

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**การพัฒนาระบบทางแสงเพื่อใช้ในระบบวัดรีเฟลกซ์นสเปกโตรสโกปี**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Development of Optical System for Reflection Spectroscopy



Mr. Apirak Pankeay  
Mr. Satapat Viphatthad

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

**โครงการพิเศษเรื่อง** การพัฒนาระบบทางแสงเพื่อใช้ในระบบวัดรีเฟลกชัน  
สเปกโตรสโกปี

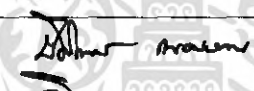



**นักศึกษา** นายอภิรักษ์ พันเชื้อ  
นายสถาปิตย์ วิภาคทัต


**ภาควิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์

**สาขาวิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ. วิษณุ เพชรภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง  
อนุมัติให้ โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.ปิติพร ถนอมงาม	
กรรมการ รศ.วิชาญ เตชิตธีระ	
กรรมการ อ.เบญจพล ต้นอู๋	
กรรมการที่ปรึกษา รศ.วิษณุ เพชรภา	

  
.....  
(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)  
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ประสบกับปัญหาและอุปสรรคต่างๆมากมาย และการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเหล่านี้ จะไม่สามารถแก้ไขปัญหาและอุปสรรคดังกล่าวได้ ถ้าหากขาดบุคคลเหล่านี้

บิดามารดา

ที่ให้ความสนับสนุนด้านทุนการศึกษา และคอยเป็น  
กำลังใจให้ตลอดมา

รศ.วิษณุ เพชรภา

ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำและแนวทางในการแก้ปัญหา

ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

ผู้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือทางด้านวัสดุ

อ.วิฑูรย์ ยินดีสุข

ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำในทฤษฎีทางแสง

รุ่นพี่ที่ QOS Lab

ผู้ช่วยเหลือทางด้านวัสดุและอุปกรณ์

เพื่อนๆน้องๆทุกคน

ที่เป็นกำลังใจให้ตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title** Development of Optical System for Reflection Spectroscopy

**Name** Mr. Apirak Pankey  
Mr. Satapat Viphattad

**Department** Applied Physics

**Program** Applied Physics-Science and Industry Instrumentation

**Academic Year** 2006

**Special Project Advisor** Assoc.Prof. Wisanu Pecharapa

### ABSTRACT

The development of additional optical system is introduced for measuring the reflectance of thin-film sample. This system is composed of a 50R/50T beamsplitter and UV-enhanced Aluminum mirrors. The completed system is inserted into the optical path of a UV-Vis spectrophotometer (Helios Gamma). Light from either deuterium or Tungsten lamp dispersed by a grating for designated wavelength is splitted by a beamsplitter and then impinged on the sample. The reflected light signal is deviated to the detector via reflection at the mirrors. The measurement is controlled by VisionPro program. The reflectance of Silicon, SiO<sub>2</sub>, ITO, ZnO and CuPc was measured and compared to another results. A Silicon wafer exhibits high reflectance in UV range and decreases significantly and remains constant in visible range. This result shows comparably good agreement to the other.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การพัฒนาระบบทางแสงเพื่อใช้ในระบบวัดรีเฟลกชันสเปกโตรสโกปี	
นักศึกษา	นายอภิรักษ์ ผันเขียว นายสถาปัตย์ วิภาตทัต	
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2549	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. วิมล เพชรภา	

#### บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบทางแสงเพื่อใช้ในการวัดการสะท้อนของสารตัวอย่างฟิล์มบาง ระบบนี้ประกอบด้วย Beam splitter (ที่มีลักษณะการทอน 50% และการทะลุผ่าน 50 %) และกระจกที่สามารถสะท้อนในย่านอัลตราไวโอเลตถึงย่านอินฟราเรด แล้วนำไปวางในทางเดินแสงของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (รุ่น Helios Gamma) แสงจากหลอดควิเทอริยมหรือหลอดทั้งสแตนท์ที่เปล่งออกมาจะถูกเลือกความยาวคลื่นด้วยเกรตติงผ่าน beam splitter แล้วไปสะท้อนกับสารตัวอย่าง สัญญาณแสงสะท้อนถูกเบี่ยงเบนไปสู่ตัวรับสัญญาณด้วยกระจก การวัดถูกควบคุมด้วยโปรแกรม VisionPro จากการทดลองวัดค่าการสะท้อนของ Si, SiO<sub>2</sub>, ITO, ZnO และ CuPc แล้วนำค่าการสะท้อนไปเปรียบเทียบกับค่าที่ขอมรับซึ่งแผ่นซิลิกอนมีค่าการสะท้อนสูงในย่านอัลตราไวโอเลตและลดลงจนมีค่าคงที่ในย่านของแสงที่ตามองเห็นซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเป็นค่าที่ถูกต้องเมื่อเทียบกับผลอื่นที่ขอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง-จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช-ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโรงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ระยะเวลาในการดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโรงงานพิเศษ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 การวัดการทะลุผ่านทางแสง ( Transmittance Spectroscopy )	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนแสง	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการโรงงานพิเศษ	
3.1 ระบบวัดทรานสมิชชันสเปกโตรสโกปี ( Transmission Spectroscopy )	11
3.2 ระบบวัดของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer	19
3.3 วิธีการวัดค่า Transmittance ของตัวอย่าง ( ฟิล์มบาง )	20
3.4 การออกแบบอุปกรณ์เสริมสำหรับวัดค่าการสะท้อน	23
3.5 สมบัติของอุปกรณ์	24
3.6 ภาพถ่ายอุปกรณ์	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ผลการทดลองการวัดค่าการสะท้อน	28
4.1.1 แผ่นซิลิกอน ( Silicon Wafer )	28
4.1.2 Silicon Dioxide ( SiO <sub>2</sub> )	31
4.1.3 Zinc Oxide ( ZnO )	32
4.1.4 Indium TinOxide ( ITO )	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.5 Copper Phthalocyanine (CuPc)	34
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
5.1 สรุปผล	35
เอกสารอ้างอิง	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงแหล่งกำเนิดคลื่นแสงในเทคนิคสเปกโตรสโกปี

หน้า

12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบาง	3
รูปที่ 2.2 การตกกระทบบนของคลื่นบนระนาบ โดยมีสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับระนาบตกกระทบบ	5
รูปที่ 2.3 การตกกระทบบนของคลื่นบนระนาบ โดยมีสนามไฟฟ้าขนานกับระนาบตกกระทบบ	6
รูปที่ 2.4 ค่าการสะท้อนและค่าการทะลุผ่านเปรียบเทียบกับมุมตกกระทบบกรณี E ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบบ	8
รูปที่ 2.5 ค่าการสะท้อนและค่าการทะลุผ่านเปรียบเทียบกับมุมตกกระทบบกรณี E ขนานกับระนาบตกกระทบบ	8
รูปที่ 2.6 ค่าการสะท้อนที่ตกกระทบบปกติในอากาศ ( $n_1=1$ ) ที่ผิวรอยต่อเดียว	9
รูปที่ 2.7 แสดงการสะท้อนของแสงจากฟิล์มบางชั้นเดียว	9
รูปที่ 2.8 การสะท้อนจากฟิล์มชั้นเดียวที่ OPD ต่างๆกับเส้นประในแนวนอนแสดงค่าการสะท้อนของผิวแก้วที่ไม่มีสารใดเคลือบอยู่	10
รูปที่ 3.1 แสดงการจัดเรียงส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer	11
รูปที่ 3.2 หลอดควิเทอเรียมและเส้นสเปกตรัมต่อเนื่องของหลอดควิเทอเรียมที่ปล่อยออกมาจะมี $\lambda_{max}$ ที่ 225 nm มีเส้นสเปกตรัม 2 เส้นจำเพาะที่เห็นชัดคือที่ 486.0 nm และ 651.1 nm	13
รูปที่ 3.3 หลอดทั้งสเดน และ สเปกตรัมต่อเนื่องที่ให้ ความเข้มสูงในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวใกล้ที่ความยาวคลื่น 1200 nm	14
รูปที่ 3.4 ความเข้มของแหล่งกำเนิดคลื่นแสงชนิดต่างๆ ที่มีลักษณะการกระจายพลังงานคล้ายวัตถุดำจะเลื่อนไปที่ความยาวคลื่นสั้นลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ	15
รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบของ โมโนโครมาเตอร์ชนิด เกรตติง โมโนโครมิเตอร์	16
รูปที่ 3.6 (ก) ส่วนประกอบของซิลิกอนไดโอด	17
(ข) ซิลิกอนไดโอดในสภาวะ forward biasing และการไหลกระแสไฟฟ้า	17
(ค) ซิลิกอนไดโอดในสภาวะ reversed biasing	18
รูปที่ 3.7 ภาพแสดงการวัด transmittance ของสารตัวอย่าง	19
รูปที่ 3.8 แสดงการออกแบบอุปกรณ์เสริมสำหรับการวัดค่าการสะท้อน	23
รูปที่ 3.9 แสดงอุปกรณ์เสริมสำหรับการวัดค่าการสะท้อน	23
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงคุณสมบัติ Transmission และ Reflection ของ Beamsplitter	24
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงคุณสมบัติการสะท้อนของกระจกในช่วงความยาวคลื่นแสงต่างๆ	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.12 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เสริมลงในเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer	26
รูปที่ 3.13 แสดงการเดินทางของแสงจาก Light source จนถึง Detector	27
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่างแผ่นซิลิกอน	28
รูปที่ 4.2 กราฟแถบพลังงานต้องห้ามของแผ่นซิลิกอน	29
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเหกับความยาวคลื่นของแผ่นซิลิกอนที่ใช้อ้างอิง	29
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเหกับความยาวคลื่นของแผ่นซิลิกอนจากการทดลอง	30
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่าง SiO <sub>2</sub>	31
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน(%T),ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่าง ZnO	32
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน(%T),ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่าง ITO	33
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน(%T),ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่าง CuPc	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำเพื่อนำมาใช้งานทางแสง ดังนั้นกระบวนการการวิเคราะห์สมบัติทางแสงของฟิล์มบางจึงมีความจำเป็น เพื่อให้ทราบถึงสมบัติทางแสงที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น ทรานสมิชชันสเปกโตรสโกปี (Transmission Spectroscopy) แอ็บซอร์ปชันสเปกโตรสโกปี (Absorption Spectroscopy) และรีเฟล็กชันสเปกโตรสโกปี (Reflection Spectroscopy) เป็นต้น ระบบวัดทางแสงที่ใช้งานโดยทั่วไปจะเป็นระบบทรานสมิชชันสเปกโตรสโกปี (Transmission Spectroscopy) ซึ่งในห้องปฏิบัติการทัศนศาสตร์พัฒนามีระบบวัดดังกล่าวรุ่น Helios UV-Vis spectrophotometer ดังนั้นจึงเกิดความสนใจที่จะประดิษฐ์อุปกรณ์เสริมเพื่อทำให้ระบบวัด spectrophotometer สามารถวัดการสะท้อน (Reflection) ของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำได้ โดยอาศัยหลักการสะท้อนของแสง

