

การศึกษาริเฟลกแทนซ์สเปคโตรสโคปีของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิเนียม



นายไพศาล

นางสาวภัทรา

จิตติศักดิ์ทวี

เพียรชอบ

รฟ.

ท 116 ก

2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 40208
วัน, เดือน, ปี 20 ส.ค. 2544

b. 11092038
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Reflectance Spectroscopy of a-Se Thin films



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment
of the Requirement for the Degree of the Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษารีเฟลกแดนซ์แปดทริสโคปีของฟิล์ม
บางอะมอร์ฟัสซิลีเนียม

นักศึกษาผู้รับผิดชอบโครงการ

นายไพศาล ธิติศักดิ์ทวี
นางสาวภัทรา เพียรชอบ

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

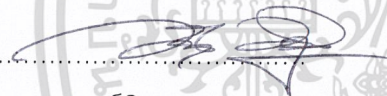
ผศ.ดร.จิตติ หนูแก้ว
รศ.สุวรรณ คูสำราญ
อ.วิษณุ เพชรภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชาญ ติชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

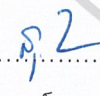
คณะกรรมการโครงการพิเศษ


.....
(อาจารย์ วิษณุ เพชรภา)

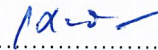
ประธานกรรมการ


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตติ หนูแก้ว)

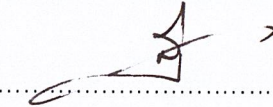
กรรมการ


.....
(รองศาสตราจารย์ สุวรรณ คูสำราญ)

กรรมการ


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เครือวัลย์ ศีตะจิตต์)

กรรมการ


.....
(อาจารย์ สุรชาติ กมลดิกล)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษารีเฟลกแตนซ์สเปคโทรสโคปีของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม	
นักศึกษาผู้รับผิดชอบโครงการ	นายไพศาล	ธิตีศักดิ์ทวี
	นางสาวภัทรา	เพียรชอบ
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ผศ.ดร.จิตติ	หนูแก้ว
	รศ.สุวรรณ	คู่สำราญ
	อ.วิชณุ	เพชรภา
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	
ปีการศึกษา	2543	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมที่อุณหภูมิห้อง โดยการจำลองระบบวัดการสะท้อน การทำงานของระบบ คือ การใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดทั้งสแตนผ่านโมโนโครเมเตอร์ เพื่อแยกแสงออกเป็นแสงความยาวคลื่นต่างๆ ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม วัดแสงสะท้อนด้วยตัวตรวจวัดซึ่งต่อกับเครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอิน คอมพิวเตอร์จะถูกใช้เพื่อเก็บข้อมูลและควบคุมระบบ ผลที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม มีการเปลี่ยนแปลงตามค่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวคิดในการสร้างอุปกรณ์แอนเทนาทางด้านแสง

Special Project Title	A Study of Reflectance Spectroscopy of a-Se Thin films	
Name	Mr. Paisan	Titisaktavee
	Ms. Patra	Pienchob
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Jiti	Nukeaw
	Assoc.Prof. Suwan	Kusamran
	Wisanu	Pecharapa
Department	Applied physics	
Academic Year	2000	

ABSTRACT

The objective of this special project is to study the reflectance spectroscopy of the amorphous selenium thin film at room temperature by simulating the reflectance Spectroscopy. Light from a 100 Watt tungsten lamp pass through a monochromator to the thin film. The reflected light is detected at each wavelength from 500 nm to 1200 nm by Germanium detector. The reflectance spectrum shows dependence of the refractive index of the thin films with wavelength . The application of the amorphous selenium thin film is to make an idea of an optical AND Gate.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลดังต่อไปนี้

- | | |
|---|---|
| ผศ.ดร. จิติ หนูแก้ว | - ให้คำแนะนำตลอดโครงการพิเศษ |
| ผศ. อนุพงศ์ สรงประภา | - ให้คำแนะนำเรื่องระบบสัญญาณ |
| รศ. สุวรรณ คุณาราม | - ให้คำแนะนำเกี่ยวกับทฤษฎีด้านแสง |
| อาจารย์ วิษณุ เพชรภา | - ให้คำแนะนำในการหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ |
| เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางแสงของ (NECTEC) | - ช่วยในเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ทางแสง |
| คุณ อภิชาติ สังข์ทอง | - ช่วยในเรื่องการจัดเครื่องมือระบบวัด |
| คุณ พุฒิภรณ์ ทิววงศ์ | - คำแนะนำในการปฏิบัติการทดลอง |
| คุณ สุพรรณิ แจ่มสรวง | - คำแนะนำข้อมูลงานโครงการพิเศษ |

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณบุคคลทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือที่มีได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 การดำเนินงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สมบัติทางกายภาพของซีลีเนียม	3
2.1.1 สมบัติโดยทั่วไปของซีลีเนียม	3
2.1.2 สมบัติทั่วไปของอะมอร์ฟัสซีลีเนียม	4
2.2 หลักการเตรียมฟิล์มบางโดยระบบระเหยสาร	
ด้วยความร้อนในสุญญากาศ	6
2.3 วิธีการตรวจสอบฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม	8
2.3.1 การตรวจสอบพื้นผิวด้วยการใช้จุลทรรศน์อิเล็กตรอน	
แบบเลื่อนกราด	8
2.3.2 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของ	
รังสีเอกซ์	9
2.4 การแทรกสอดที่เกิดจากการสะท้อนของแสงในฟิล์มบาง	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การทดลองและดำเนินงาน	14
3.1 การเตรียมฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม	14
3.1.1 องค์ประกอบของระบบระเหยสารด้วยความร้อน ในสุญญากาศ	14
3.1.2 การเตรียมฟิล์มบางที่ความหนาต่างกัน	15
3.2 การตรวจสอบพื้นผิวและโครงสร้างของฟิล์มบาง	16
3.3 การสร้างระบบวัดเพื่อศึกษาสเปกตรัมการสะท้อนของแสง และการประยุกต์ใช้	16
3.3.1 ระบบวัดที่ใช้ในการทดลอง	16
3.3.2 องค์ประกอบของระบบวัด	17
3.3.3 รายละเอียดของระบบวัด	22
3.3.4 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง	27
บทที่ 4 ผลการวิจัย	30
4.1 ผลจากการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม	30
4.2 ผลจากการศึกษาสมบัติของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม	32
4.3 ผลจากการศึกษาสเปกตรัมของการสะท้อน	33
4.3.1 ผลการวัดการสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบาง อะมอร์ฟัสซีลีเนียมที่ความหนาต่างกัน	33
4.3.2 เปรียบเทียบสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบาง อะมอร์ฟัสซีลีเนียม กับฟิล์มบางแกเลียมอาร์เซไนด์	34
4.4 ผลการทดลองในการเลือกความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ที่สอดคล้องกับแหล่งกำเนิดแสง	35
4.4.1 เส้นสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง และ IR Emitter	35
4.4.2 เปรียบเทียบสเปกตรัมของฟิล์มบางกับแหล่งกำเนิด	36
4.5 ผลการจำลองการทำงานของออปติคอลลแอนเกท	37
4.5.1 การวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากลำแสงตกกระทบ บนตัวตรวจจับสัญญาณ	37

4.5.2 ผลการทดลองการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจาก	
การสะท้อนลำแสงตกกระทบบนฟิล์มบาง	38
4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง	38
4.6.1 การศึกษาสมบัติเฉพาะของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม	38
4.6.2 การศึกษาสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบาง	
อะมอร์ฟัสซีลีเนียม	39
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	40
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	



สารบัญตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 การวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากลำแสงสองความยาวคลื่น ตกกระทบบัวตัวตรวจจับสัญญาณ	37
ตารางที่ 4.2 การวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากการสะท้อนของลำแสงสอง ความยาวคลื่นตกกระทบบนฟิล์มบาง	38



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ธาตุซีลีเนียม	3
รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างการเรียงตัวของอะตอม	4
รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของแถบพลังงาน	6
รูปที่ 2.4 ระบบประเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ	6
รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับความถี่ที่เปลี่ยนไปของ คริสตอล	7
รูปที่ 2.6 องค์ประกอบภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด	8
รูปที่ 2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด	9
รูปที่ 2.8 การตกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอกซ์	10
รูปที่ 2.9 X-ray diffractometer	10
รูปที่ 2.10 การแทรกสอดของลำแสงสองลำที่ฟิล์มบาง	11
รูปที่ 2.11 การแทรกสอดของลำแสงหลายลำที่ฟิล์มบาง	12
รูปที่ 2.12 การสะท้อนของฟิล์มบางชั้นเดียว	14
รูปที่ 3.1 แสดงการวางตำแหน่งอุปกรณ์ในครอบแก้วสุญญากาศ	16
รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมของโมโนโครเมเตอร์	18
รูปที่ 3.3 ตัวตัดแสงที่ใช้ในการทดลอง	19
รูปที่ 3.4 สัญญาณเมื่อผ่านตัวตัดแสง	19
รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอินในระบบวัด	20
รูปที่ 3.6 สเตปปีงมอเตอร์	20
รูปที่ 3.7 แสดงไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบวัด	20
รูปที่ 3.8 แสดงแนวทางของลำแสงผ่านตัวแยกลำแสง	21
รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของระบบที่ใช้ในการทดลองฟิล์มบาง	22
รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมของระบบวัดสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบาง	23
รูปที่ 3.11 แสดงระบบวัดที่ใช้ในการทดลองวัดความยาวคลื่นของแหล่ง กำเนิดแสง	24
รูปที่ 3.12 ไดอะแกรมของระบบวัดความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 ระบบวัดที่ใช้ในการทดลองวัดความต่างศักย์ที่ได้จากแหล่ง กำเนิดแสง	25
รูปที่ 3.14 ไดอะแกรมของระบบวัดความต่างศักย์ที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง	25
รูปที่ 3.15 ระบบวัดที่ใช้ในการทดลองวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากการ สะท้อนของแสงในฟิล์มบาง	26
รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมของระบบวัดวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากการสะท้อน ของแสงในฟิล์มบาง	26
รูปที่ 3.17 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม	27
รูปที่ 3.18 แสดงหน้าจอเพื่อใส่ค่าพารามิเตอร์	28
รูปที่ 3.19 แสดงหน้าจอขณะวัดค่าสเปกตรัมการสะท้อน	28
รูปที่ 3.20 แสดงระบบวัดโดยมีไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุม	29
รูปที่ 3.21 แสดงการควบคุมระบบของโปรแกรมวัด	29
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของฟิล์มบาง	30
รูปที่ 4.2 ลักษณะของฟิล์มบางที่ค่าความหนาต่างๆกันใน ช่วง 100 -160 นาโนเมตร	31
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของ X-Ray Diffraction ของฟิล์มบางที่มีความหนา 30 นาโนเมตร และ 140 นาโนเมตร	32
รูปที่ 4.4 แสดงพื้นผิวของฟิล์มบางที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบเลือนกราด	33
รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม	33
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบสเปกตรัมการสะท้อนระหว่างฟิล์มบางอะมอร์ฟัส ซีลีเนียมกับเกลเลียมอาร์เซไนด์	34
รูปที่ 4.7 แสดงเส้นสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง	35
รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมของ IR Emitter	35
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบยอดของสเปกตรัมระหว่างฟิล์มบาง กับแหล่งกำเนิดแสงสองความยาวคลื่น	36
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางกับแหล่งกำเนิด แสงสองความยาวคลื่น	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

จากการศึกษาค้นคว้าที่ผ่านมาพบว่า แสงมีผลต่อการนำไฟฟ้าของซิลิเนียม โดยที่เมื่อความสว่างที่ให้มีความมากขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้ามีค่าลดลง

การตรวจสอบสมบัติเฉพาะของสารกึ่งตัวนำ มีวิธีการอยู่หลายวิธี ขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการตรวจสอบ เช่น วิธีการตรวจสอบพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) เทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (X-Ray diffraction) ในการตรวจสอบโครงสร้างผลึก เป็นต้น

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการสะท้อนแสงของโฟตอนที่ความยาวคลื่นใดๆ ของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิเนียม เพื่อที่จะนำไปสู่การวิจัยและพัฒนาสร้างสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาการเตรียมฟิล์มบางซิลิเนียมโดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ
2. ศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางซิลิเนียม
3. ศึกษาและสร้างระบบวัดรีเฟลกแตนซ์สเปคโตรสโคปี
4. ศึกษาผลการสะท้อนแสงของโฟตอนที่ความยาวคลื่นใดๆ ของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิเนียม

1.3 การดำเนินงาน

ขั้นต้นเป็นการศึกษาสมบัติโดยทั่วไปของธาตุซิลิเนียม จากนั้นทำการทดลองเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ (Vacuum Thermal Evaporation) วิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบางที่ได้จากเงื่อนไขต่างๆ โดยใช้วิธีการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction) และ การตรวจสอบพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด ศึกษาการสร้างระบบวัดรีเฟลกแตนซ์สเปคโตรสโคปี พร้อมบันทึกผลการสะท้อนแสงของโฟตอนที่ความยาวคลื่นใดๆ ทำการประยุกต์โดยการสร้างระบบแนวคิดของการสร้าง ออปติคอลแอนเกต (Optical AND Gate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถรู้วิธีการเตรียมฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซีลีเนียมโดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ
2. สามารถรู้โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม
3. สามารถรู้สมบัติการสะท้อนแสงของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม
4. สามารถนำสมบัติการสะท้อนแสงของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมมาประยุกต์สร้างแนวคิดของ ออปติคอลลแอนเกทได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

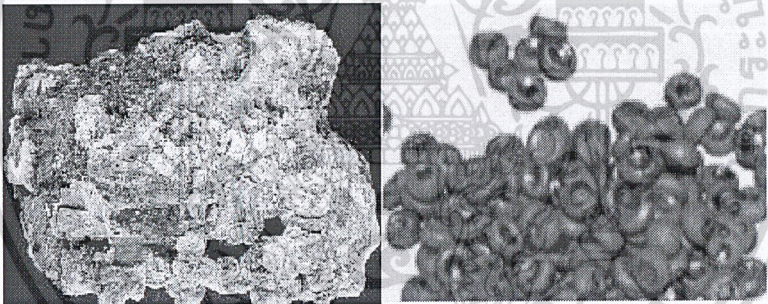
บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติทางกายภาพของซีลีเนียม

2.1.1 สมบัติโดยทั่วไปของซีลีเนียม

ธาตุซีลีเนียมถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1818 จัดเป็นธาตุหมู่ที่ 6 รูปผลึกที่พบในธรรมชาติมี 2 เฟสคือ

