มข้น 0.006M)จำนวน $= \frac{2.5651}{1000}(150)$ g

$$= 0.3847 \quad g$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาปริมาณของ NH_4F ในสารละลายปริมาตร 150 ml

สารละลาย $CdSO_4 \cdot \frac{8}{3}$ H_2O ความเข้มข้น 0.01 M จะมีมวลของ Cd ดังนี้

สารละลาย $CdSO_4 \cdot \frac{8}{3}$ H_2O มวล 256.4973 g มีมวลCd 112.40 g

สารละลาย $CdSO_4 \cdot \frac{8}{3}$ H_2O มวล 0.3848 g มีมวลCd $\frac{112.40}{256.4973} \times 0.3848 = 0.1686$ g

ถ้าเจือฟลูออรีน 1 wt%

เตรียม $\frac{F}{Cd}$ = 1 wt%

ดังนั้น $F = \frac{1}{100} \times 0.1686 = 0.0017$ g

ฟลูออรีนมีมวล 18.9984 g ในสารประกอบ NH_4F มวล 37.0327 g

ฟลูออรีนมีมวล 0.0017 g ในสารประกอบ NH_4F มวล $\frac{37.0327}{18.9984} \times 0.0017 = 0.0033$ g

ถ้าเจือฟลูออรีน 5 wt%

เตรียม $\frac{F}{Cd}$ = 5 wt%

ดังนั้น $F = \frac{5}{100} \times 0.1686 = 0.0084$ g

ฟลูออรีนมีมวล 18.9984 g ในสารประกอบ NH_4F มวล 37.0327 g

ฟลูออรีนมีมวล 0.0017 g ในสารประกอบ NH_4F มวล $\frac{37.0327}{18.9984} \times 0.0017 = 0.01637$ g

ถ้าเจือฟลูออรีน 10 wt%

เตรียม $\frac{F}{Cd}$ = 10 wt%

ดังนั้น $F = \frac{10}{100} \times 0.1686 = 0.0186$ g

ฟลูออรีนมีมวล 18.9984 g ในสารประกอบ NH_4F มวล 37.0327 g

ฟลูออรีนมีมวล 0.0017 g ในสารประกอบ NH_4F มวล $\frac{37.0327}{18.9984} \times 0.0186 = 0.0362$ g

ถ้าเจือฟลูออรีน 15 wt%

เตรียม $\frac{F}{Cd}$ = 15 wt%

ดังนั้น $F = \frac{15}{100} \times 0.1686 = 0.02529$ g

ฟลูออรีนมีมวล 18.9984 g ในสารประกอบ NH_4F มวล 37.0327 g

ฟลูออรีนมีมวล 0.0017 g ในสารประกอบ NH_4F มวล $\frac{37.0327}{18.9984} \times 0.02529 = 0.049$ g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเจือฟลูออรีน 20 wt%

เตรียม $\frac{F}{Cd}$ = 20 wt%

ดังนั้น $F = \frac{20}{100} \times 0.1686 = 0.3372$ g

ฟลูออรีนมีมวล 18.9984 g **ในสารประกอบ** NH_4F **มวล** 37.0327 g

ฟลูออรีนมีมวล 0.0017 g **ในสารประกอบ** NH_4F **มวล** $\frac{37.0327}{18.9984} \times 0.3372 = 0.6572$ g

การคำนวณปริมาณของ $SC(NH_2)_2$ ในสารละลายปริมาตร 150 ml

มวลโมเลกุลของธาตุ

S	=	32.064	g / mol
C	=	12.01115	g / mol
N	=	14.0067	g / mol
H	=	1.007	g / mol

$SC(NH_2)_2$ 1 โมล มีน้ำหนักโมเลกุล

= 32.064 + 12.01115 + 2(14.0067) + 4(1.007) g

= 76.1166 g

สารละลาย 1000 ml มี $SC(NH_2)_2$ (ความเข้มข้น 0.05 M) จำนวน = 3.8058 g

สารละลาย 150 ml มี $SC(NH_2)_2$ (ความเข้มข้น 0.05 M) จำนวน = $\frac{3.8058}{1000}(150)$ g

= 0.5709 g

การคำนวณปริมาณ NH_3 ในสารละลายปริมาตร 150 ml

NH_3 (25%) โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (weight by weight) หมายถึงในสารละลาย 1 g จะมีเนื้อสาร NH_3 อยู่ 0.25 g และ NH_3 มีความเข้มข้น 0.91 g / ml นั้นคือปริมาตร 1 ml จะมีเนื้อสารละลายอยู่ 0.91 g หรือมีเนื้อสาร NH_3

= (0.91)(0.25) g

= 0.2275 g

NH_3 1 M จะมีมวล = 14.0067 + 3(1.007) g

= 17.0277 g

ต้องการ NH_3 จำนวน 1.5 M จะมีเนื้อสาร = (1.5)(17.0277) g

= 25.5416 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อสารละลาย NH_3 0.2275 g จะต้องตวงสาร = 1 ml

เนื้อสารละลาย NH_3 25.5416 g จะต้องตวงสาร = $\frac{1}{0.2275}(25.5416)$ ml

= 112.2708 ml

นั่นคือตวง NH_3 จำนวน 112.2708 ml หลังเติมน้ำลงไปจนมีปริมาตร 1000 ml จึงจะเรียกว่า เป็นความเข้มข้น 1.5 M

แต่ถ้าต้องการความเข้มข้น1.5Mในปริมาตร 150 mlจะต้องตวงNH_3 = $\frac{112.2708}{1000}(150)$ ml

= 16.8 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย กิติศักดิ์ ทวีกิจโภไคย เกิดเมื่อวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ.2526 เป็นคนสมุทรปราการโดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษา ณ โรงเรียนศรีวิกรณ์ และได้เข้ารับการศึกษาในระดับอุดมศึกษา ในสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2546

นาย ชวลิต น้อยสมมิตร เกิดเมื่อวันที่ 26 กันยายน พ.ศ.2527 เป็นคนระยองโดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษา ณ โรงเรียนอัสสัมชัญระยอง และได้เข้ารับการศึกษาในระดับอุดมศึกษา ในสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2546

นาย สิทธิศักดิ์ ชัยโสตถี เกิดเมื่อวันที่ 11ตุลาคม พ.ศ.2527 เป็นคนกรุงเทพฯโดยกำเนิด สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษา ณ โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัยนครปฐม และได้เข้ารับการศึกษาในระดับอุดมศึกษาในสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้