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะ โครงสร้าง สมบัติ และหลักการทำงานของเครื่อง Spectrophotometer
2. สามารถนำหลักการทางแสงมาประดิษฐ์อุปกรณ์เสริมใช้ร่วมกับเครื่อง Spectrophotometer เพื่อสามารถวัดการสะท้อนของฟิล์มบางได้
3. สามารถปรับปรุงพัฒนาอุปกรณ์เสริมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

สำหรับขอบเขตในการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์เสริมที่ใช้ร่วมกับเครื่อง Spectrophotometer เพื่อใช้วัดการสะท้อนของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ สามารถแบ่งขอบเขตออกได้ดังนี้

- 1.3.1 ส่วนทฤษฎี ศึกษาหลักการสะท้อนของแสงเพื่อนำมาประดิษฐ์อุปกรณ์เสริม
- 1.3.2 ส่วนของเทคนิคการวัด นำแสงเลเซอร์มาใช้ในการ Alignment การสะท้อนของกระจก เพื่อหาดำแหน่งและมุมสะท้อนที่เหมาะสม
- 1.3.3 ส่วนของผลและการสรุป ทำการรวบรวมผลการทดลองการวัดการสะท้อนของฟิล์มบางเพื่อนำมาคำนวณค่าที่ต้องการต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ระยะเวลาในการดำเนินการ

มิถุนายน 2549 ศึกษาหลักการทำงานของเครื่อง Spectrophotometer และหลักการสะท้อนของแสง

กรกฎาคม 2549 ออกแบบอุปกรณ์เสริม

สิงหาคม 2549 สร้างต้นแบบและทดสอบอุปกรณ์เสริม

กันยายน 2549 สร้างต้นแบบและทดสอบอุปกรณ์เสริม

ตุลาคม 2549 ปรับปรุงข้อบกพร่องเพื่อสร้างแม่แบบ

พฤศจิกายน 2549 สร้างต้นแบบอุปกรณ์เสริมจากแม่แบบ

ธันวาคม 2549 สร้างต้นแบบอุปกรณ์เสริมจากแม่แบบ

มกราคม 2550 ตรวจสอบความถูกต้อง

กุมภาพันธ์ 2550 จัดทำเอกสารประกอบ

มีนาคม 2550 ตรวจสอบความถูกต้องครั้งสุดท้าย

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ

1. สามารถใช้เครื่อง Spectrophotometer ได้อย่างถูกต้อง
2. ทำให้ทราบถึงปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ
3. สามารถนำอุปกรณ์เสริมมาใช้ทดลองวัดการสะท้อนของฟิล์มบางได้จริง
4. ความทึดริเริ่มในการออกแบบอุปกรณ์

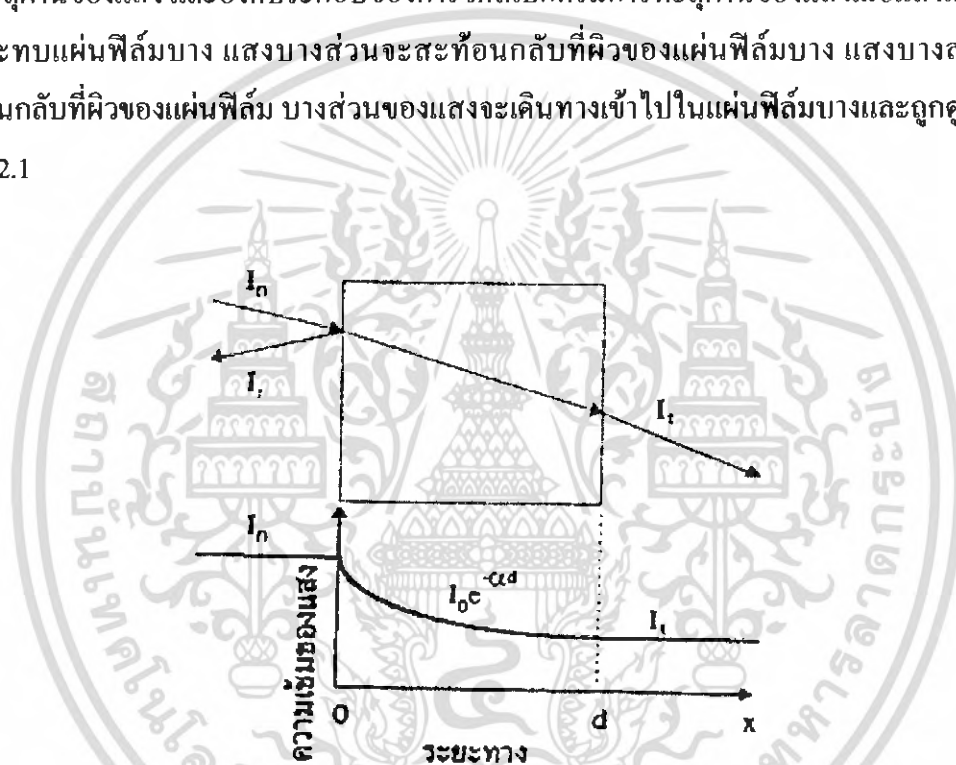
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 การวัดการทะลุผ่านทางแสง ( Transmittance Spectroscopy )

การศึกษาวิธีการวัดสเปกตรัมการสะท้อนและการทะลุผ่านของแสงนี้จะกล่าวถึงสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง และองค์ประกอบของการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงเมื่อแสงเดินทางไปกระทบแผ่นฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของแผ่นฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของแผ่นฟิล์ม บางส่วนของแสงจะเดินทางเข้าไปในแผ่นฟิล์มบางและถูกดูดกลืน ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง

เมื่อ	$I_0$	คือ	ความเข้มแสงตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบาง
	$I_r$	คือ	ความเข้มแสงสะท้อนจากฟิล์มบาง
	$I_i$	คือ	ความเข้มแสงทะลุผ่านฟิล์มบาง
	$I_t$	คือ	ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบาง
	$R$	คือ	สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสง ( Reflectivity )
	$T$	คือ	สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง ( Transmittance )
	$\alpha$	คือ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง ( Absorption coefficient )
	$D$	คือ	ระยะทางที่แสงเดินทางในแผ่นฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงมีค่า

$$R = \frac{I_r}{I_o} \quad (2.1)$$

$$I = RI_o \quad (2.2)$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบาง

$$I_i = I_o - I_r \quad (2.3)$$

$$I_i = I_o - RI_o \quad (2.4)$$

$$I_i = (1 - R)I_o \quad (2.5)$$

เมื่อแสงนี้เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางจะถูกดูดกลืนทำให้ความเข้มแสงภายในแผ่นฟิล์มบางลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลตามระยะทาง ดังนั้นความเข้มแสงทะลุผ่านมีค่าดังสมการ