- โครงผลึกแบบเฮกซะโกนอล(hexagonal) มีลักษณะเป็นสีเทา ค่าการนำไฟฟ้าและการนำความร้อนสูง
- โครงผลึกแบบโมโนคลินิก(monoclinic) มีลักษณะเป็นสีแดงมีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำกว่า



รูปที่ 2.1 ธาตุซีลีเนียม

เลขอะตอม	34	
จุดหลอมเหลว	217	องศาเซลเซียส
จุดเดือด	648.9±1	องศาเซลเซียส
แถบพลังงานต้องห้าม (Bandgap)	1.79±0.01 eV	
สภาพคล่องของอิเล็กตรอน (Electron Mobility)	10	cm ² V ⁻¹ s ⁻¹
สภาพคล่องของโฮล (Hole Mobility)	1	cm ² V ⁻¹ s ⁻¹

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สมบัติทั่วไปของอะมอร์ฟัสซิลิเนียม

อะมอร์ฟัส (amorphous) ได้รับการพัฒนาให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านงานอิเล็กทรอนิกส์มากมาย ซึ่งวัสดุอะมอร์ฟัสมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าผลึกเดี่ยว (single crystal) หลายประการ เช่น แข็งแกร่ง ทนต่อแรงเสียดทาน และทนต่อปฏิกิริยาเคมี อีกทั้งเป็นวัสดุที่ใช้ต้นทุนการผลิตถูก เหมาะแก่การนำมาสร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์หลายชนิด อาทิเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบาง เป็นต้น โครงสร้างของอะมอร์ฟัสจะประกอบด้วยอะตอมที่เรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบในช่วงระยะยาว แต่จะมีการเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบในระยะสั้น ตัวอย่างของการเรียงตัวของอะตอมของผลึก และ อะมอร์ฟัส ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบโครงสร้างการเรียงตัวของอะตอม
(ก) การเรียงตัวของอะตอมของผลึก
(ข) การเรียงตัวของอะตอมของอะมอร์ฟัส

เนื่องจากสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัสไม่มีเกรน (grain) ไม่มีเส้นขอบเขตเกรน (grain boundary) และไม่มีรอยแตก (cleavage) ทำให้เกิดคุณสมบัติอื่นอีก เช่น ความสามารถในการดูดกลืนแสงได้ดี และความสามารถในการเปล่งแสงได้ดี สามารถนำมาใช้ทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ในกรณีอะมอร์ฟัสซิลิคอน

อะมอร์ฟัสแบ่งตามคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ได้เป็นสองตระกูล คือตระกูลเตตระเฮดรัล (tetrahedral semiconductor) ซึ่งประกอบด้วยธาตุหมู่ 4 และ 3-5 เป็นหลัก เช่น Si Ge Ga As และตระกูลแคลโคไจไนด์ (chalcogenide semiconductor) ซึ่งประกอบด้วยธาตุหมู่ 2 และ 6 เป็นหลัก เช่น S Se Te โดยซิลิเนียมจัดอยู่ในตระกูลแคลโคไจไนด์ คือ มีอิเล็กตรอนวงนอกสุด 4 ตัว ในจำนวนนี้อิเล็กตรอน 2 ตัวมีส่วนร่วมในการสร้างพันธะ (แขนละ 1 ตัว รวม 2 แขน) แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

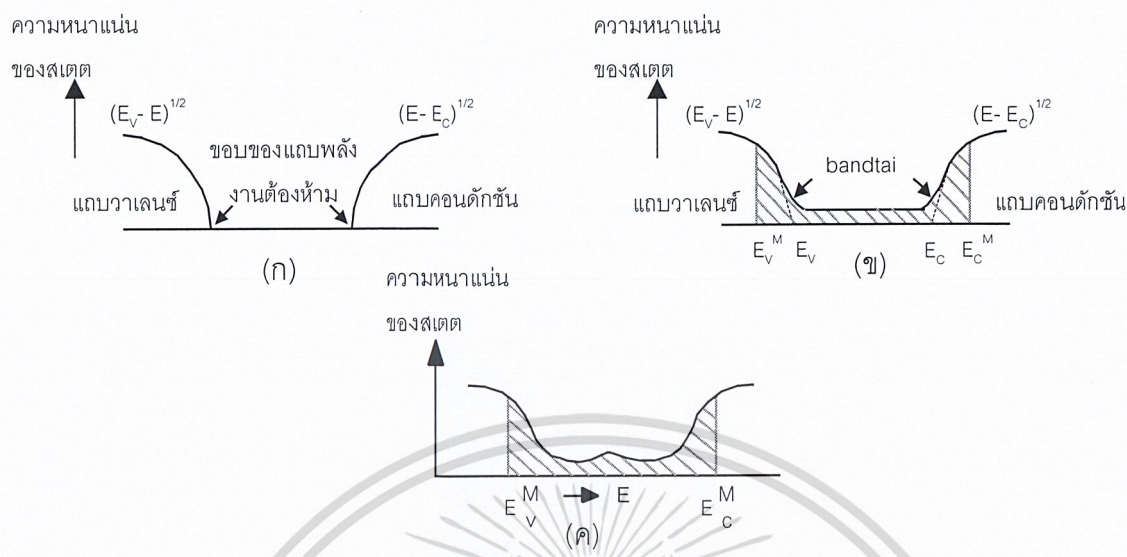
อิเล็กตรอนที่เหลืออีก 2 ตัวไม่ได้มีส่วนร่วมในการสร้างพันธะ (non bonding orbital) ความแตกต่างของวัสดุสองตระกูลนี้ ได้แก่ การมีวงโคจรชนิดไม่มีส่วนร่วมในการสร้างพันธะ หรือไม่ วงโคจรชนิดไม่มีส่วนร่วมในการสร้างพันธะ นี้มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุมาก เช่น ความคล่องตัวของโฮล และ ความหนาแน่นของสเตต (density of state) โดยทั่วไป ความหนาแน่นของสเตตที่อยู่ภายในแถบวาเลนซ์หรือแถบคอนดักชันจะมีรูปร่างเป็นพาราโบลาคล้ายของผลึก ดังรูปที่ 2.2 (ก) ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\begin{aligned} g_v(E) &\approx (E_v - E)^{1/2} \\ g_c(E) &\approx (E - E_c)^{1/2} \end{aligned} \quad (2.1)$$

โดยที่ E_v, E_c คือ พลังงานที่ขอบของแถบวาเลนซ์หรือแถบคอนดักชันตามลำดับ

E คือ ระดับพลังงาน

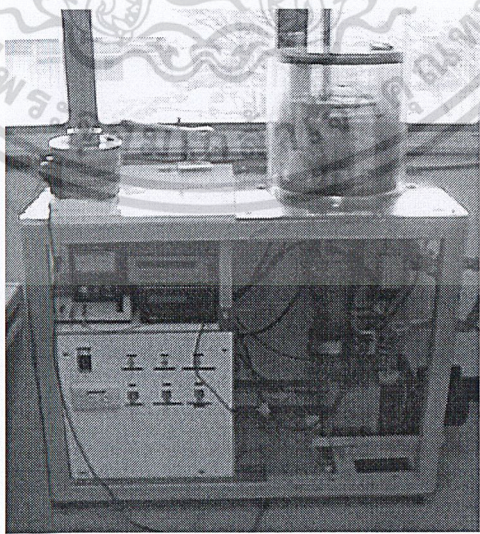
สารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัสจะมีความหนาแน่นของสเตต ภายในแถบพลังงานต้องห้ามซึ่งจะค่อยๆ ลดลงจากบริเวณคล้าย band edge และลดลงเรื่อยๆ สู่ใจกลางของแถบพลังงาน ต้องห้าม เรียกสถานะที่ค่อยๆ ลดลงเข้านี้ว่า หางของแถบพลังงาน (band tail) สถานะที่อยู่ภายในแถบต้องห้ามเรียกว่า โลคัลไลซ์สเตต (localized states) และสถานะที่อยู่ภายในแถบวาเลนซ์กับภายในแถบคอนดักชันเรียกว่า ดีโลคัลไลซ์สเตต (delocalized states) ที่กล่าวมานี้เป็นกรณีสมมติฐานว่าไม่มีจุดบกพร่อง (defects) อยู่ในสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัสแต่ในสภาพเป็นจริงในสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส จะมีจุดบกพร่องที่เกิดจากแขนขาดเสมอ การมีแขนขาดจะส่งผลให้เกิดโลคัลไลซ์สเตตเพิ่มขึ้นภายในแถบพลังงานต้องห้าม ซึ่งมักจะมีจุดบกพร่องเกิดขึ้นที่ใกล้หางของแถบคอนดักชันหรือหางของแถบวาเลนซ์ ดังรูปที่ 2.3(ค)



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบลักษณะของแถบพลังงาน

- (ก) แถบพลังงานของผลึกสารกึ่งตัวนำ
- (ข) แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดอะมอร์ฟัส
- (ค) ลักษณะของระดับโลคอไลต์สเดตในช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส

2.2 หลักการเตรียมฟิล์มบางโดยระบระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ (Vacuum Thermal Evaporator)



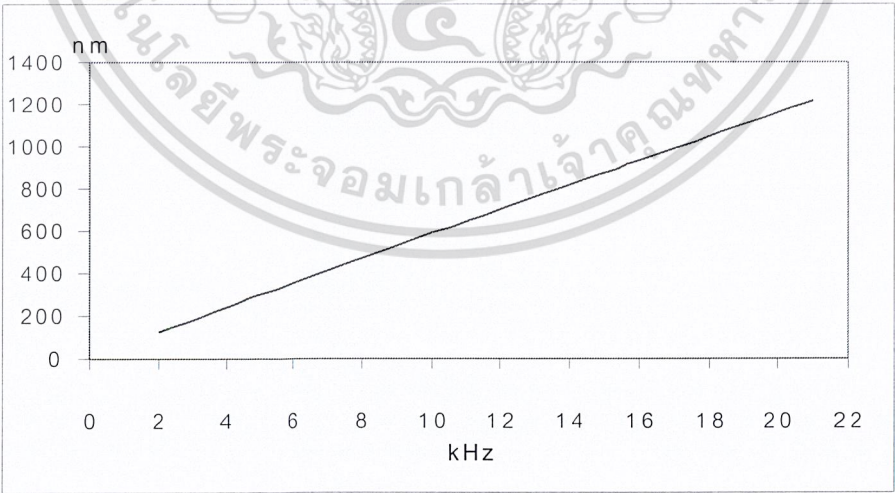
รูปที่ 2.4 แสดงระบบระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันได้มีการเตรียมฟิล์มบางโดยเทคนิคระเหยสารในระบบสุญญากาศเพื่อประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมสร้างสารกึ่งตัวนำ อุตสาหกรรมการเคลือบเลนส์ และอุตสาหกรรมการทำเลนส์กรองแสง เป็นต้น วิธีการเตรียมฟิล์มบางนี้จะเปลี่ยนแปลงวัสดุที่ใช้เตรียมค่อนข้างน้อยทำให้ลดต้นทุนการผลิต การระเหยสารในระบบสุญญากาศ เพื่อใช้ในงานทำสารกึ่งตัวนำจำเป็นต้องรู้ความหนาของสารที่เตรียมขึ้น การวัดค่าความหนาของฟิล์มบางโดยการใช้คริสตอล (X-tal) เป็นตัวตรวจวัดจลัญญ์อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อไอของสารถูกระเหยด้วยความร้อนสูงในระบบสุญญากาศซึ่งมีความดันต่ำอยู่ในระดับ 10^{-5} มิลลิบาร์ ซึ่งให้ความร้อนแก่สารโดยใช้หม้อแปลงเป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่ เบ้าหลอมสาร(crucible) โดยควบคุมกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงด้วยวารีแอค จนกระทั่งสารซีลีเนียม ระเหยขึ้นไปเกาะติดบนแผ่นรองรับเป็นฟิล์มบาง และคริสตอล มีผลทำให้ความถี่ของคริสตอลเปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่าลดลง ซึ่งค่าความถี่ที่เปลี่ยนไปนี้จะมีความสัมพันธ์กับความหนาของฟิล์ม

$$T \propto \Delta f \tag{2.2}$$

เมื่อ T คือ ความหนาของฟิล์มบาง (micron)
 Δf คือ ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป (Hz)
ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป ถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องอิลิปโซมิเตอร์ เป็นดังกราฟ



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับความถี่ที่เปลี่ยนไปของคริสตอล

2.3 วิธีการตรวจสอบฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิเนียม

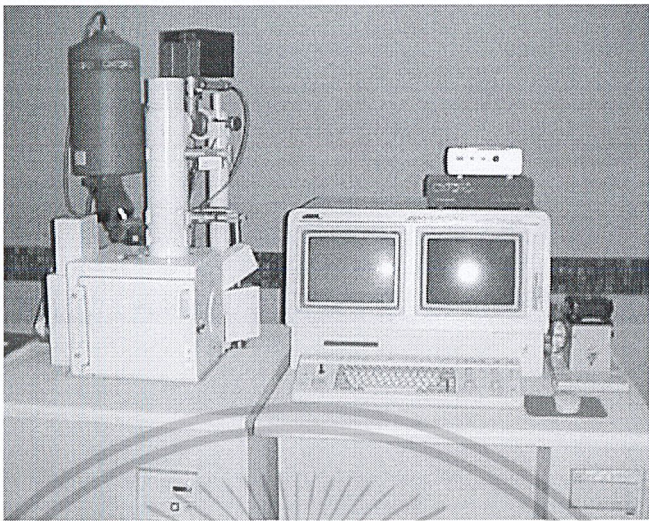
2.3.1 การตรวจสอบพื้นผิวด้วยการใช้จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

หลักการการทำงานโดยทั่วไปของจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราดคือ เมื่อแคโทดซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนได้รับพลังงานจะปลดปล่อยอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าผ่านมายังระบบเลนส์และควบคุมการเลือนกราดพื้นผิวของตัวอย่างโดยสแกนนิ่งคอยล์(scanning coils) ซึ่งพื้นที่ในการเลือนกราดบนผิวตัวอย่างนี้เป็นสัดส่วนกับกำลังขยายที่ปรากฏบนจอภาพ ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของภาพ (image resolution) ของกล้องชนิดนี้มีมากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงมาก

การเตรียมตัวอย่างที่จะใช้กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด ตัวอย่างจะต้องแห้งและนำไฟฟ้าเนื่องจากการทำงานที่ต้องทำในระบบสุญญากาศ และการใช้อิเล็กตรอนเป็นสื่อกลางในการกำเนิดสัญญาณภาพ หากผิวของตัวอย่างไม่นำไฟฟ้าจะทำให้มีอิเล็กตรอนตกค้างอยู่บนผิวหน้าของตัวอย่าง ไม่สามารถควบคุมความสว่าง และไม่สามารถโฟกัสภาพได้