$$I_t = I_i e^{-\alpha d} \quad (2.6)$$

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

ถ้าไม่มีการสะท้อนแสงที่ผิวด้านหลัง สัมประสิทธิ์ทะลุผ่านของแสงจะมีค่าเท่ากับ

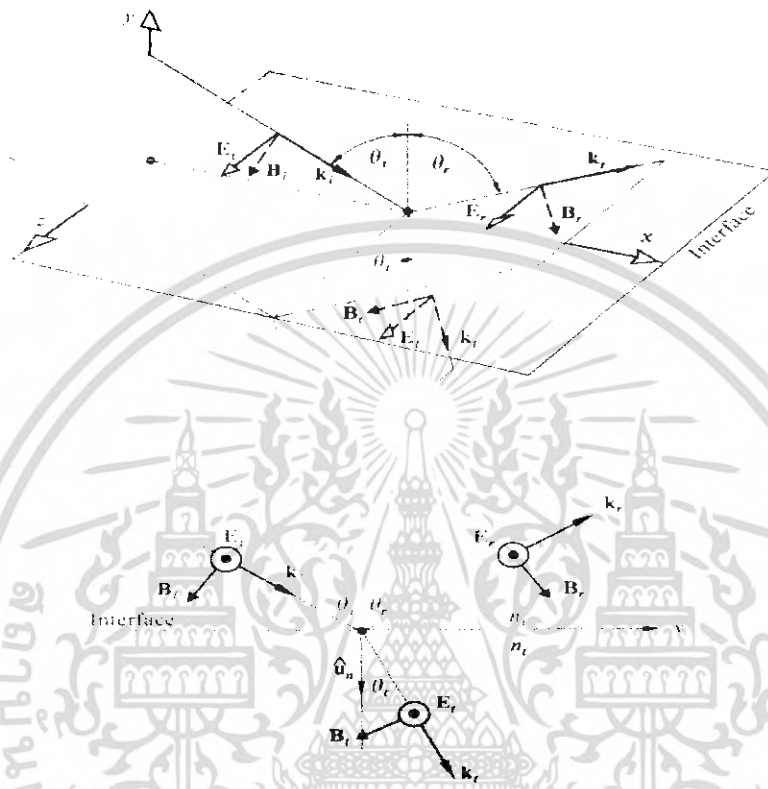
$$T = \frac{I_t}{I_o} = (1 - R)e^{-\alpha d} \quad (2.8)$$

โดยปกตินิยมแสดงค่าการทะลุผ่านในรูปของเปอร์เซ็นต์ค่าการทะลุผ่าน (Transmittance percentage) ใช้สัญลักษณ์เป็น %T โดย

$$T\% = T \times 100 \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนแสง



รูปที่ 2.2 การตกกระทบของคลื่นบนระนาบ โดยมีสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ

กรณี E ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ

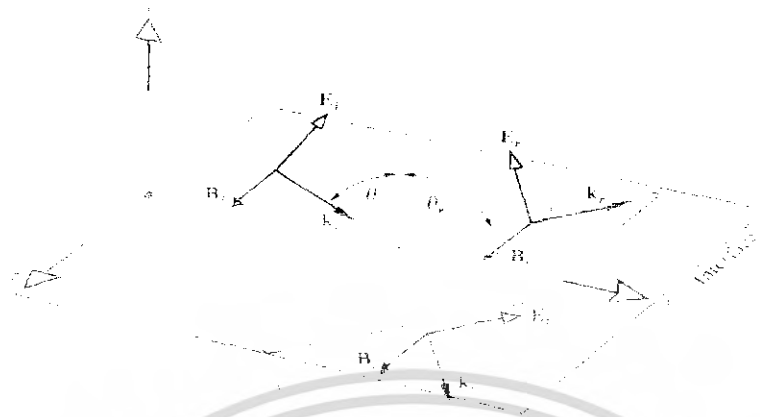
$$r_{\perp} \equiv \left( \frac{E_{0r}}{E_{0i}} \right)_{\perp} = \frac{n_t \cos \theta_i - n_i \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_i + n_t \cos \theta_t} \quad (2.10)$$

$$t_{\perp} \equiv \left( \frac{E_{0t}}{E_{0i}} \right)_{\perp} = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_i + n_t \cos \theta_t} \quad (2.11)$$

โดยที่  $r$  = amplitude reflection coefficient

$t$  = amplitude transmission coefficient

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การตกกระทบของคลื่นบนระนาบ โดยมีสนามไฟฟ้าขนานกับระนาบตกกระทบ

กรณี E ขนานกับระนาบตกกระทบ

$$r_{\parallel} \equiv \left( \frac{E_{0r}}{E_{0i}} \right)_{\parallel} = \frac{n_t \cos \theta_t - n_i \cos \theta_i}{n_t \cos \theta_t + n_i \cos \theta_i} \quad (2.12)$$

$$t_{\parallel} \equiv \left( \frac{E_{0t}}{E_{0i}} \right)_{\parallel} = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_t \cos \theta_t + n_i \cos \theta_i} \quad (2.13)$$

โดยที่  $r$  = amplitude reflection coefficient

$t$  = amplitude transmission coefficient

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าการสะท้อนจากสมการ

$$R = \left( \frac{E_{0r}}{E_{0i}} \right)^2 = r^2 \quad (2.14)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} R_{\perp} &= r_{\perp}^2 \\ R_{\parallel} &= r_{\parallel}^2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

เมื่อมุมตกกระทบ  $\theta_i = 0$

$$R = R_{\perp} = R_{\parallel} = \left( \frac{n_r - n_i}{n_r + n_i} \right)^2 \quad (2.16)$$

หาค่าการทะลุผ่านจากสมการ

$$T = \frac{n_i \cos \theta_i \left( \frac{E_{0t}}{E_{0i}} \right)^2}{n_i \cos \theta_i \left( \frac{E_{0i}}{E_{0i}} \right)^2} = \left( \frac{n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_i} \right) t^2 \quad (2.17)$$

ดังนั้น

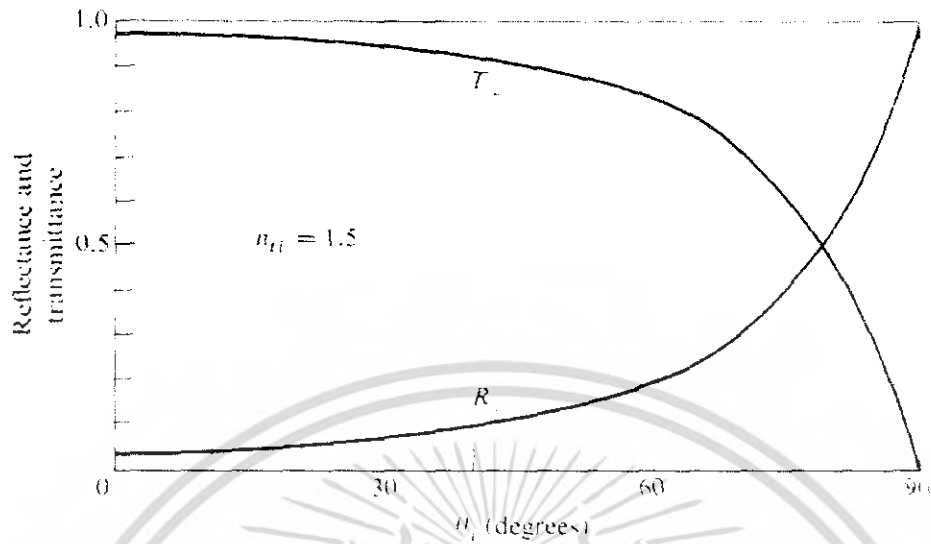
$$T_{\perp} = \left( \frac{n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_i} \right) t_{\perp}^2 \quad (2.18)$$

$$T_{\parallel} = \left( \frac{n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_i} \right) t_{\parallel}^2 \quad (2.19)$$

และ

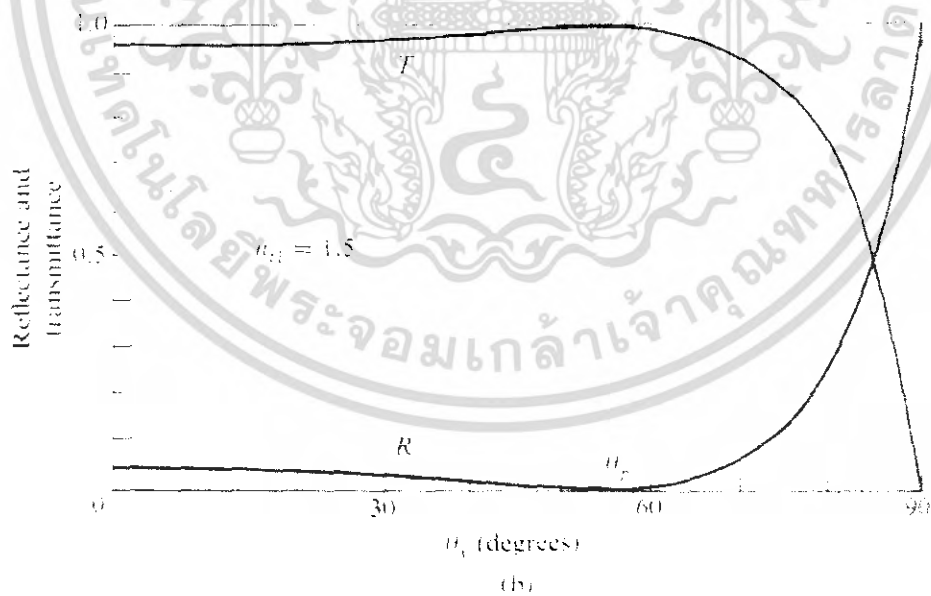
$$T = T_{\perp} = T_{\parallel} = \frac{4n_i n_r}{(n_i + n_r)^2} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ค่าการสะท้อนและค่าการทะลุผ่านเปรียบเทียบกับมุมตกกระทบกรณี E ตั้งฉากกับระนาบ

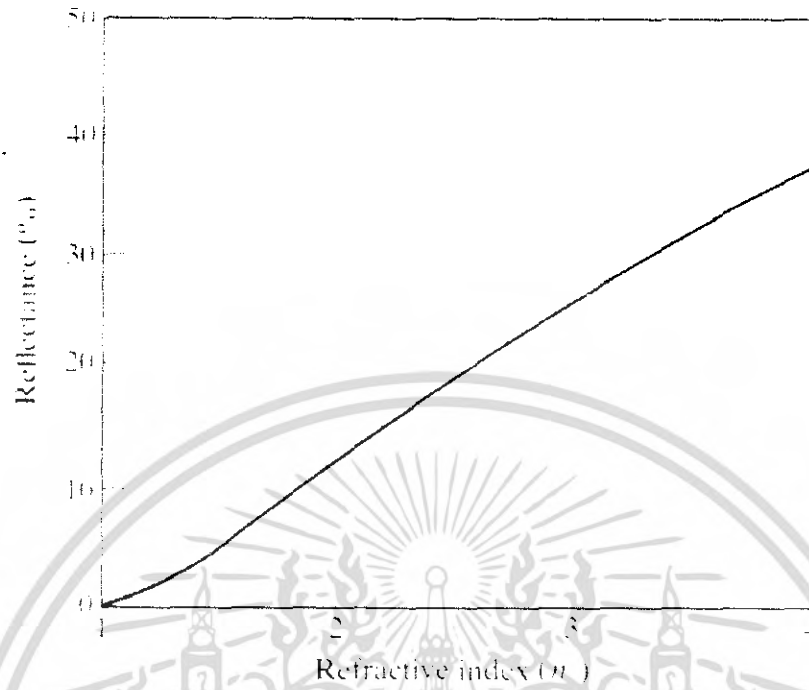
ตกกระทบ



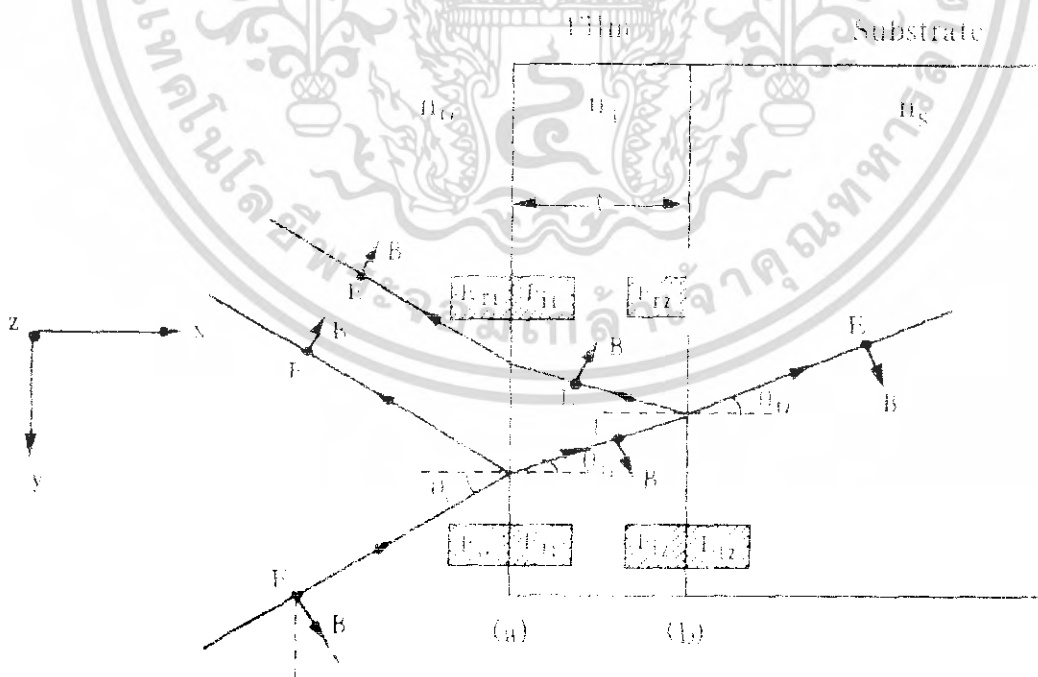
รูปที่ 2.5 ค่าการสะท้อนและค่าการทะลุผ่านเปรียบเทียบกับมุมตกกระทบกรณี E ขนานกับระนาบ

ตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ค่าการสะท้อนที่การกระทบปกติในอากาศ ( $n_1=1$ ) ที่ผิวรอยต่อเดี่ยว



รูปที่ 2.7 แสดงการสะท้อนของแสงจากฟิล์มบางชั้นเดียว

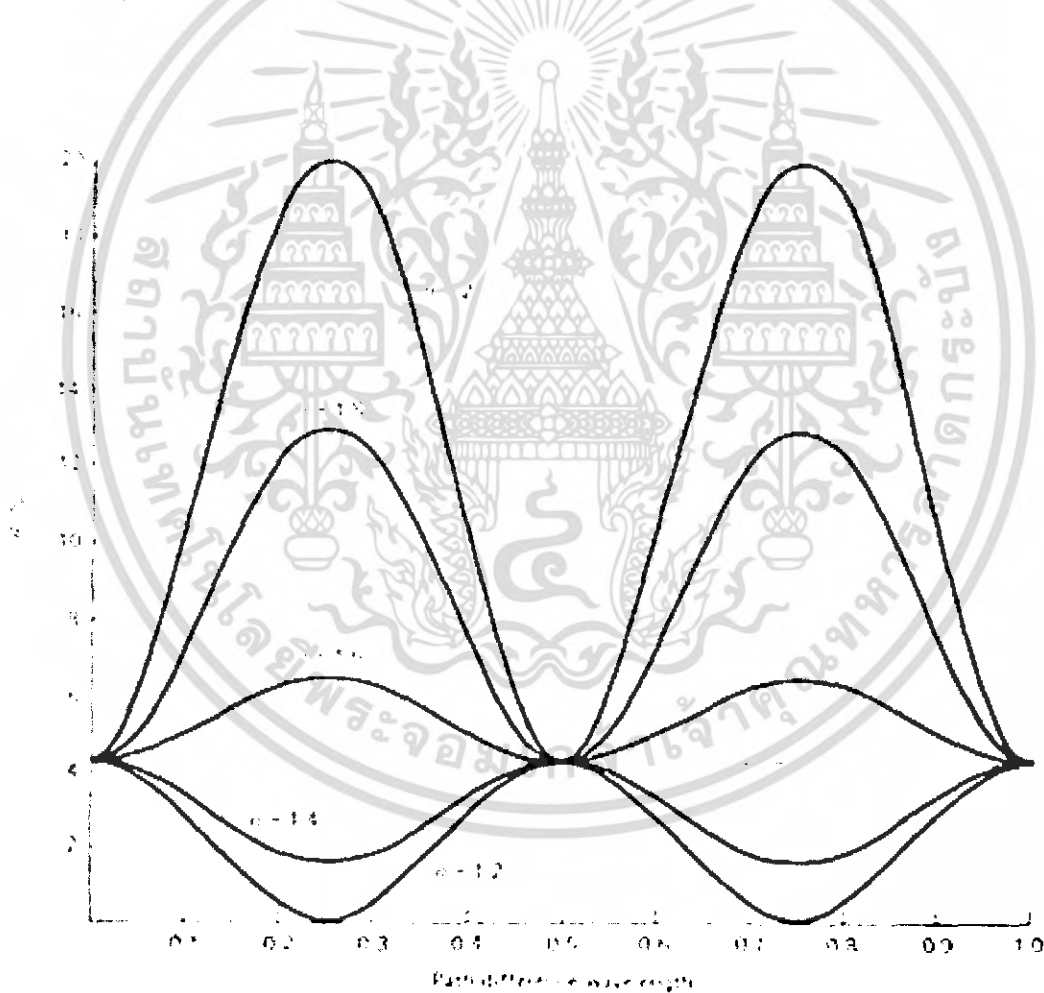
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการสะท้อนของแสงจากฟิล์มบางชั้นเดียว

$$R = \frac{n_1^2(n_0 - n_s)^2 \cos^2 \delta + (n_0 n_s - n_1^2)^2 \sin^2 \delta}{n_1^2(n_0 + n_s)^2 \cos^2 \delta + (n_0 n_s + n_1^2)^2 \sin^2 \delta} \quad (2.21)$$

$$\delta = k_0 \Delta = \left( \frac{2\pi}{\lambda_0} \right) n_1 t \cos \theta_{11} \quad (2.22)$$

เมื่อนำค่า R ในสมการด้านบนในการเขียนกราฟกับ OPD หรือ  $\Delta$  จะได้ผลดังรูป 2.2 ซึ่งในแกนนอน มีการกำหนดสเกลให้อยู่ในรูปของอัตราส่วน  $\Delta/\lambda$  แต่ละเส้นโค้งแทนฟิล์มที่มีดัชนีหักเหต่างกันในฐานรองที่เป็นแก้วเหมือนกัน โดยแก้วมีดัชนีหักเห 1.52



รูปที่ 2.8 การสะท้อนจากฟิล์มชั้นเดียวที่ OPD ต่างๆกับเส้นประในแนวนอนแสดงค่าการสะท้อนของผิวแก้วที่ไม่มีสารโคเคลือบอยู่