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบภายในของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด



รูปที่ 2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด

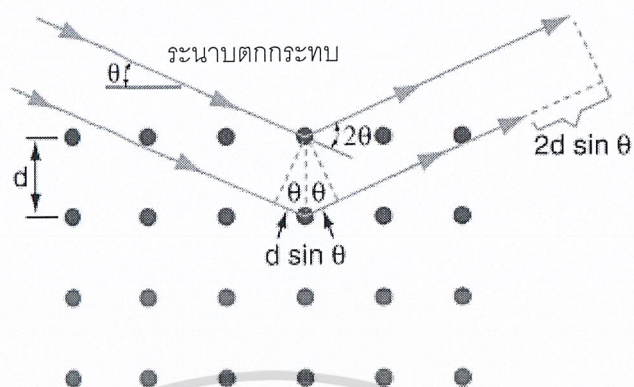
2.3.2 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูงและมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.05 – 0.25 นาโนเมตร รังสีเอกซ์เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งในสนามไฟฟ้าให้มีพลังงานสูงมาก วิ่งชนเป้าซึ่งทำด้วยโลหะหนัก ผลของการชนก่อให้เกิดรังสีเอกซ์ 2 ชนิดคือ รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (continuous X – ray) กับรังสีเอกซ์เฉพาะตัว(characteristic X – ray) รังสีเอกซ์จะเกิดการเลี้ยวเบน(diffraction) เมื่อผ่านช่องว่างระหว่างอะตอมในผลึกและหลังจากคลื่นผ่านโครงสร้างผลึกออกมาจะเกิดการแทรกสอด(interference) ทั้งแบบเสริมและหักล้างกัน วิลเลียม เฮนรี แบรกก์ (W.H.Bragg) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้ตั้งกฎการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ไว้ว่า รังสีเอกซ์จะแทรกสอดกันแบบเสริมมากที่สุดเมื่อมีการกระเจิงออกจากแต่ละระนาบด้วยความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ เรียกกฎนี้ว่า กฎของแบรกก์ (Bragg's law) ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$N\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \tag{2.3}$$

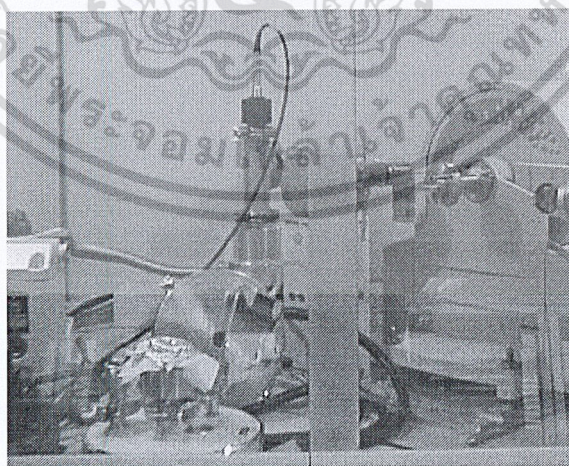
- | | | | |
|-------|-----------|-----|---|
| เมื่อ | N | คือ | อันดับการเลี้ยวเบน มีค่าตั้งแต่ 1,2,3,... |
| | λ | คือ | ความยาวคลื่น |
| | d_{hkl} | คือ | ระยะระหว่างระนาบ |
| | θ | คือ | มุมสะท้อนจากระนาบแบรกก์ของรังสีเอกซ์ซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การตกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอกซ์

ระนาบต่างๆของผลึกไม่ได้ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบนเสมอไประนาบใดที่รังสีเอกซ์ตกกระทบแล้วกระเจิงออกมาอย่างสอดคล้องกับกฎของแบรกก์เรียกว่าระนาบแบรกก์ (Bragg plane) และมุมที่รังสีสะท้อนทำกับระนาบที่ขนานกับรังสีตกกระทบเรียกว่ามุมเลี้ยวเบน (diffraction angle) ซึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของมุมสะท้อน ดังรูปที่ 2.8 จากนั้นความเข้ม (intensity) ของรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนและมุมเลี้ยวเบนต่างๆ จะถูกตรวจหาด้วย ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (diffractometer) ดังรูปที่ 2.9 และนำค่าทั้งสองที่บันทึกไว้ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึก



รูปที่ 2.9 X – ray diffractometer

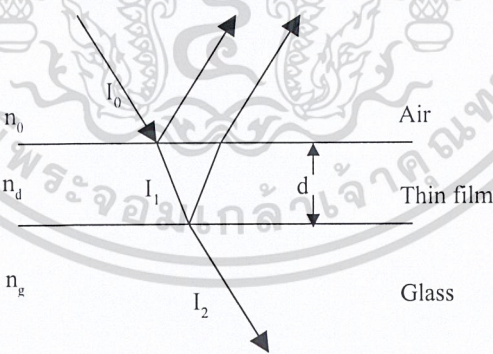
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและมุมเลี้ยวเบนที่ได้เรียกว่า diffraction pattern ซึ่งจะไม่มีการซ้ำกันเลยสำหรับธาตุหรือสารประกอบต่างชนิดกัน จากการเลี้ยวเบนแล้วแทรกสอดกันแบบเสริม ความเข้มของรังสีเอกซ์ก็จะมีค่ามากซึ่งจะสังเกตได้จากยอด (peak) ใน diffraction pattern และยอดเหล่านี้จะปรากฏที่มุมเลี้ยวเบนเดิมเสมอสำหรับธาตุหรือสารประกอบชนิดเดียวกัน การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกทำได้โดยการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จาก diffraction pattern กับบัตรข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของธาตุและสารประกอบต่างๆที่จัดทำโดย A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) ซึ่งรายละเอียดที่สำคัญในบัตรข้อมูลนี้ได้แก่

- 1. ชื่อธาตุหรือสารประกอบและสูตรโมเลกุล
- 2. ระบบผลึกและค่าคงตัวแลตทิซ
- 3. สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี
- 4. d_{hkl} และ $h k l$ ของระนาบที่ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบน

2.4 การแทรกสอดที่เกิดจากการสะท้อนของแสงในฟิล์มบาง

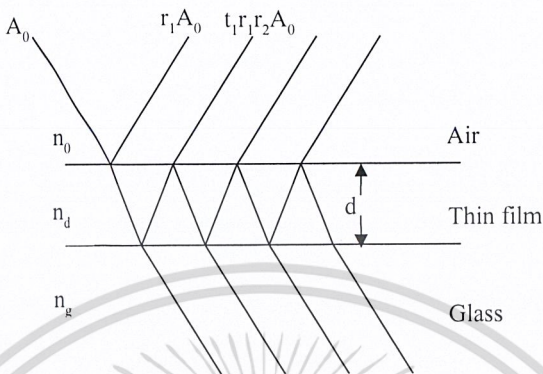
พิจารณากรณีที่มีฟิล์มบางอยู่บนแผ่นรองรับที่เป็นแผ่นแก้วเรียบผิวราบ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การแทรกสอดของลำแสงสองลำที่ฟิล์มบาง

ซึ่งในการทดลองนี้ได้แก่ ฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซีลีเนียม (a-Se) ซึ่งค่าดัชนีหักเหของอากาศ ฟิล์มบางและแผ่นรองรับ กำหนดเป็น n_0 n_d และ n_g ตามลำดับ ลำแสงตกกระทบบนผิวฟิล์มบางจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ลำแสงสะท้อนและลำแสงหักเห ลำแสงหักเหจะสะท้อนที่ผิวรอยต่อระหว่างฟิล์มบางกับแผ่นรองรับและหักเหออกสู่อากาศ โดยมีแนวลำแสงขนาน

กับแนวแสงสะท้อนลำแรก ลำแสงทั้งสองลำนี้จะทำให้เกิดการแทรกสอดกันขึ้น หรือ อาจจะ
แสงสะท้อนกลับลงไปในฟิล์มอีก และมีการสะท้อนกลับไปกลับมาอีกหลายครั้ง ดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 การแทรกสอดของลำแสงหลายลำที่ฟิล์มบาง

ที่ค่าการสะท้อนสูงสำหรับค่าความยาวคลื่นที่กำหนดให้ เมื่อพิจารณาการแทรก
สอดของหลายลำแสงเนื่องจากการสะท้อนหลายครั้ง ค่าแอมพลิจูดของการสะท้อนกำหนดโดย

$$\begin{aligned} A_1 &= r_1 A_0, \\ A_2 &= r_2 t_1^2 A_0 e^{-i\delta}, \\ A_3 &= -r_2 r_1 t_1^2 A_0 e^{-i(n-1)\delta}, \\ &\vdots \\ A_n &= (-1)^{n-1} t_1^2 r_2^{(n-1)} r_1^{n-2} A_0 e^{-i(n-1)\delta}, \end{aligned} \tag{2.4}$$

เมื่อ A_0 คือ ค่าแอมพลิจูดของแสงตกกระทบ $\delta = (4\pi n_d d / \lambda) \cos \theta_p$ คือ ค่าความ
ต่างเฟสของสองลำแสงที่ติดกัน ค่า $(-1)^{(n-1)}$ คือ ผลเนื่องมาจากการเลื่อนเฟสไป π เมื่อแสง
สะท้อนจากผิวสัมผัสกลับสู่ตัวกลางที่ค่าดัชนีหักเหที่ต่ำกว่า
ผลรวมของแอมพลิจูดจากลำแสงเหล่านี้กำหนดโดย

$$A = \sum_{n=1}^{\infty} A_n = \frac{r_1 + r_2 e^{-i\delta}}{1 - r_1 r_2 e^{-i\delta}} A_0 \tag{2.5}$$

การสะท้อนทั้งหมดจะมีค่า

$$R = \left(\frac{A}{A_0} \right)^2 = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos \delta}{1 + r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos \delta} \tag{2.6}$$

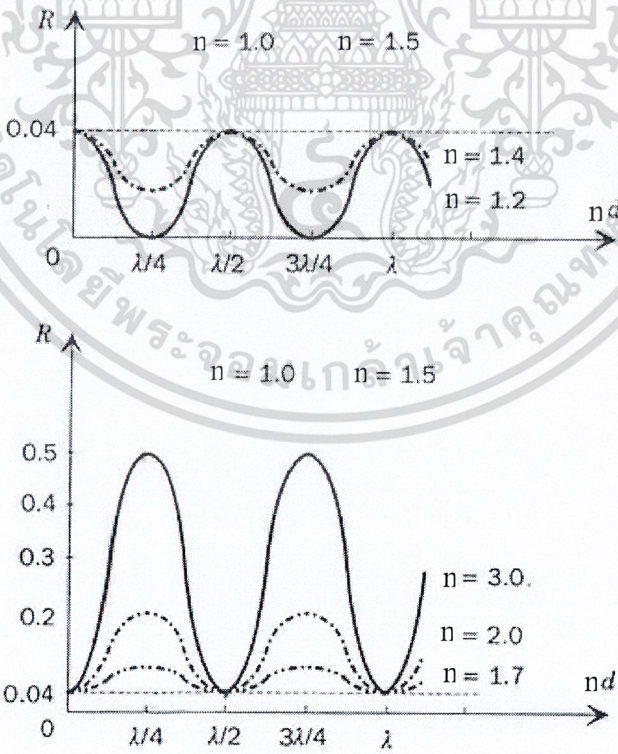
สำหรับการตกกระทบแบบตั้งฉาก ค่าความสะท้อนสามารถเขียนได้เป็น

$$R = \frac{(n_0 - n_g)^2 \cos^2(\frac{\delta}{2}) + (\frac{n_0 n_g}{n} - n)^2 \sin^2(\frac{\delta}{2})}{(n_0 + n_g)^2 \cos^2(\frac{\delta}{2}) + (\frac{n_0 n_g}{n} + n)^2 \sin^2(\frac{\delta}{2})} \tag{2.7}$$

การแทรกสอดแบบเสริมและหักล้างกำหนดโดย

$$R = \left(\frac{(n_0 n_g - n_d^2)^2}{(n_0 n_g + n_d^2)^2} \right)^2, n_d = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots, \tag{2.8}$$
$$R = \left(\frac{(n_0 - n_g^2)^2}{(n_0 + n_g^2)^2} \right)^2, n_d = \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, \dots,$$

ค่าการสะท้อนของฟิล์มบางที่ค่าดัชนีหักเหที่ต่างกันแสดงดังภาพ ทั้งค่าความเข้มสูงสุดและค่าความเข้มต่ำสุดจะเกิดเมื่อความหนามีค่าเท่ากับ $\lambda/4$ ถ้า $n < n_g$ ค่าการสะท้อนของฟิล์มจะลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามจะได้ค่าการสะท้อนที่มากขึ้น ถ้าค่าความหนา (nd) เป็นจำนวนเท่าของ $\lambda/2$ ฟิล์มบางจะไม่เปลี่ยนค่าการสะท้อนที่ผิวสัมผัส อากาศ-แก้ว



รูปที่ 2.12 การสะท้อนของฟิล์มบางชั้นเดียว

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิเนียมที่มีความหนาต่างกันโดยเทคนิคระเหยสารในสุญญากาศ

3.1.1 องค์ประกอบของระบบระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศประกอบด้วย

1. ครอบแก้วสุญญากาศ (chamber)

ทำหน้าที่เป็นห้องสุญญากาศให้แก่ระบบระเหยสารด้วยความร้อน

2. เภาหลอมสาร (crucible)

ทำจากโมลิบดีนัม (molybdenum) ทำหน้าที่ใส่สารซิลิเนียม

3. แผ่นรองรับ (substrate)

แผ่นรองรับเป็นแผ่นแก้ว ทำหน้าที่รองรับไอของสารซิลิเนียมที่ระเหยขึ้นมาเกาะติดเป็นฟิล์มบาง

4. คริสตัล (X-tal)

เมื่อไอของสารซิลิเนียมที่ระเหยขึ้นมาเกาะติดบนคริสตัล ทำให้ความถี่ของคริสตัลเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งความถี่ที่เปลี่ยนแปลงนี้สามารถนำมาคำนวณหาความหนาของฟิล์มบางได้ คริสตัลที่ใช้ในระบบนี้มีความถี่ 4.33 เมกะเฮิร์ตซ์

5. วงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator circuit)

ทำหน้าที่เปลี่ยนความถี่ของคริสตัลให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า

6. ชัตเตอร์ (shutter)

ทำหน้าที่ปิดกั้นไอระเหยของสารซิลิเนียม

7. หม้อแปลงโวลต์ต่ำกระแสสูง (variac)

ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่ภาหลอมสาร เพื่อใช้ในการระเหยสาร ซึ่งเป็นแบบที่ให้อินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำ แต่เอาต์พุตที่เป็นกระแสมีค่าสูง

8. เกจพิรานี (pirani gauge)

ทำหน้าที่วัดความดันภายในระบบสุญญากาศ

9. ปั๊มกลโรตารี (rotary pump)

ทำหน้าที่ในการลดความดันภายในระบบขั้นต้น สามารถลดความดันได้ต่ำสุด $\sim 10^{-2}$

มิลลิบาร์ หลักการคือ ก๊าซหรืออากาศในภาชนะจะถูกขับออกโดยการเคลื่อนไหวนวของลูกสูบ ทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซในห้องสุบมีความดันเพิ่มมากขึ้นจนมากกว่าความดันบรรยากาศภายนอก ก๊าซจึงถูกขับออกมา

10. ปั๊มไอฟุ้งกระจาย (diffusion pump)

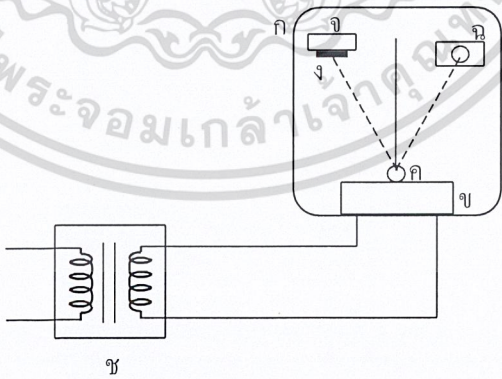
ทำหน้าที่ลดความดันภายในครอบแก้ว หลักการคือ น้ำมันจะถูกเผาให้ร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าจนเดือด น้ำมันจะระเหยกลายเป็นไอลอยตัวขึ้นไปตามท่อกลวง ไอน้ำมันจะถูกระบายความร้อนด้วยสารทำความเย็น เมื่อไอน้ำมันสูญเสียพลังงานความร้อนทำให้พลังงานจลน์ลดลงและตกลงมาปะทะกับโมเลกุลของก๊าซที่บริเวณตอนบน ทำให้โมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่ในทิศทางจากบนลงล่าง โมเลกุลของก๊าซที่มารวมตัวอยู่ด้านล่างจะทำให้ความดันของก๊าซส่วนล่างมากกว่าส่วนบน จากนั้นปั๊มกลโรตารีจะดึงออกจากปั๊มไอฟุ้งกระจาย ซึ่งสามารถทำให้ความดันลดลงต่ำสุดถึง 10^{-5} มิลลิบาร์

11. เครื่องทำความเย็น (cooling system)

ทำหน้าที่ให้ความเย็นแก่ปั๊มไอฟุ้งกระจาย เพื่อระบายความร้อนให้กับไอน้ำมัน

3.1.2 การเตรียมฟิล์มบางที่ความหนาต่างกัน

การทดลองนี้กระทำที่ระบบสุญญากาศความดันต่ำระดับ 10^{-5} มิลลิบาร์ สารซีลีเนียมบริสุทธิ์ (99.995%) ภายในเบ้าหลอมสาร (crucible) ได้รับความร้อนจนหลอมเหลวและกลายเป็นไอระเหย โดยที่ความหนาของแผ่นฟิล์มบางจะควบคุมด้วยความถี่ที่เปลี่ยนไปของคริสตัล



รูปที่ 3.1 แสดงการวางตำแหน่งอุปกรณ์ในครอบแก้วสุญญากาศ

จากภาพ	ก	คือ	ครอบแก้วสุญญากาศ
	ข	คือ	เบ้าหลอมสาร
	ค	คือ	สารที่ใช้เตรียมฟิล์มบาง
	ง	คือ	ฟิล์มบาง
	จ	คือ	แผ่นรองรับ
	ฉ	คือ	คริสตอล
	ช	คือ	หม้อแปลงโวลต์ต่ำกระแสสูง

3.2 การตรวจสอบพื้นผิวและโครงสร้างของฟิล์มบาง

ทำการตรวจสอบพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด (Scanning Electron Microscope:SEM) แล้ววิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction) เพื่อศึกษาเงื่อนไขของการเตรียมฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม และสมบัติเฉพาะของลักษณะการเป็นอะมอร์ฟัส

3.3 การสร้างระบบวัดเพื่อศึกษาสเปกตรัมการสะท้อนของแสงและการประยุกต์ใช้

3.3.1 ระบบวัดที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยระบบ 4 ระบบ กล่าวคือ

1. ระบบวัดสเปกตรัมการสะท้อนเพื่อศึกษาสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม
2. ระบบวัดค่าความยาวคลื่นจากไดโอดเปล่งแสง และ IR Emitter
3. ระบบวัดการรวมแสงเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงสองความยาวคลื่น
4. ระบบวัดสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงสองความยาวคลื่น

3.3.2 องค์ประกอบของระบบวัด

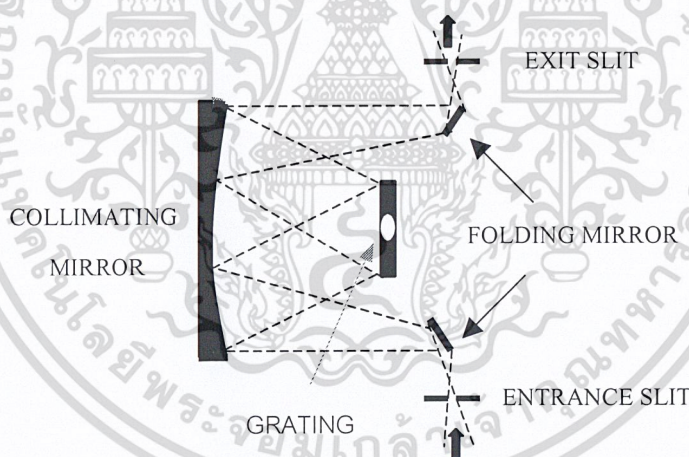
องค์ประกอบที่สำคัญคือ แหล่งกำเนิดแสง(หลอดทั้งสแตน) โมโนโครเมเตอร์ ตัวตัดแสง ตัวตรวจจับสัญญาณ เลนส์ ฟิลเตอร์ แท่นยึดสาร เครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอิน สเตปมอเตอร์ และไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง(หลอดทั้งสแตน)

แหล่งกำเนิดแสงมีกำลัง 100 วัตต์ โดยให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 200 -2200 นาโนเมตร

2. โมโนโครเมเตอร์ (monochromator)

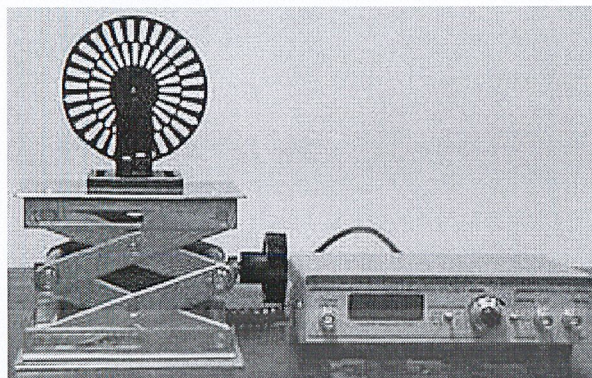
ทำหน้าที่แยกแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ หลักการคือเมื่อมีแสงเข้ามาทางสลิต(slits) แสงจะสะท้อนผ่านกระจก และตกกระทบคอลลิเมตติ้ง(collimating) จากนั้นสะท้อนไปที่เกรตติง (grating) เกรตติงจะให้แสงที่ความยาวคลื่นต่างกัน ตามการตกกระทบ แสงจากเกรตติงจะสะท้อนกลับไปยังคอลลิเมตติ้ง สะท้อนกระจก และผ่านสลิตออกไป โมโนโครเมเตอร์ที่ใช้จะมีระยะแยกแสงในช่วง 500 -1200 นาโนเมตร



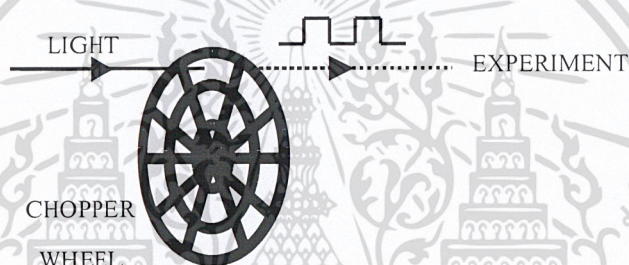
รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมของโมโนโครเมเตอร์

3. ตัวตัดแสง(chopper)

ทำหน้าที่ตัดแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ในลักษณะของสัญญาณรูปพัลส์ สัญญาณที่ผ่านออกมาจะทำหน้าที่สัญญาณ a.c. ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งจะใช้ทำหน้าที่สัญญาณมาตรฐานในการเทียบกับค่าจากตัวตรวจจับ ที่เครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอิน



รูปที่ 3.3 ตัวตัดแสงที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.4 สัญญาณเมื่อผ่านตัวตัดแสง

4. ตัวตรวจจับสัญญาณ (detector)

ในการทดลองใช้ Ge-detector ซึ่งต่ออยู่กับวงจรขยายทำให้ได้การแปลงสัญญาณในรูปของแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะมีช่วงความยาวคลื่น 600 -1720 นาโนเมตร

5. เลนส์(Lens)

ทำหน้าที่รวมแสงให้แสงที่ได้มีความเข้มสูงสุด การเลือกความยาวโฟกัสของเลนส์พิจารณาจากระยะทางและความเหมาะสมของระบบวัด ในการทดลองจะประกอบด้วย

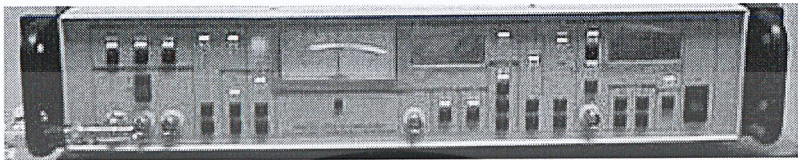
- เลนส์นูนความยาวโฟกัส 100 มิลลิเมตร
- เลนส์นูนความยาวโฟกัส 50 มิลลิเมตร

6. แผ่นยึดยึดสาร

ทำหน้าที่เป็นตัวยึดฟิล์มบางที่เตรียมไว้และปรับระดับให้เหมาะสมสำหรับการทดลอง สามารถปรับมุมเพื่อให้เกิดสเปกตรัมการสะท้อนในทิศทางที่ตรงกับตัวตรวจจับสัญญาณ

7. เครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอิน(Lock-in Amplifier)

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ โดยที่สัญญาณที่อินพุต(input signal) จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง(reference input) ในการทดลองใช้เครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอินรุ่น SR510

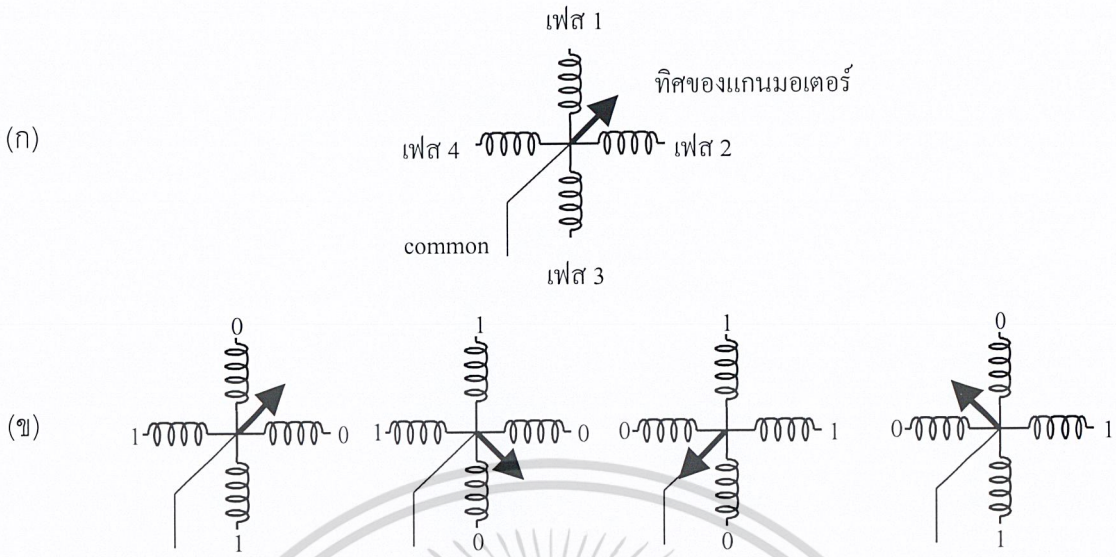


รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอินในระบบวัด

8. สเตปปีงมอเตอร์(Stepping Motor)

ทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของเกaredตึงภายในโมโนโครเมเตอร์ ค่าการหมุนเป็น 1 step/nm การสั่งงานควบคุมสเตปปีงมอเตอร์แบบพัลสสเตป เป็นการสั่งงานโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าพร้อมกันทีเดียว 2 เฟส (two-excitation) คือคู่เฟสระหว่างเฟส 1-2 2-3 3-4 และ 4 -1 หมุนเวียนกันไปโดยค่าของแต่ละสเตปคือ

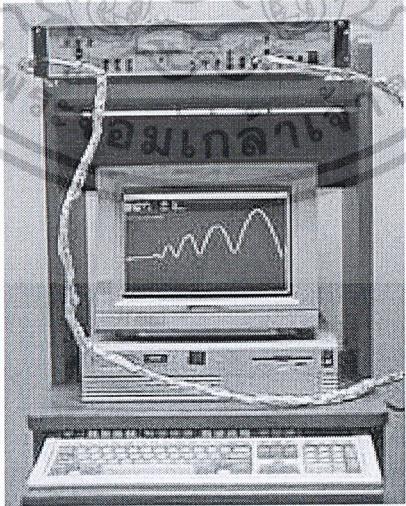
0 1 1 0 0 1 1 0	(เฟส 1)
0 0 1 1 0 0 1 1	(เฟส 2)
1 0 0 1 1 0 0 1	(เฟส 3)
1 1 0 0 1 1 0 0	(เฟส 4)



รูปที่ 3.6 (ก) แสดงตำแหน่งเฟสของสเตปป์มอเตอร์
(ข) แสดงการทำงานของสเตปป์มอเตอร์แบบพัลส์เตป

9. ไมโครคอมพิวเตอร์(Microcomputer)