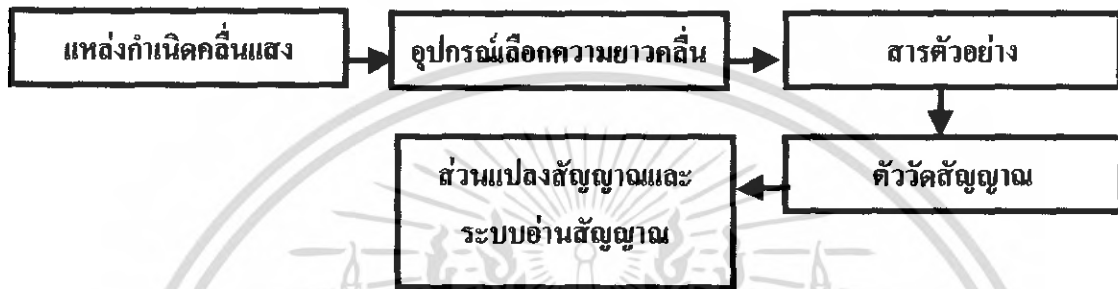
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการโครงการพิเศษ

##### 3.1 ระบบวัดทรานสมิชันสเปกโทรสโกปี ( Transmission Spectroscopy )

##### 3.1.1 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer



รูปที่ 3.1 แสดงการจัดเรียงส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

##### แหล่งกำเนิดคลื่นแสง

แหล่งกำเนิดคลื่นแสงที่ดีควรใช้แสงที่มีความเข้มสูงสม่ำเสมอและมีความคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งานเพื่อที่จะให้แหล่งกำเนิดคลื่นแสงให้แสงที่มีความเข้มที่พอเพียงต่อการตรวจวัดจะต้องมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าคงที่เพื่อให้พลังงานแก่แหล่งกำเนิดคลื่นแสง แหล่งกำเนิดคลื่นแสงในทางสเปกโทรสโกปีมี 2 ประเภท คือ

1. แหล่งกำเนิดคลื่นแสงที่ให้ออกมามีลักษณะเป็นเส้นสเปกตรัม ( lines source ) หรือคลื่นแสงแบบเส้นซึ่งจะคายเส้นสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่งเฉพาะ
2. แหล่งกำเนิดคลื่นแสงที่ให้ออกมาเป็นแถบของคลื่นที่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงคลื่นกว้าง ( continuum source ) โดยที่ความเข้มของคลื่นแสงที่ให้ออกมาจะเปลี่ยนแปลงขึ้นกับความยาวคลื่น

##### แหล่งกำเนิดคลื่นแสงอัลตราไวโอเลต

ช่วงสเปกตรัมที่ใช้คือ 180-375 nm นิยมใช้หลอดไฮโดรเจน ( Hydrogen lamp )

หลอดดิวทีเรียม ( Deuterium lamp ) หลอดซีนอน ( Xenon lamp ) และหลอดเมอคิวรี ( Mercury lamp )

1. หลอดไฮโดรเจนและดิวทีเรียม ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในหลอดแก้วที่มีหน้าต่างที่ทำด้วยควอตซ์ ภายในบรรจุแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สดิวทีเรียมที่ความดันต่ำๆ เมื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

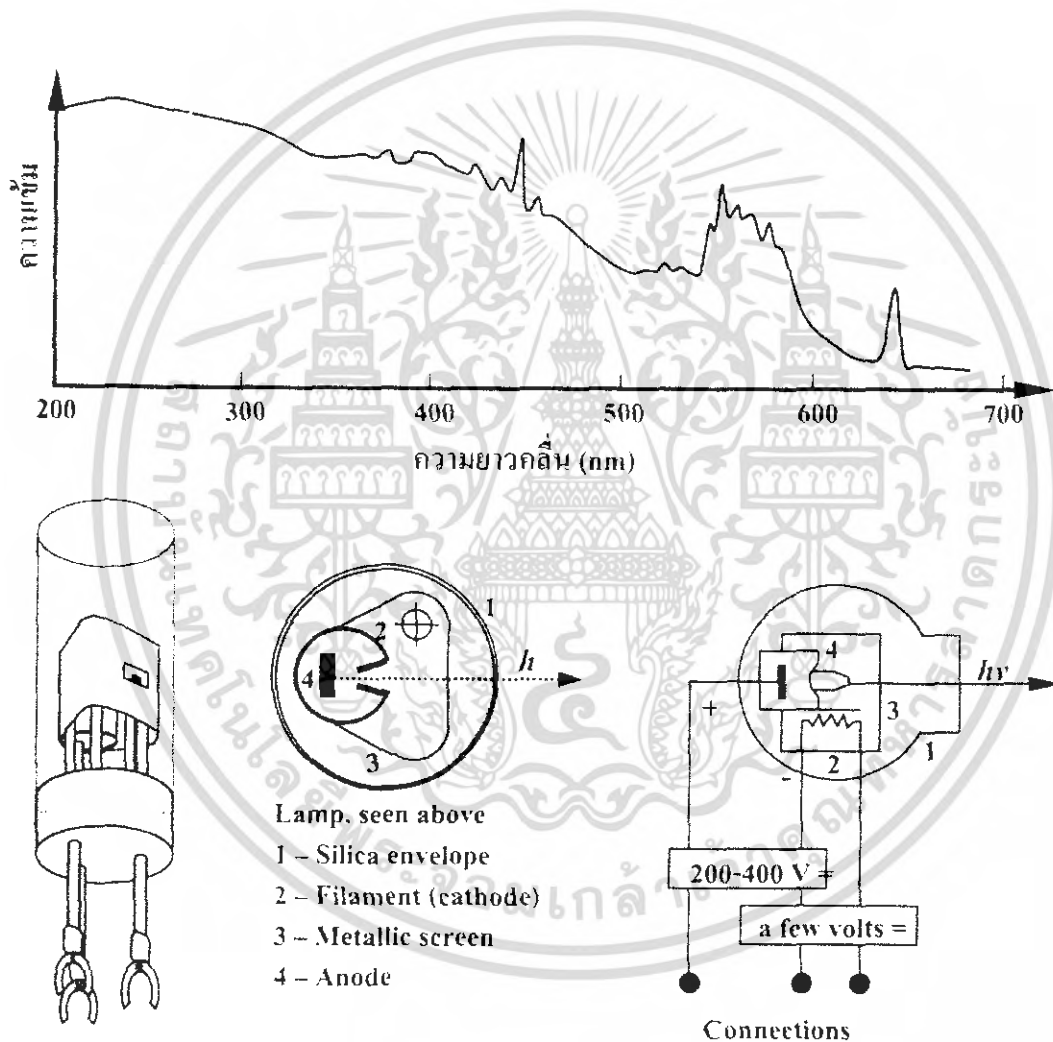
ความต่างศักย์กับขั้วไฟฟ้าอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าจะดูดพลังงานไปกระตุ้นอิเล็กตรอนในโมเลกุลของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สดีทอเรียมให้ไปอยู่ในสภาวะเร้า และเมื่อกลับมาสู่สภาวะพื้นพร้อมกับการคายคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตออกมาเป็นคลื่นต่อเนื่องในช่วง 180-350 nm

ตารางที่ 3.1 แสดงแหล่งกำเนิดคลื่นแสงในเทคนิคสเปกโตรสโกปี

แหล่งกำเนิดคลื่นแสง	ช่วงความยาวคลื่น	ใช้กับเทคนิคสเปกโตรสโกปี
$H_2$ and $D_2$ lamp	คลื่นแสงแบบต่อเนื่อง ( 180-380 nm )	UV molecular absorption
Tungsten lamp	คลื่นแสงแบบต่อเนื่อง ( 320-2400 nm )	Vis molecular absorption
Xe arc lamp	คลื่นแสงแบบต่อเนื่อง ( 200-1000 nm )	Molecular fluorescence
Nernst glower	คลื่นแสงแบบต่อเนื่อง ( 0.4-20 $\mu m$ )	IR molecular absorption
Globalar	คลื่นแสงแบบต่อเนื่อง ( 1-40 $\mu m$ )	IR molecular absorption
Nichrome wire	คลื่นแสงแบบต่อเนื่อง ( 0.75-20 $\mu m$ )	IR molecular absorption
Hollow cathode lamp	คลื่นแสงแบบเส้น ( uv / vis )	Atomic absorption
Hg vapor lamp	คลื่นแสงแบบเส้น ( uv / vis )	Molecular fluorescence
Laser	คลื่นแสงแบบเส้น ( uv / vis )	Atomic and molecular Absorption, fluorescence And scattering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดควิเทอริยมที่ใช้เป็นแบบใช้ศักย์ไฟฟ้าต่ำกระแสดตรง ( ประมาณ 40 V ) จะให้ช่วงสเปกตรัมที่เป็นแบบจำเพาะ คือ จะมีเส้นสเปกตรัมจำนวนมากภายในช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 370 nm มีเส้นสเปกตรัม 2 เส้นที่เห็นชัดเจนคือที่ 486.0 nm และ 651.1 nm นิยมใช้เส้นสเปกตรัมจำเพาะดังกล่าวเป็นตัวตรวจความถูกต้องของความยาวคลื่นในเครื่องมือสเปกโทรสโกปีหลอดควิเทอริยมนั้นควรทำด้วยหน้าต่างเป็นควอตซ์ ( quartz window ) ถ้าทำหน้าต่างเป็นแก้ว ( glass window ) จะทำให้ดูดกลืนแสง UV ได้ ควอตซ์สามารถจะดูดกลืนคลื่นแสงต่ำกว่า 200 nm



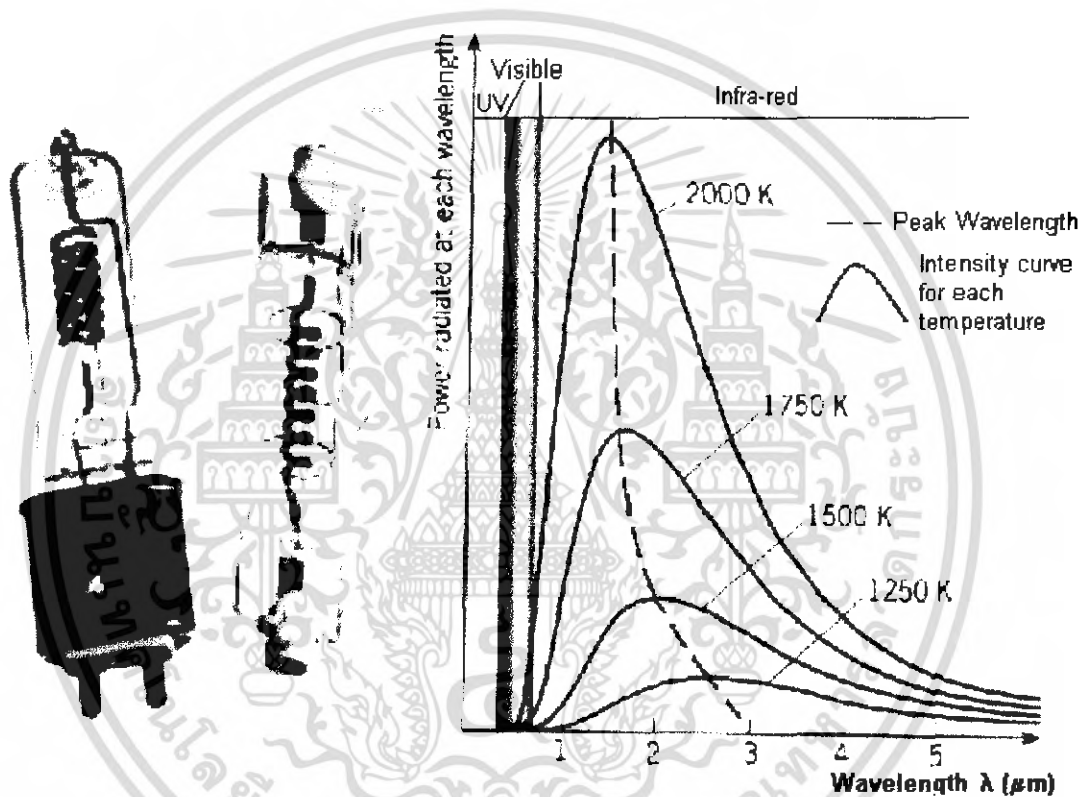
**รูปที่ 3.2** หลอดควิเทอริยมและเส้นสเปกตรัมต่อเนื่องของหลอดควิเทอริยมที่ปล่อยออกมาจะมี  $\lambda_{\max}$  ที่ 225 nm มีเส้นสเปกตรัม 2 เส้นจำเพาะที่เห็นชัดคือที่ 486.0 nm และ 651.1 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แหล่งกำเนิดคลื่นแสงช่วงที่มองเห็น

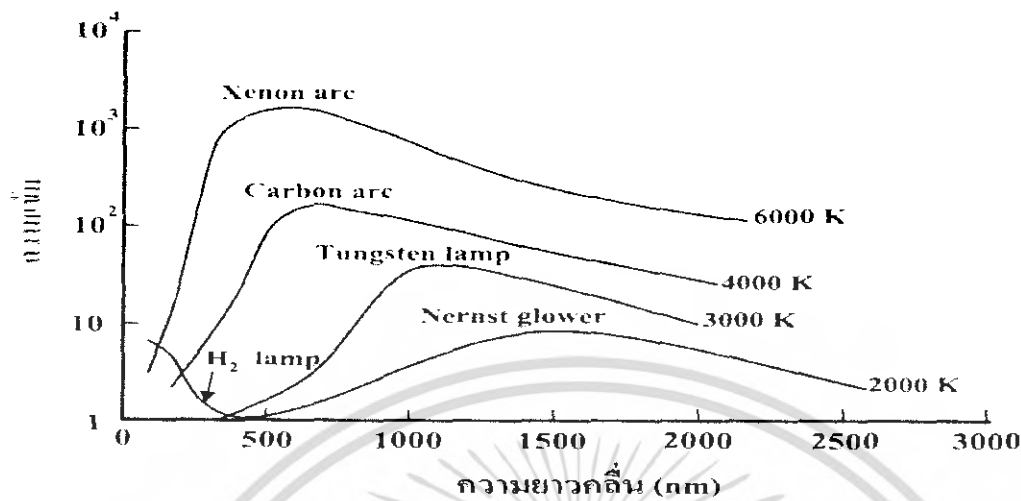
ช่วงคลื่นแสง 350-2500 nm นิยมใช้หลอดไส้ทั้งสแตนเลสและไส้หลอดทั้งสแตนเลสไอโอดีน

( Tungsten lamp and Tungsten-iodine lamp ) มันจะให้เพียง 15 % ของความเข้มที่ออกมาในช่วงวิสิเบิล และ ช่วงอัลตราไวโอเล็ตเล็กน้อย และอีกส่วนหนึ่งจะให้อยู่ในช่วงอินฟราเรดหลอดไส้ชนิดนี้จะกระจายพลังงานเป็นแบบคล้ายวัตถุดำ เมื่อหลอดได้รับพลังงานไฟฟ้าจะคายพลังงานแสงออกมา



รูปที่ 3.3 หลอดทั้งสแตนเลส และ สเปกตรัมต่อเนื่องที่ให้ความเข้มสูงในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวใกล้ที่ความยาวคลื่น 1200 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



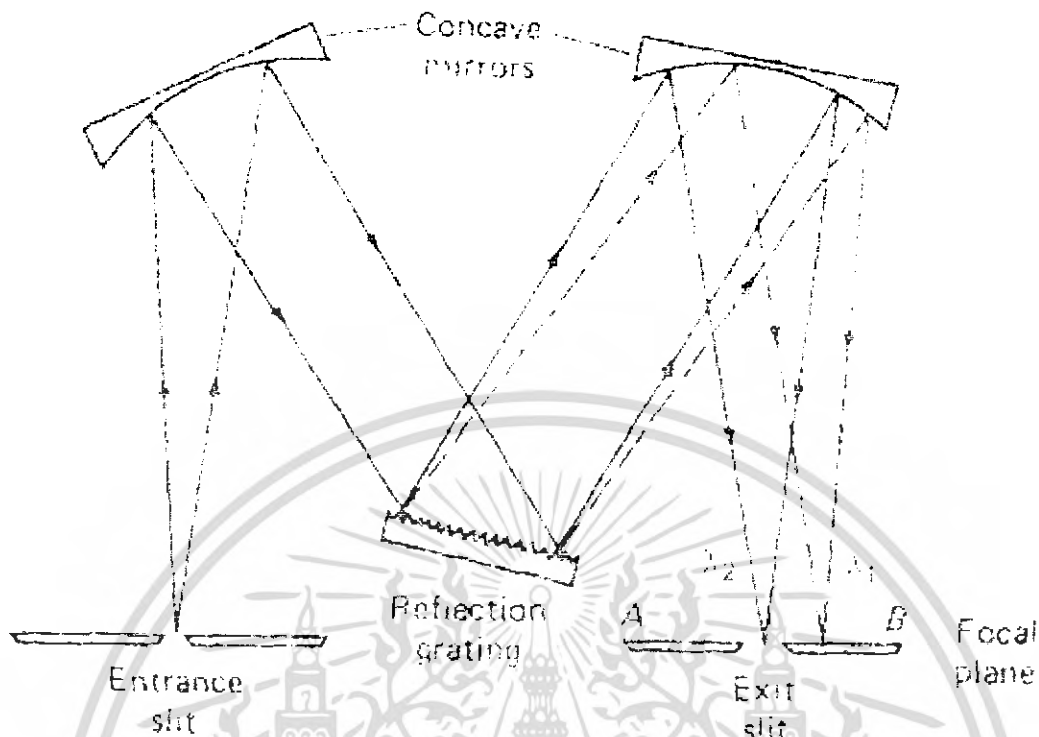
รูปที่ 3.4 ความเข้มของแหล่งกำเนิดคลื่นแสงชนิดต่างๆ ที่มีลักษณะการกระจายพลังงาน คล้ายวัตถุค้ำจะเลื่อนไปที่ความยาวคลื่นสั้นลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ

#### อุปกรณ์เลือกความยาวคลื่น

อุปกรณ์เลือกความยาวคลื่นทำหน้าที่แยกแสงที่ประกอบด้วยหลายความยาวคลื่นที่ต่อเนื่องกันจากแหล่งกำเนิดแสงออกเป็นคลื่นเดี่ยว หรือออกเป็นส่วนประกอบของคลื่นที่มีช่วงแคบๆ (เป็นแถบแคบๆ ที่มีความคมชัด) อุปกรณ์เลือกความยาวคลื่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด คือ ฟิลเตอร์ (filter) และ โมโนโครมาเตอร์ (monochromator)