ทำหน้าที่ควบคุมสเตปป์มอเตอร์ การหมุนของเกaredตึงภายในไมโครเมตรทำให้ได้ค่าแสงความยาวคลื่นต่างๆ และหน้าที่ในการรับข้อมูลจากเครื่องขยายสัญญาณแบบสล็อตอิน โดยผ่านทาง RS-232 เพื่อเก็บข้อมูลในรูปของค่าสเปกตรัมการสะท้อน

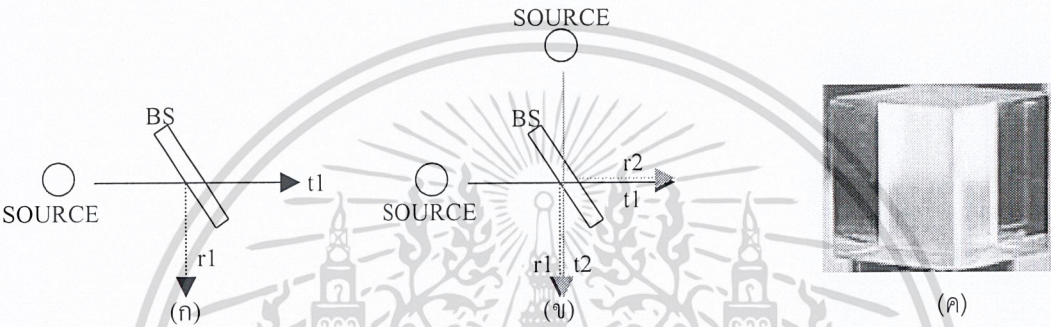


รูปที่ 3.7 แสดงไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ตัวแยกลำแสงแบบคิวบิก (Cube beam splitter)

มีขนาด 30mm x 30mm มีปริมาณสเปกตรัมการสะท้อนและการทะลุผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ แสงที่ส่องผ่านตัวตัวแยกลำแสงจะถูกแยกเป็นสองส่วน คือส่วนที่ทะลุผ่านไป และส่วนที่เกิดการสะท้อน ถ้าแสงของสองแหล่งกำเนิดยิงที่คนละด้านของตัวแยกลำแสงจะพบว่าจะมีบางส่วนของลำแสงทั้งสองที่เข้ามารวมกันเนื่องจากการเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันและมีระดับเดียวกัน



รูปที่ 3.8 แสดงแนวทางของลำแสงผ่านตัวแยกลำแสง
(ก) เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งแหล่ง
(ข) เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงสองแหล่ง
(ง) ตัวแยกลำแสงแบบลูกบาศก์

11. โวลต์มิเตอร์(voltmeter)

ใช้ในการวัดค่าความต่างศักย์ที่ตัวตรวจจับแสงรับค่าได้เนื่องจากการใช้ไดโอดเปล่งแสงและIR Emitter

12. ไดโอดเปล่งแสง และ IR Emitter

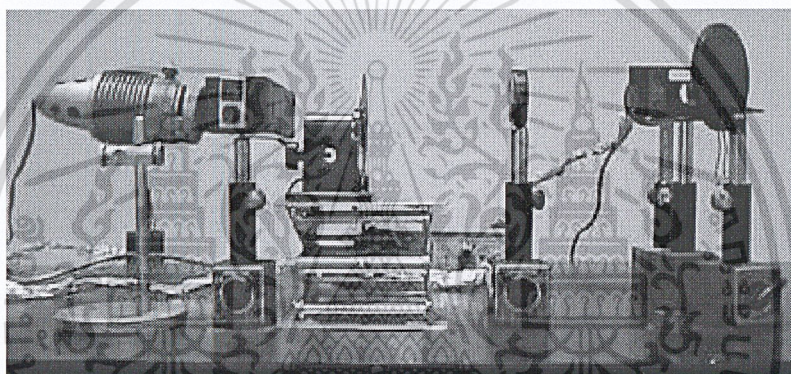
ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในสร้างแบบจำลองการทำงานของอปติคอลลานเกท โดยต้องมีการตรวจสอบค่าความยาวคลื่นเพื่อนำมาเลือกฟิล์มบางที่มีการตอบสนองสอดคล้องกับค่าความยาวคลื่นดังกล่าว

3.3.3 รายละเอียดของระบบวัด

1. ระบบวัดสเปกตรัมการสะท้อน ของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม

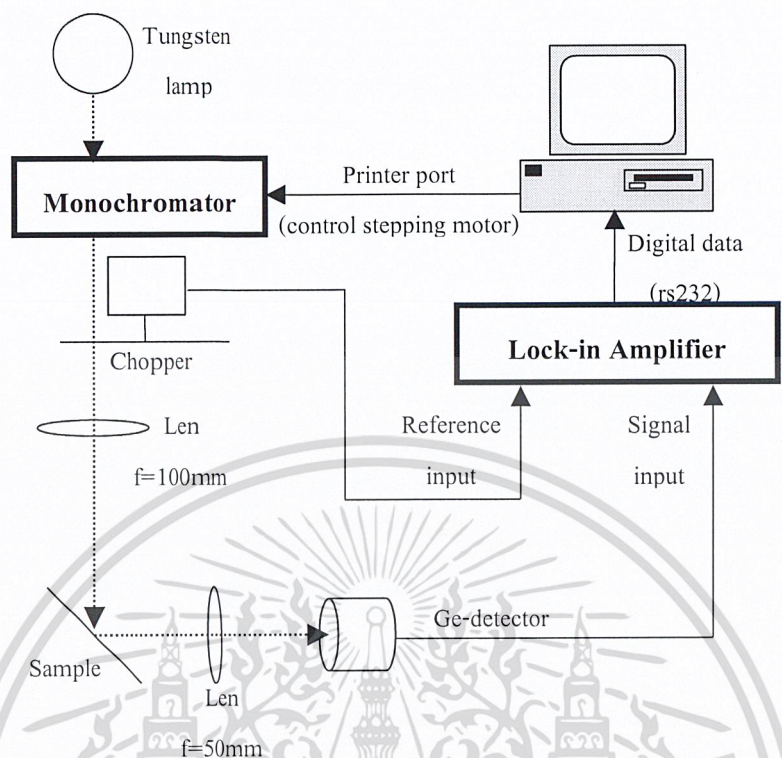
เพื่อศึกษาสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมโดยการเตรียมฟิล์มบางที่ค่าความหนาต่างกัน ด้วยวิธีการระเหยสารในระบบสุญญากาศ

การทำงานของระบบ คือ แสงจากแหล่งกำเนิดแสงหลอดทั้งสแตนผ่านตัวโมโนโครเมเตอร์เพื่อแยกแสงให้ได้ค่าความยาวคลื่นต่างๆ ผ่านตัวตัดแสงเพื่อให้ได้สัญญาณอ้างอิง แสงความยาวคลื่นใดๆ จะผ่านเลนส์รวมแสงให้ตกกระทบบนฟิล์มบางตัวอย่าง แสงสะท้อนผ่านเลนส์รวมแสงอีกครั้งเพื่อให้ตกกระทบบนตัวตรวจจับสัญญาณ



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของระบบที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

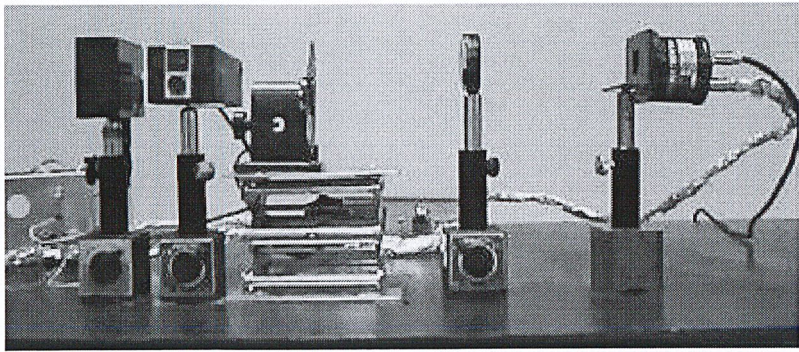


รูปที่ 3.10 โดอะแกรมของระบบวัดสเปกตรัมการสะท้อน

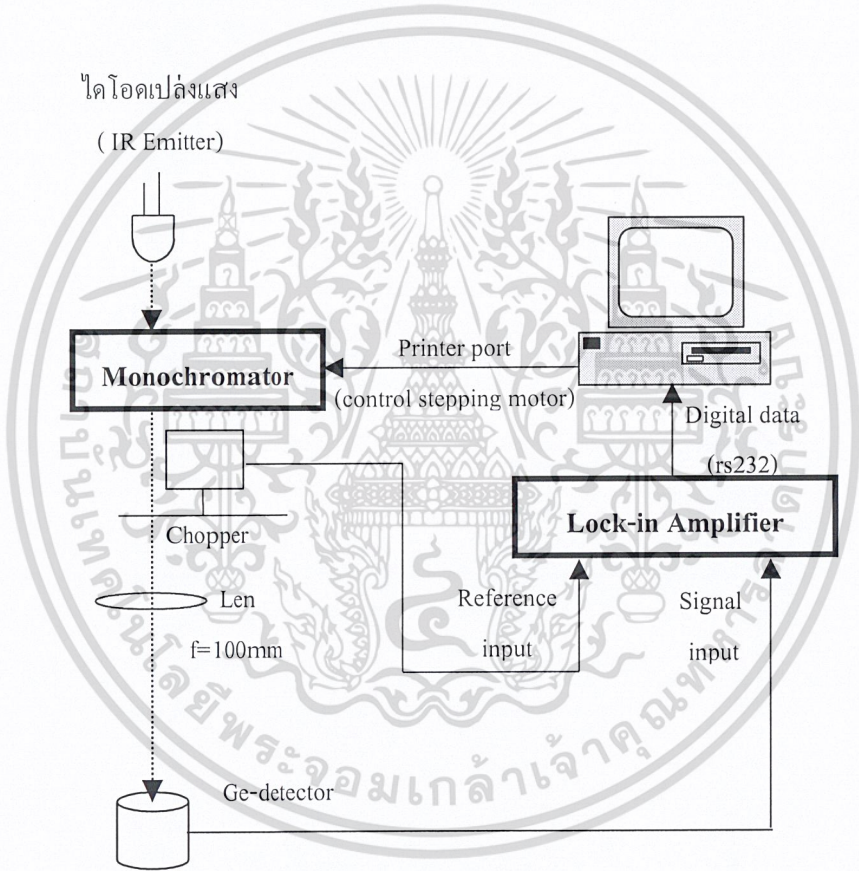
2. ระบบวัดค่าการตอบสนองของความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงชนิด ไดโอดเปล่งแสง และ IR Emitter

ในการนำคุณสมบัติสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมไปใช้งาน จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับความยาวคลื่นที่ฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมมีการตอบสนอง

ลักษณะของระบบวัดจะใช้ตัวแหล่งกำเนิดแสงที่หามาได้มาวัดหาค่าความยาวคลื่นสูงสุดของแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ แสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะผ่านตัวโมโนโครเมเตอร์เพื่อแยกแสงให้ได้แสงความยาวคลื่นใดๆ ผ่านตัวตัดแสง เลนส์นั้นจะเป็นตัวที่รวมให้แสงที่ตกกระทบลงบนตัวตรวจจับทางแสงมีความเข้มสูงที่สุด



รูปที่ 3.11 แสดงระบบวัดที่ใช้ในการทดลอง

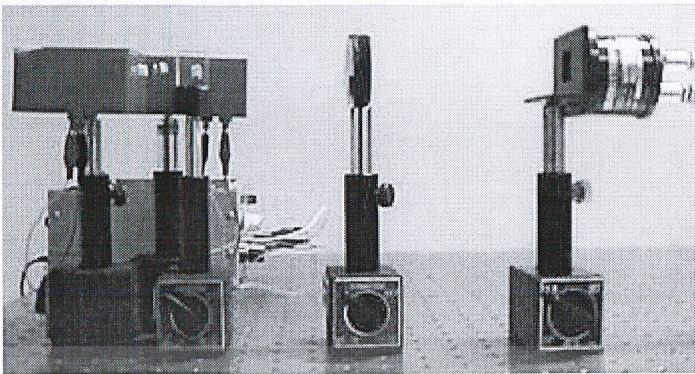


รูปที่ 3.12 ไดอะแกรมของระบบวัด

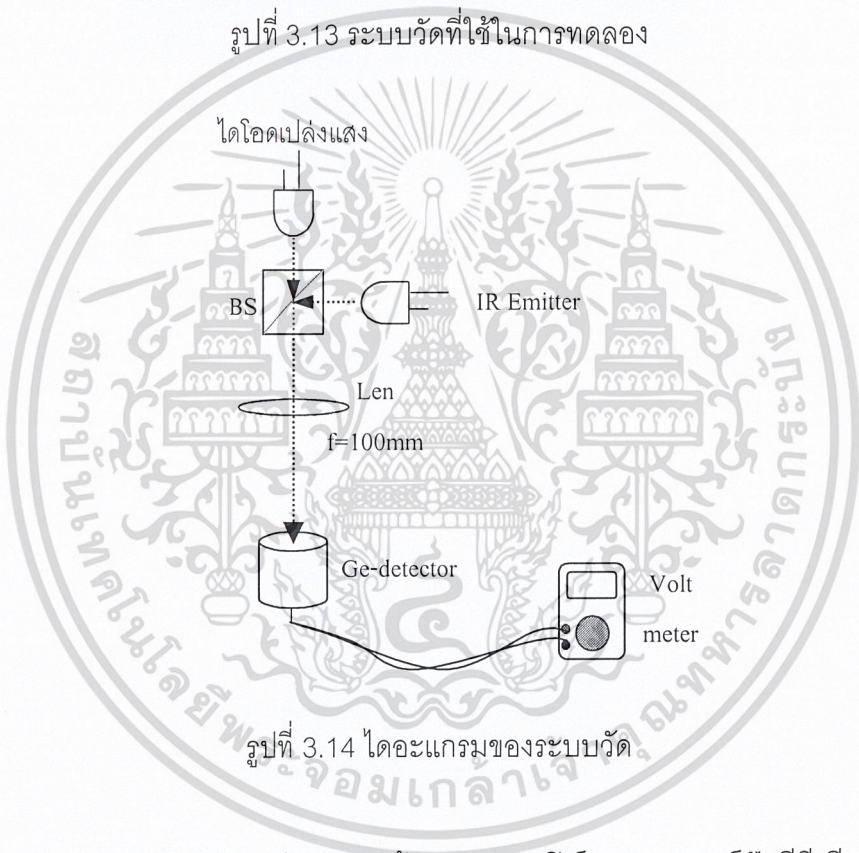
3. ระบบวัดการรวมแสงเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่งผ่าน ตัวแยกลำแสง (beam splitter)

เป็นการวัดการรวมของลำแสงของสองแหล่งกำเนิดซึ่งฉายแสงผ่านคนละด้านของตัวแยกลำแสง เลนส์นั้นจะเป็นตัวรวมแสงที่ผ่านออกมาให้ตกกระทบบนตัวตรวจจับแสง และใช้โวลต์มิเตอร์วัดค่าที่ได้ จากสายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



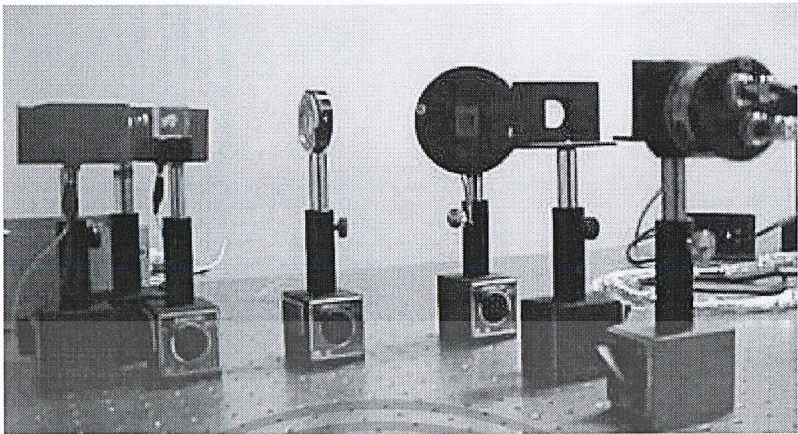
รูปที่ 3.13 ระบบวัดที่ใช้ในการทดลอง



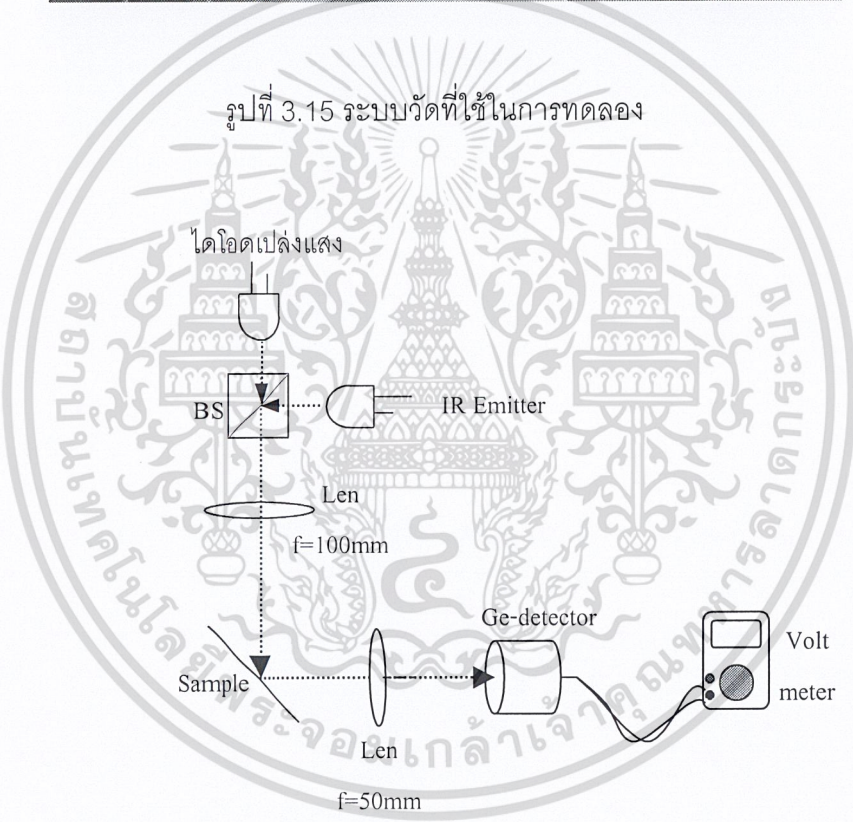
รูปที่ 3.14 ไดอะแกรมของระบบวัด

4. ระบบวัดสเปกตรัมการสะท้อนของของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิเนียมเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงสองความยาวคลื่นตกกระทบ

แสงที่ผ่านตัวแยกลำแสง ผ่านเลนส์นูน เพื่อให้ความเข้มแสงสูงสุดตกลงบนแผ่นฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิเนียม แสงสะท้อนจะรวมโดยเลนส์นูนอีกครั้งและตรวจวัดโดยตัวตรวจจับสัญญาณ วัดค่าความต่างศักย์ด้วยโวลต์มิเตอร์ที่สายสัญญาณ



รูปที่ 3.15 ระบบวัดที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมของระบบวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

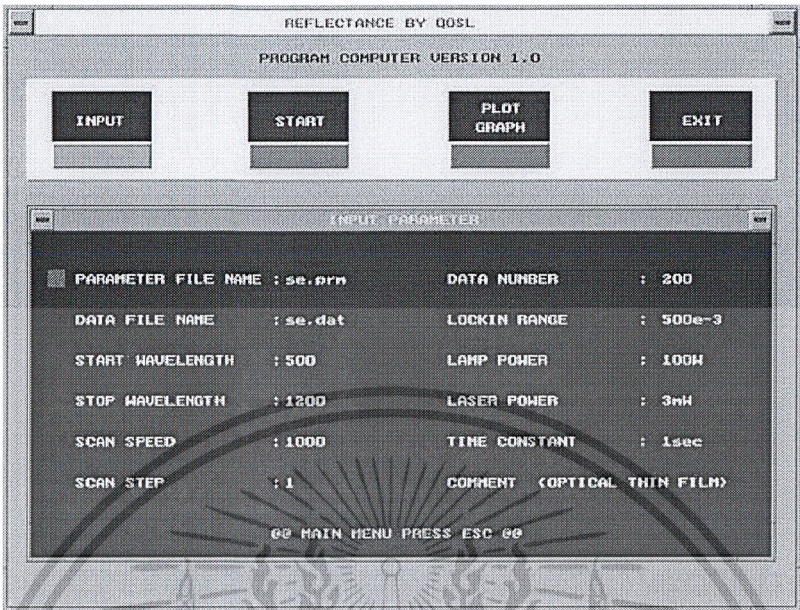
3.3.4 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

การทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง เริ่มต้นด้วยการป้อนค่าพารามิเตอร์ และทำการวัดค่า การป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ คือเริ่มจากการตั้งชื่อไฟล์ที่เก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ชนิด prn ไฟล์ที่เก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลองชนิดdat การกำหนดช่วงความยาวคลื่นที่ทำการทดลอง ค่าเต็มสเกลในการรับค่า และ time constant กด ESC เพื่อเข้าสู่โปรแกรมหลัก

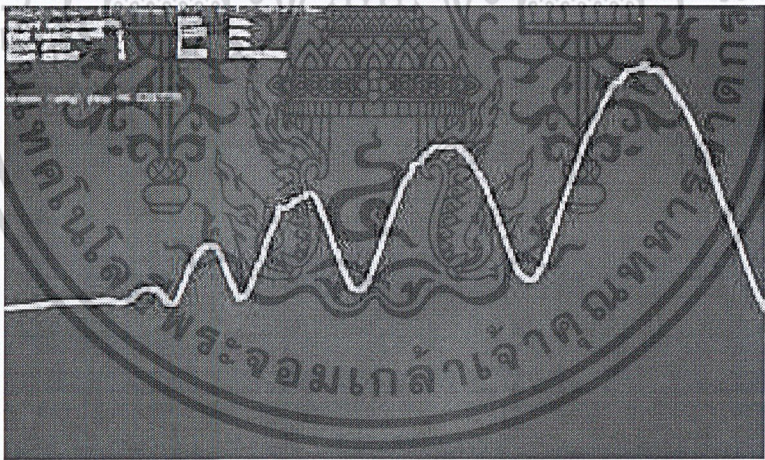
การทำงานของโปรแกรมการวัดค่า เริ่มต้นจากการใช้ค่าเริ่มต้นของความยาวคลื่นที่ให้ การวัดจะเริ่มบันทึกค่าจากเครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอินโดยผ่านทาง RS-232 เข้าทางไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกเก็บไว้ในลักษณะของอาร์เรย์ การควบคุมสแตปมอเตอร์จะกำหนดให้หมุนจนครบตามจำนวนโดยสิ้นสุดที่ค่า stop wavelength



รูปที่ 3.17 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม

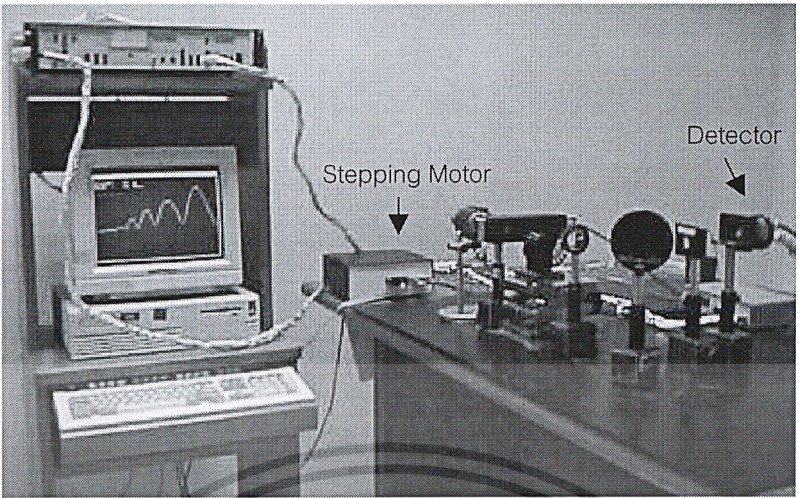


รูปที่ 3.18 แสดงหน้าจอเพื่อใส่ค่าพารามิเตอร์

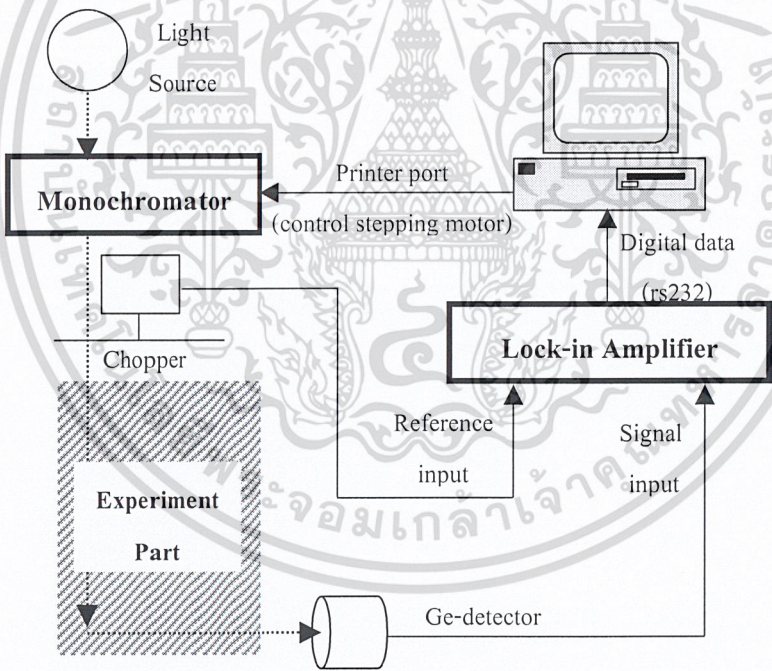


รูปที่ 3.19 แสดงหน้าจอขณะวัดค่าสเปกตรัมการสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงระบบวัดโดยมีไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุม



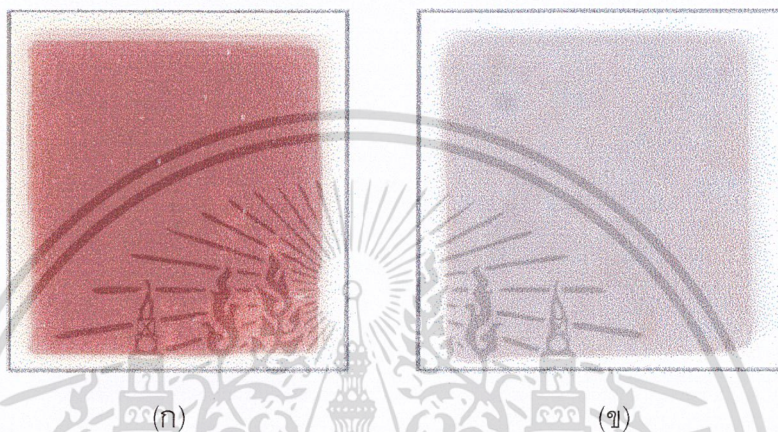
รูปที่ 3.21 แสดงแผนรูปที่การควบคุมระบบของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลจากการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิเนียม

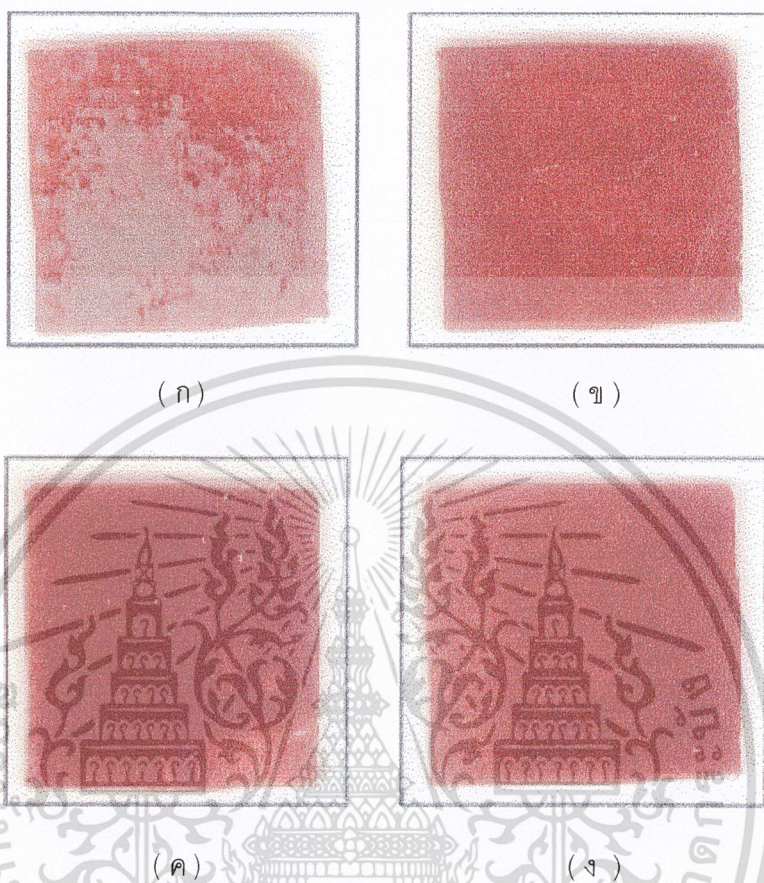


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของฟิล์มบาง

(ก) ฟิล์มบางซิลิเนียมที่ความหนา 600 นาโนเมตร

(ข) ฟิล์มบางซิลิเนียมที่ความหนา 100 นาโนเมตร

จากการสังเกตสีของฟิล์มบางที่มีความหนาแตกต่างกัน พบว่าฟิล์มบางที่มีความหนา 100 นาโนเมตรจะมีสีเทา ส่วนฟิล์มที่มีความหนา 600 นาโนเมตร จะปรากฏเป็นสีแดง

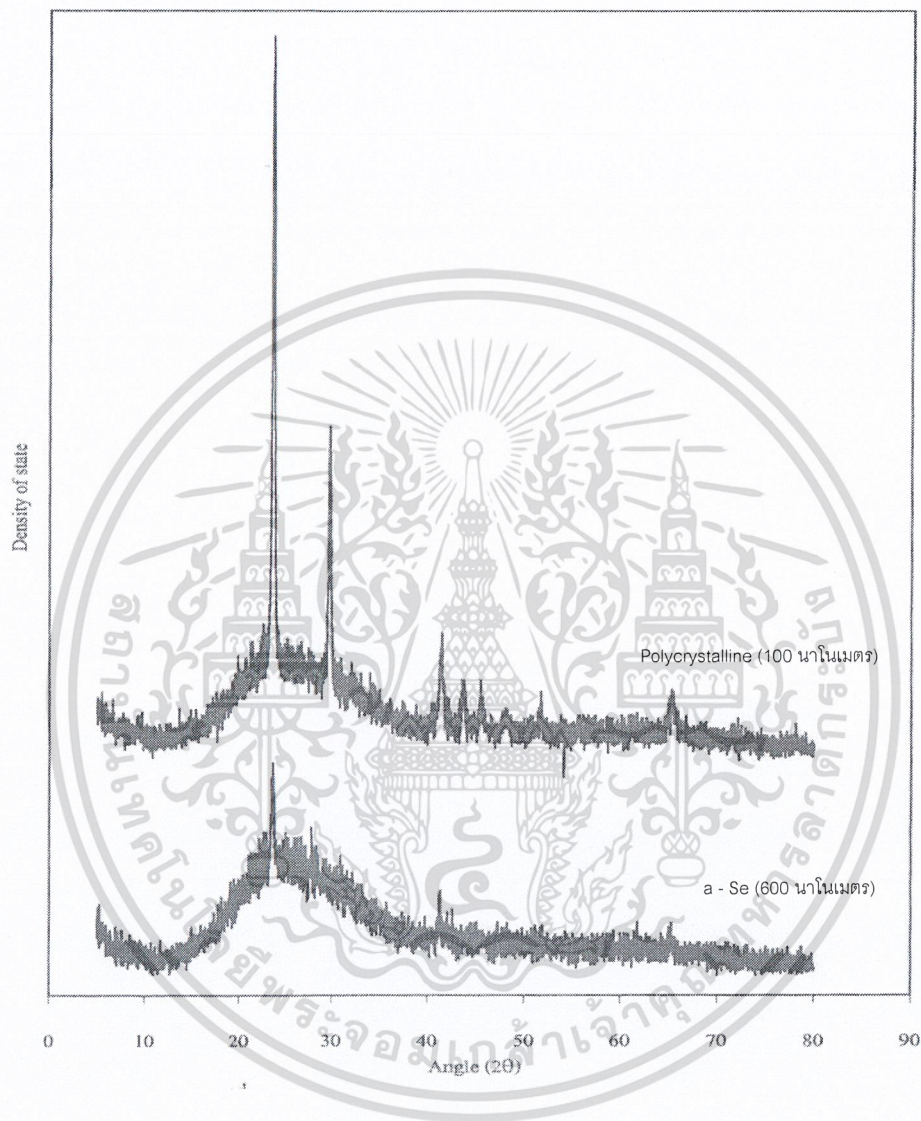


รูปที่ 4.2 ลักษณะของฟิล์มบางที่ค่าความหนาต่างๆกันในช่วง 200 – 700 นาโนเมตร

- (ก) ฟิล์มบางซีดีเนียมที่ความหนา 200 นาโนเมตร
- (ข) ฟิล์มบางซีดีเนียมที่ความหนา 400 นาโนเมตร
- (ค) ฟิล์มบางซีดีเนียมที่ความหนา 600 นาโนเมตร
- (ง) ฟิล์มบางซีดีเนียมที่ความหนา 700 นาโนเมตร

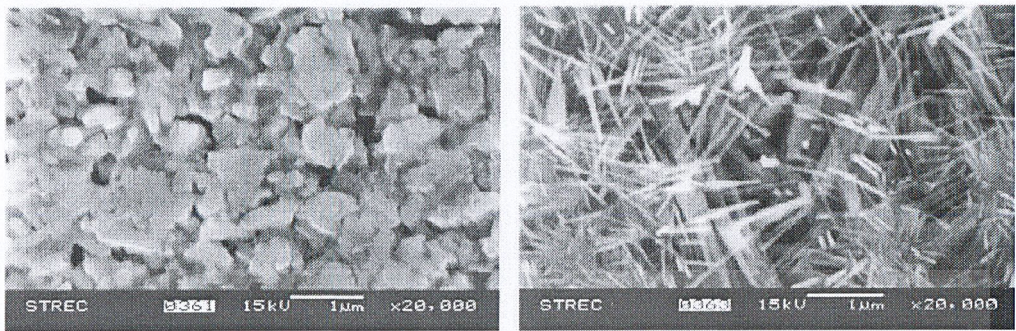
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลจากการศึกษาสมบัติของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของ X-Ray Diffraction ของฟิล์มบางที่มีความหนา 100 นาโนเมตร และ 600 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



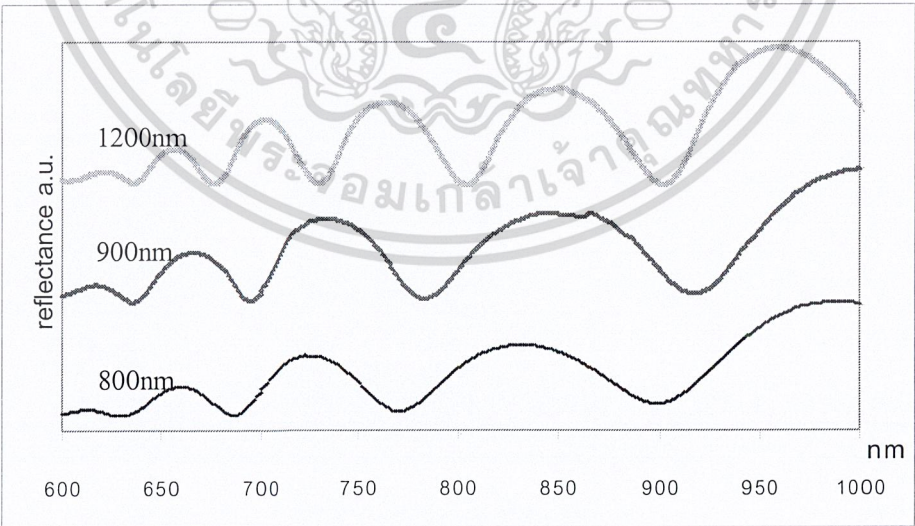
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.4 แสดงพื้นผิวของฟิล์มบางที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด (SEM)
(ก) แสดงลักษณะของการจับตัวกันแบบก้อนผลึก จากฟิล์มความหนา 100 นาโนเมตร
(ข) แสดงลักษณะการการจัดตัวไม่เป็นระเบียบ จากฟิล์มความหนา 600 นาโนเมตร

4.3 ผลจากการศึกษาสเปกตรัมของการสะท้อน

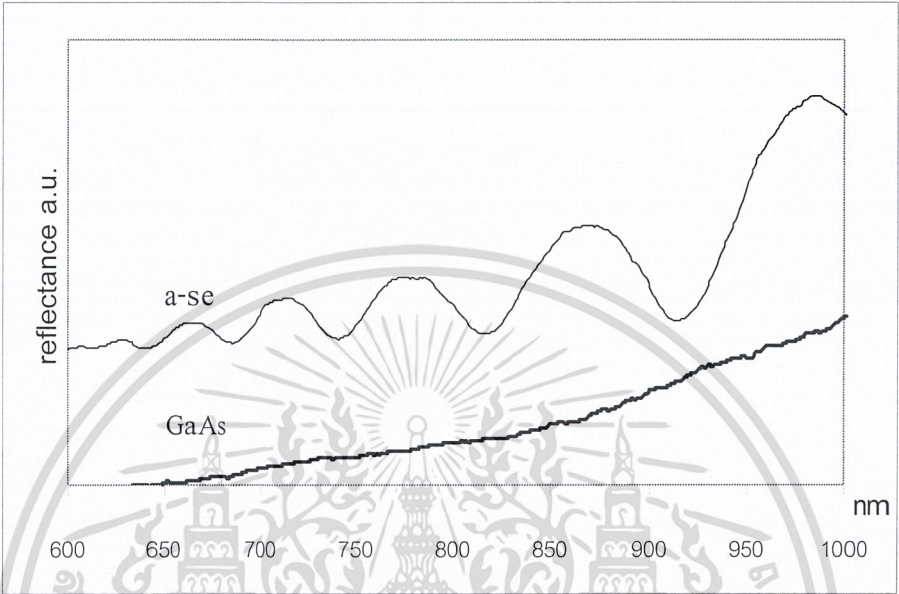
4.3.1 ผลการวัดการสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิเนียมในระบบการระเหยในสุญญากาศ ความหนา 800 900 และ 1200 นาโนเมตร โดยประมาณ



รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิเนียมที่ค่าความหนาและความยาวคลื่นค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

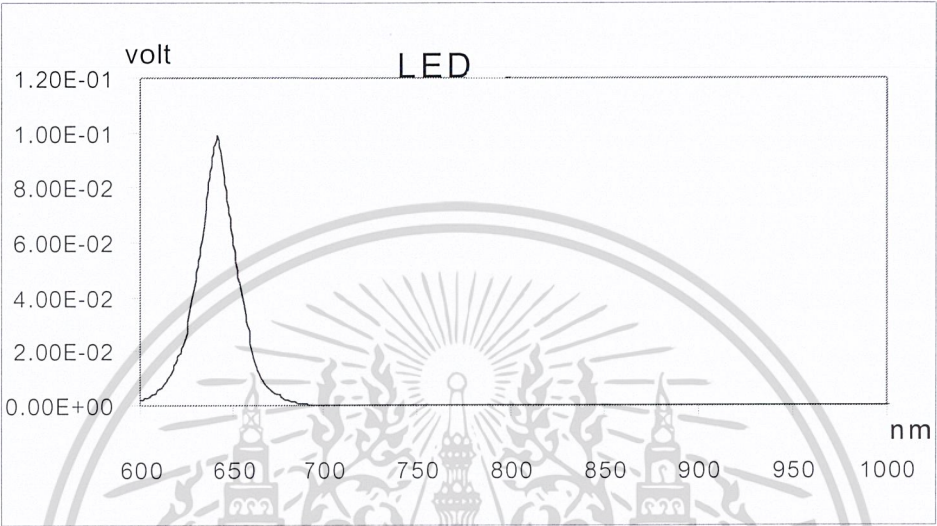
4.3.2 เปรียบเทียบสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมกับฟิล์มบางแกเลียมอาร์เซไนด์



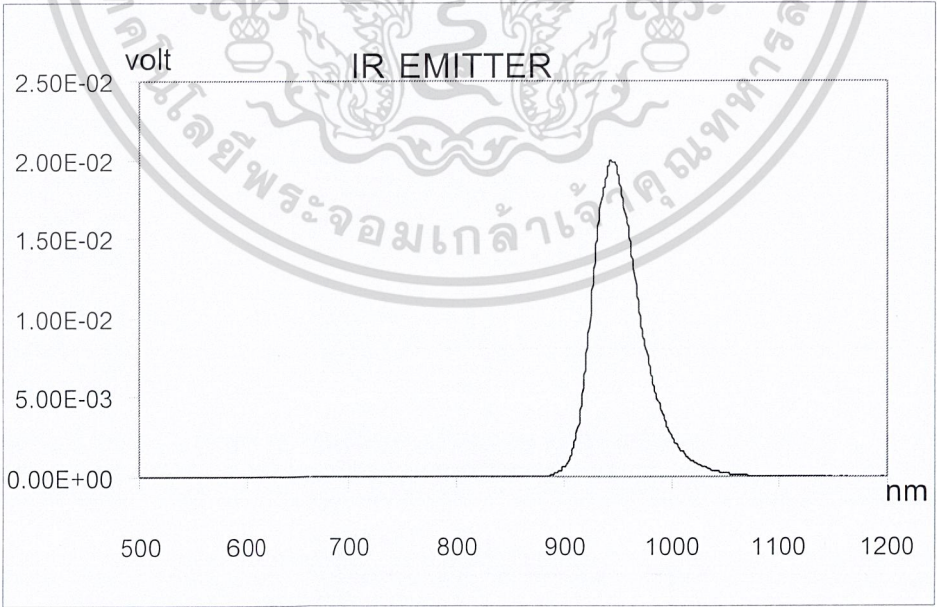
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมกับแกเลียมอาร์เซไนด์

4.4 ผลการทดลองในการเลือกความยาวคลื่นของฟิล์มบางและแหล่งกำเนิดแสง
ที่สอดคล้อง

4.4.1 เส้นสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง และ IR Emitter



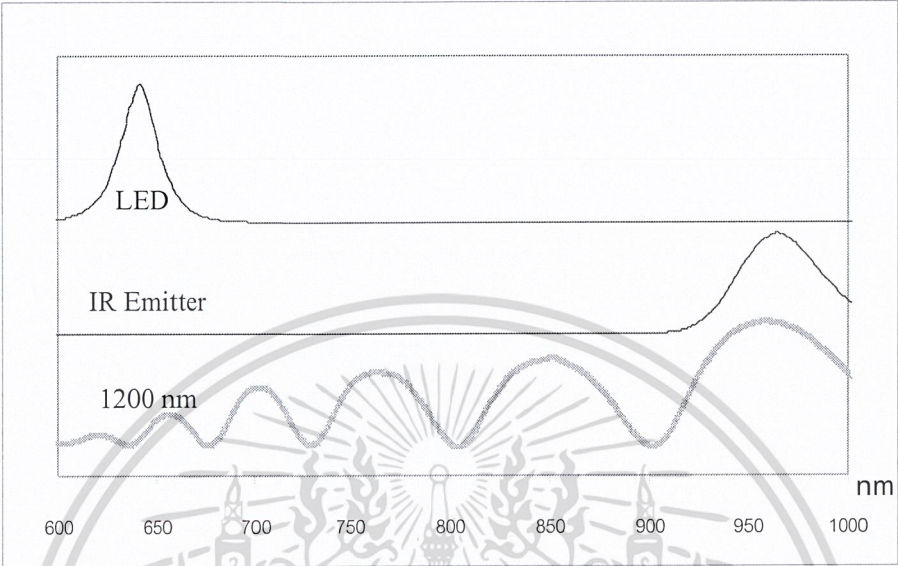
รูปที่ 4.7 แสดงเส้นสเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสง



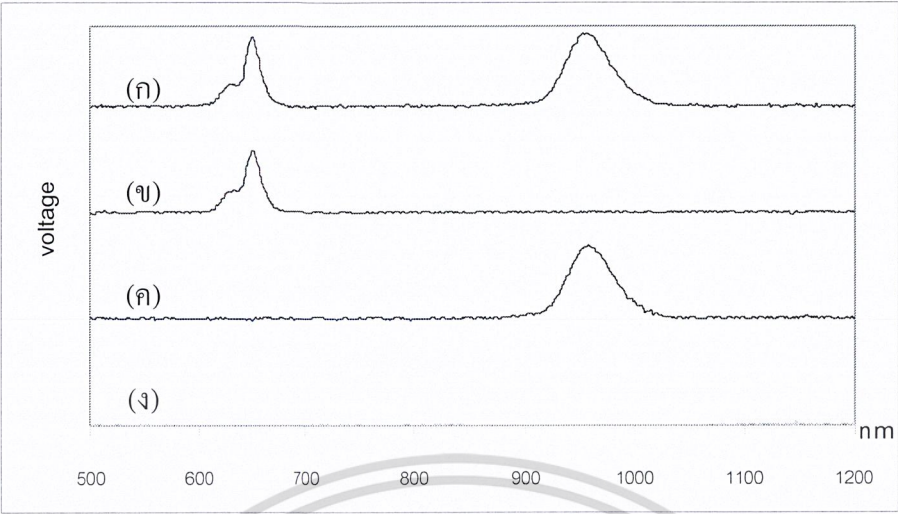
รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมของ IR Emitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 นำกราฟของแหล่งกำเนิดและฟิล์มมาทำการเปรียบเทียบเพื่อเลือกฟิล์มที่ใช้งาน



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบยอดของสเปกตรัมระหว่างฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมที่มีความหนา 1200 นาโนเมตร กับ ไดโอดเปล่งแสง และ IR Emitter



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมความหนา 1200 นาโนเมตร เมื่อใช้ไดโอดเปล่งแสงและIR Emitter

- (ก) เมื่อเปิดไดโอดเปล่งแสง และ IR Emitter
- (ข) เมื่อเปิดไดโอดเปล่งแสง
- (ค) เมื่อเปิด IR Emitter
- (ง) เมื่อเปิดไดโอดเปล่งแสง และ IR Emitter

4.5 ผลการทดลองจำลองการทำงานของอปติคอลแอนเกท

4.5.1 ผลการทดลองการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากลำแสงสองความยาวคลื่นตกกระทบบนตัวตรวจจับสัญญาณ

ความยาวคลื่น 640 nm	ความยาวคลื่น 950 nm	เอาท์พุทโวลเตจ (Volt)
0	0	0.00
1	0	12.04
0	1	12.05
1	1	12.05

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ จากลำแสงสองความยาวคลื่นตกกระทบตัวตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการทดลองการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากลำแสงสองความยาวคลื่นตกกระทบบนฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมและทำให้เกิดแสงสะท้อนตกกระทบบนตัวตรวจจับสัญญาณ

ความยาวคลื่น 640 nm	ความยาวคลื่น 950 nm	เอาท์พุทโวลเตจ (Volt)	Logic
0	0	0.00	0
1	0	2.97	0
0	1	7.97	0
1	1	9.85	1

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้เมื่อลำแสงสองความยาวคลื่นตกกระทบบนฟิล์มบางและทำให้เกิดแสงสะท้อน ตกกระทบบนตัวตรวจจับสัญญาณ

4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.6.1 การศึกษาการเตรียมฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมและสมบัติเฉพาะของฟิล์มจากการศึกษาพันธะของสารซีลีเนียมนั้นมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเหลือ 4 ตัว ในจำนวนนี้อิเล็กตรอน 2 ตัวมีส่วนร่วมในการสร้างพันธะกับอะตอมซีลีเนียมตัวอื่น (แขนละ 1 ตัวรวม 2 แขน) แต่อิเล็กตรอนที่เหลืออีก 2 ตัวไม่ได้มีส่วนร่วมในการสร้างพันธะ เมื่อฟิล์มมีความบางมากจึงทำให้ออกซิเจนในอากาศสามารถแทรกเข้าไปจับพันธะที่เหลือทั้ง 2 ตัวของซีลีเนียม ดังนั้นฟิล์มที่มีความบางมากๆ มีโครงสร้างผลึกแบบโพลีคริสตัล (polycrystalline) ส่วนฟิล์มที่มีความหนามากนั้นออกซิเจนไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้ทั้งหมด จึงทำให้ฟิล์มบางมีสีแดงคงเดิมได้โครงสร้างเป็นแบบอะมอร์ฟัส (หรือ a - Se) ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มบางด้วยวิธี X - ray diffraction ที่แสดงในรูปที่ 4.3 คือในกรณีที่เป็น โพลีคริสตัล (polycrystalline) จะเห็นว่าเมื่อตรวจสอบแล้วพบ peak ของความหนาแน่นของสเตต (density of state) เป็นจำนวนมาก ส่วนในกรณีอะมอร์ฟัส (หรือ a - Se) นั้นพบว่ามี peak ของความหนาแน่นของสเตตอยู่บ้างแต่มีจำนวนน้อยกว่าฟิล์มที่เป็น โพลีคริสตัล (Polycrystalline)

โครงสร้างของฟิล์มบางที่มีความหนาน้อยมาก จากภาพที่ 4.4(ก) มีลักษณะเป็นก้อนผลึก ในขณะที่ฟิล์มที่มีความหนามากมีลักษณะเป็นเส้นตามรูปที่ 4.4(ข)

ดังนั้นสรุปได้ว่าแผ่นฟิล์มที่มีความหนาน้อยจะมีโครงสร้างเป็นโพลีคริสตัล (polycrystalline) และในแผ่นฟิล์มที่มีความหนามากมีโครงสร้างเป็นอะมอร์ฟัส ซึ่งเรียกว่า a - Se

4.6.2 การวิเคราะห์การทดลองศึกษาสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัส ซีลีเนียม

จากการทดลองการวัดสเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม พบว่า เมื่อให้แสงมีค่าความยาวคลื่นใดๆ ตกกระทบลงบนฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม ค่าสเปกตรัมการสะท้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าความยาวคลื่น เนื่องจากค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางมีผลต่อการสะท้อน ดังนั้นค่าดัชนีหักเหจึงมีความสัมพันธ์กับค่าความยาวคลื่น นั่นคือ การที่ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าความยาวคลื่น นอกจากนี้ค่าการสะท้อนขึ้นกับค่าความหนาของแผ่นฟิล์มเช่นกัน เมื่อแผ่นฟิล์มมีความหนาที่เพิ่มขึ้น ดังกล่าวจะมีการเลื่อนของจุดยอดของสเปกตรัมที่แต่ละความหนา

จากการทดลองวัดสเปกตรัมการสะท้อนเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม และฟิล์มบางแกลเลียมอาร์เซไนด์ พบว่า สเปกตรัมการสะท้อนของฟิล์มบางแกลเลียมอาร์เซไนด์จะไม่เกิดลักษณะการแทรกสอดเหมือนกับฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมคือ ไม่ปรากฏค่าที่เป็นลักษณะของการสูงสุดต่ำสุดแต่จะเป็นลักษณะที่สเปกตรัมการสะท้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่นเพียงอย่างเดียว

จากผลการทดลองวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากการฉายลำแสงสองความยาวคลื่น ซึ่งได้จากไดโอดเปล่งแสง 650 นาโนเมตรและ IR Emitter ที่ 950 นาโนเมตร ตกกระทบบนฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมที่ความหนา 1200 นาโนเมตร สิ่งที่วัดได้จากตัวตรวจจับสัญญาณเมื่อใช้โวลต์มิเตอร์คือ กรณีที่ ปิดแหล่งกำเนิดทั้งสองจะไม่ได้ค่าความต่างศักย์ออกมา แต่ถ้าเปิดแหล่งกำเนิดตัวเดียวพบว่าค่าความต่างศักย์ที่มาจากแหล่งกำเนิดทั้งสองไม่เท่ากัน และถ้าเปิดแหล่งกำเนิดทั้งสองพร้อมกันจะได้ค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากการรวมกันของค่าความต่างศักย์ที่มาจากแต่ละแหล่งกำเนิด ลักษณะดังกล่าวนี้คล้ายกับการทำงานของอุปกรณ์ลอจิก จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวคิดในการสร้างออปติคอลแอนเกท โดยการกำหนดระดับของความต่างศักย์ขีดเริ่ม คือความต่างศักย์ตั้งแต่ 0 – 8 โวลต์ ให้เป็นลอจิก 0 และความต่างศักย์ตั้งแต่ 8 – 12 โวลต์ เป็นลอจิก 1

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและการเสนอแนะ

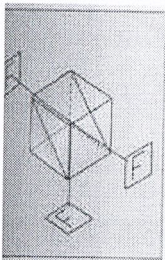
จากการเตรียมฟิล์มบางซีลีเนียม โดยระบบระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางซีลีเนียม ถูกตรวจสอบโดยวิธี X – Ray Diffraction พบว่าฟิล์มบางซีลีเนียมที่บางมาก ๆ เป็นสีเทา มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอลมีลักษณะเป็นโพลีคริสตัล (polycrystalline) ส่วนฟิล์มบางสีแดงที่หนามาก ๆ เป็นพวกอะมอร์ฟัส ซึ่งเรียกว่า a – Se

จากการศึกษาสเปกตรัมการสะท้อน ของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียม ที่ได้จากระบบ วัดรีเฟล็กแตนซ์สเปกโตรสโคปี (reflectance spectroscopy) ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น กับค่าการสะท้อน ที่แสดงว่าค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซีลีเนียมเปลี่ยนไปตามความยาวคลื่น ซึ่งเป็นสมบัติของวัสดุที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear) ซึ่งสามารถนำมาใช้ประยุกต์เป็นแนวคิดในการสร้างออปติคอลลอเกท (Optical AND GATE)



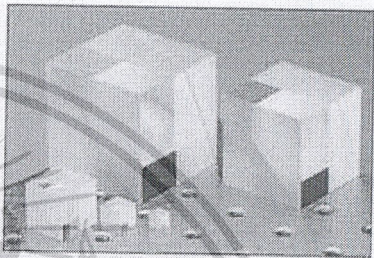
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SPECIFICATIONS	
Angle Tolerance:	±5°
Material:	BK7
Surface Quality:	60/40
Bevel:	0.3mm x 45°
Surface Flatness:	2 waves
Coatings:	Outside surfaces: 1% wave MgF Hypotenuse: multilayer dielectric coated
Transmit:	50% ±5%
Reflect:	50% ±5%

TECH SPEC™ DICHROIC CUBE BEAM SPLITTERS
• Precision Grade
Dichroic cube beam splitters are constructed by cementing two precision right angle prisms together with the appropriate interference coating on the hypotenuse surface. On precision grade cubes, the absorption loss to the coating is very little and transmission and reflection approach 50%.



DICHROIC CUBE BEAM SPLITTERS — TECH SPEC™ QUALITY					
Size (mm)	R/T Coating	Stock No.	Price Each	3-5 Each	6-10 Each
5mm x 5mm	SOR/SOT	H32600	\$104.40	\$99.60	\$94.70
6.25mm x 6.25mm	SOR/SOT	H45110	\$104.40	\$99.60	\$94.70
7.5mm x 7.5mm	SOR/SOT	H32601	\$111.10	\$105.80	\$100.60
12.5mm x 12.5mm	SOR/SOT	H45111	\$111.10	\$105.80	\$100.60
15mm x 15mm	SOR/SOT	H32503	\$111.10	\$105.80	\$100.60
20mm x 20mm	SOR/SOT	H32504	\$117.70	\$112.10	\$106.50
25mm x 25mm	SOR/SOT	H32505	\$130.00	\$124.60	\$118.30
30mm x 30mm	SOR/SOT	H32701	\$147.70	\$140.60	\$133.60
35mm x 35mm	SOR/SOT	H32702	\$179.00	\$171.30	\$162.60
40mm x 40mm	SOR/SOT	H32506	\$225.20	\$214.10	\$203.20
45mm x 45mm	SOR/SOT	H32703	\$257.30	\$244.80	\$232.20
50mm x 50mm	SOR/SOT	H32704	\$321.90	\$306.10	\$290.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.ดร. จิติ หนูแก้ว, การพัฒนาระบบประเหยในสัญญาภาคควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์,คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์เวิร์ด,ฉบับที่ 129, 2533, หน้า 59-74
2. รศ.ดร. ดุสิต เครืองาม, สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ เทคโนโลยี และการใช้งาน เล่ม 2, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, หน้า 299-355
3. รศ. สุวรรณ คูลำราญ, ทัศนศาสตร์กายภาพ, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 49-71
4. ดร.บัญชา ธนบุญสมบัติ, วารสารศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, ฉบับที่ 14 กรกฎาคม – กันยายน 2540, หน้า 56 – 60
5. ศุภสโรห หมื่นสิทธิ์, ฟิสิกส์ของวัสดุ, กรุงเทพฯ
6. เดโช ทองอร่าม, จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนสำหรับงานด้านวัสดุศาสตร์, กรุงเทพฯ
7. วิลาสินี วุฒิธิรสกุล, วารสารศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, ฉบับที่ 17 กรกฎาคม – กันยายน 2542, หน้า 44-46
8. W. Charles Cooper, The Physics of Selenium & Tellurium, Newyork
9. P. Ciureanu and S. Middelhoek, Thin Film Resistive Sensors, IOP Publishing Ltd., 1992
10. Roy Kaplow, T.A. Rowe and B.L. Averbach, Atomic Arrangement in Vitreous Selenium, Physical Review, Vol.168, No. 3, 1968, pp.1068-1079
11. O.S. Heavens, Thinfilm physic, 1st edition, New York, 1970, pp.62-66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้