#### โมโนโครมาเตอร์

เครื่องมือที่มีโมโนโครมาเตอร์ที่มีอุปกรณ์เลือกความยาวคลื่นจะเรียกเครื่องมือชิ้นนั้นว่า สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โมโนโครมาเตอร์จัดเป็นเครื่องแยกคลื่นแสงที่ให้ความกว้างของพีคที่แคบกว่าการใช้ฟิลเตอร์จะมีความกว้างแถบที่ใช้งานในช่วง 35 nm ถึง 0.1 nm หรือกล่าวได้ว่าคลื่นแสงที่แยกออกมาจาก โมโนโครมาเตอร์มีความบริสุทธิ์กว่าจากฟิลเตอร์ และคลื่นต่างๆ ที่ได้จากโมโนโครมาเตอร์จะมีความยาวคลื่นเฉพาะ และสามารถแยกความยาวคลื่นที่มีค่าหนึ่งเฉพาะออกเป็นแถบแคบมาก



รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบของโมโนโครมาเตอร์ชนิดเกรตติงโมโนโครมิเตอร์

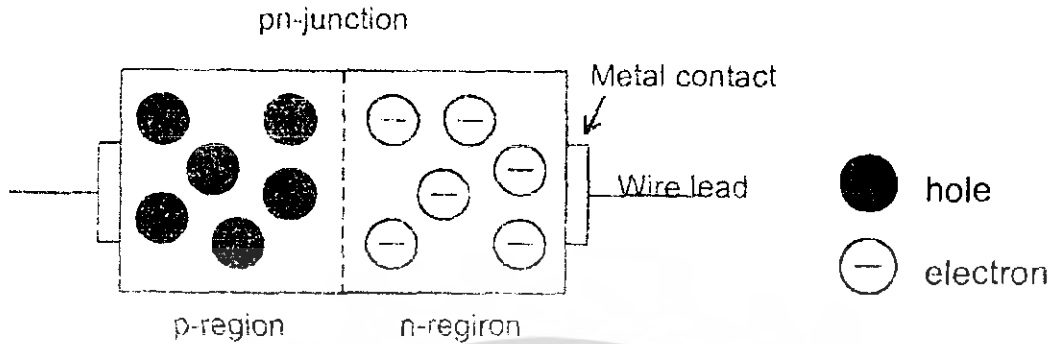
โมโนโครมาเตอร์มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

1. ช่องแสงผ่านเข้า ( entrance slit ) เป็นช่องเล็กๆ ที่ยอมให้ลำแสงแคบจากแหล่งคลื่นแสงผ่านเข้าไปยังเครื่องกระจายแสง ( dispersing device )
2. เครื่องกระจายแสง ( dispersing device ) อาจเป็น ปริซึม หรือ เกรตติง ซึ่งทำหน้าที่แยกลำแสงที่มีหลายความยาวคลื่นจากช่องแสงผ่านเข้า ออกเป็นช่วงคลื่นแคบๆ
3. ช่องแสงผ่านออก ( exit slit or fixed slit ) เป็นช่องเล็กๆ ที่ยอมให้ช่วงความยาวคลื่นแคบๆ จากเครื่องกระจายแสงผ่านออกไป โดยความยาวคลื่นแสงที่ได้ออกมาเป็นแบนด์ คล้ายกับที่ได้จากฟิลเตอร์คือมี nominal wavelength ตรงสูงสุดของแบนด์และมีความกว้างของแบนด์ ( bandpass width ) ที่แคบ

#### ตัววัดสัญญาณแสง

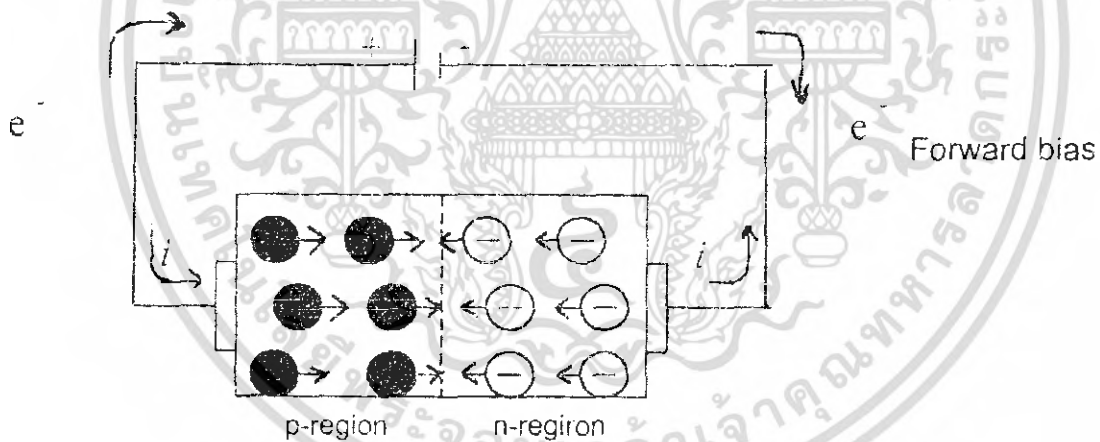
ซิลิกอนไดโอดหรือโฟโตไดโอดทำจากซิลิกอนชิปซึ่งเป็นวัสดุกึ่งตัวนำประกอบด้วยรอยต่อพีเอ็น ( p-n junction ) โดยส่วน n-region มีอิเล็กตรอนซึ่งสามารถเคลื่อนที่และนำไฟฟ้าได้ และส่วน p-region มีหลุมประจุบวกซึ่งอิสระในการเคลื่อนที่และนำไฟฟ้าได้ ดังรูปที่ 3.6 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



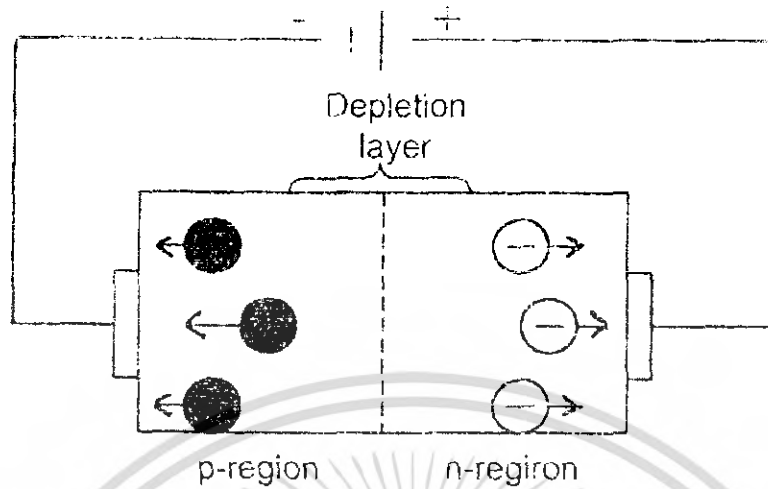
รูปที่ 3.6 (ก) ส่วนประกอบของซิลิกอน ไดโอด

รูปที่ 3.6(ข) แสดงรอยต่อพีเอ็นในสภาวะนำไฟฟ้าโดยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงด้านบวกต่อกับ p-region และด้านลบต่อกับ n-region อิเล็กตรอนที่มีมากเกินพอใน n-region และหลุมบวกใน p-region เคลื่อนที่หารอยต่อแล้วผสมเข้ากัน ด้านลบนั้นให้อิเล็กตรอนตัวใหม่เข้าไปใน n-region ส่วนด้านบวกนั้นสกัดอิเล็กตรอนจาก p-region ทำให้เกิดการสร้างหลุมใหม่ที่อิสระในการเคลื่อนที่ไปยังรอยต่อเรียกสภาวะของไดโอดแบบนี้ว่า “ forward biasing ”



รูปที่ 3.6 (ข) ซิลิกอน ไดโอดในสภาวะ forward biasing และการไหลกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 3.6 (ค) แสดงรอยต่อพีเอ็นในสภาวะ “ reverse biasing ” เป็นการให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง n-region กับ p-region กลับด้านกับสภาวะ forward biasing ทำให้อิเล็กตรอนและหลุมเคลื่อนที่ไปทิศทางตรงกันข้ามกัน สภาวะแบบนี้ทั้งหลุมบวกและอิเล็กตรอนถูกดึงออกไปจากรอยต่อทั้งให้เกิดบริเวณที่การนำไฟฟ้าน้อยมากเกือบเป็นศูนย์ที่เรียกว่า “ depletion layer ” ไดโอดในสภาวะ reverse biasing นี้มีการนำไฟฟ้าเพียง  $10^6$  ถึง  $10^8$  เท่าของสภาวะ forward biasing



รูปที่ 3.6 (ค) ซิลิกอนไดโอดในสถานะ reverse biasing

ซิลิกอนไดโอดในสถานะ reverse biasing ทำหน้าที่เป็นตัววัดแสง เมื่อแสงตกกระทบบริเวณ depletion layer โฟตอนจากแสงมีพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนและหลุมบวกในบริเวณ depletion layer จึงเกิดการนำไฟฟ้าและกระแสอีกครั้ง กระแสที่เกิดขึ้นนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง

ซิลิกอนไดโอดมีความไวมากกว่าหลอดโฟโตทิวป์แต่มีความไวน้อยกว่าหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ เครื่องวัดแสงชนิดแถวซิลิกอนไดโอดหรือโฟโตไดโอดอาร์เรย์ประกอบด้วยซิลิกอนไดโอดหลายร้อยตัวมาเรียงแถวเป็นเส้นตรง มีหลายขนาดความยาวตั้งแต่ 1 ถึง 6 เซนติเมตร ความกว้างของ ซิลิกอน ไดโอดแต่ละอันอยู่ระหว่าง 15 ถึง 50 ไมโครเมตร ปกติความกว้างของแถบความกว้างช่องแสงเท่ากับความกว้างของซิลิกอนไดโอด 1 อัน ซิลิกอน ไดโอดแต่ละอันจึงสามารถตอบสนองแสงในแต่ละความยาวคลื่นที่ตกกระทบผิวเครื่องมือวัดแสงชนิดแถวโฟโตไดโอดใช้กับสเปกตรัมช่วงตั้งแต่ 190 ถึง 1,000 นาโนเมตร

#### ส่วนแปลงสัญญาณและระบบอ่านสัญญาณ

สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะนำไปเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ขยายสัญญาณให้มากขึ้น หรือ อาจเปลี่ยนสัญญาณ DC เป็น AC หรือ AC เป็น DC อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไป หรือนำสัญญาณที่ได้ไปแยกออก ( และเข้ากระบวนการทางคณิตศาสตร์ ) เข้าเครื่องอินทิเกรชัน หรือเปลี่ยนให้เป็น log scale เป็นต้น

จากนั้นสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นผลของการวิเคราะห์ห้จึงได้เสนออกมามีหลายรูปแบบ โดยต้องเข้ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (1) มิเตอร์ มีสเกลอ่านทั้งที่เป็น linear scale และ logarithm scale บอกค่า % absorbance และ % transmittance
- (2) ดิจิตอลมิเตอร์ ( digital meter ) โดยเสนอค่าที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลข บอกค่า % absorbance หรือ % transmittance หรือ concentration
- (3) เครื่องบันทึก ( recorder ) หรือ พรินเตอร์ ซึ่งสามารถเขียนสเปกตรัม พิมพ์ข้อมูลที่ต้องการได้ หรือเขียนกราฟก็ได้
- (4) เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถควบคุมการทำงานต่างๆ ของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้ในการคำนวณผลการทดลอง เขียนกราฟผลการทดลอง พิมพ์ข้อมูลและผลของการทดลองทั้งหมดได้ ตลอดจนวิเคราะห์สาเหตุของการขัดข้องได้ด้วย ดังนั้นเครื่องมือวัดทางสเปกโตรสโกปีทั้งหลายในปัจจุบันจึงนิยมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ไดโอดอาร์เรย์เป็นมาตรวัดแสงด้วยแล้ว จำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการเก็บ แปล และ คำนวณสัญญาณที่ได้

### 3.2 ระบบวัดของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

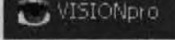



รูปที่ 3.7 ภาพแสดงการวัดค่า transmittance ของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

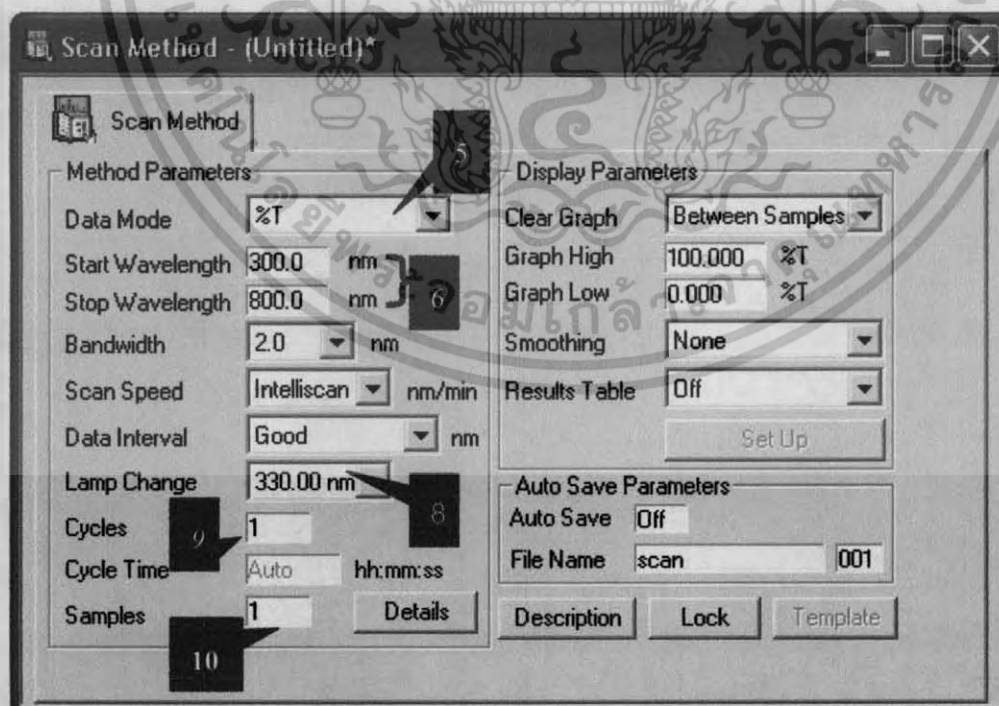
### 3.3 วิธีการวัดค่า Transmittance ของตัวอย่าง (ฟิล์มบาง)

ทำการวัดค่า transmittance ของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer มีขั้นตอนดังนี้


1. เปิดโปรแกรม  บนคอมพิวเตอร์
2. เปิดสวิตช์เปิดเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer
3. รอเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เซ็ตค่าเริ่มต้นเสร็จสิ้น โดยดูจากรูป  ขึ้นครบทุกค่า ดังรูป

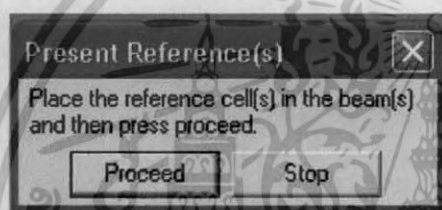


4. ตั้งค่าเริ่มต้นที่ต้องการวัดสารตัวอย่างที่ Scan Method ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ต้องการวัดค่า transmittance ได้โดยเลือก Data Mode เป็น %T
6. เลือกความยาวคลื่นแสงเริ่มต้นและสุดท้ายที่ต้องการวัดค่า %T
7. เลือกความยาวคลื่นของหลอดกำเนิดแสง
8. ระบุรอบที่ต้องการวัดค่า %T ต่อ 1 Sample
9. ระบุจำนวนตัวอย่างที่ต้องการวัด
10. เมื่อกำหนดค่าเริ่มต้นเสร็จแล้วนำ Sample เข้าเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เพื่อทำการวัด %T
11. ก่อนทำการวัด %T ต้องทำการ Baseline โดยคลิกที่  บน Toolbar จะปรากฏให้คลิกที่ Proceed เพื่อเริ่ม Baseline



12. รอการ Baseline เสร็จสิ้น โดยดูจากแถบแสดงสถานะของ Baseline จะเต็มแถบ ดังรูป



13. เมื่อเสร็จการ Baseline แล้วจึงทำการวัด %T โดยการคลิกที่ Run  บน Toolbar จะปรากฏดังรูป ให้ทำการตั้งชื่อ Sample ที่ Name: จากนั้นคลิกที่ Proceed เพื่อทำการ Run



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

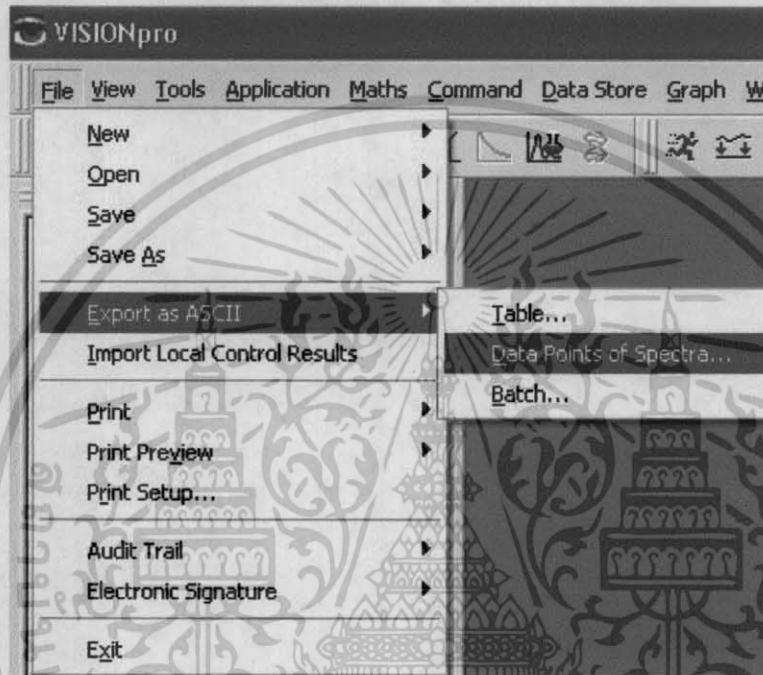
14. รอกการ Run วัด %T เสร็จสิ้น โดยดูที่ แถบ

597.5nm

Cycle 1 of 1

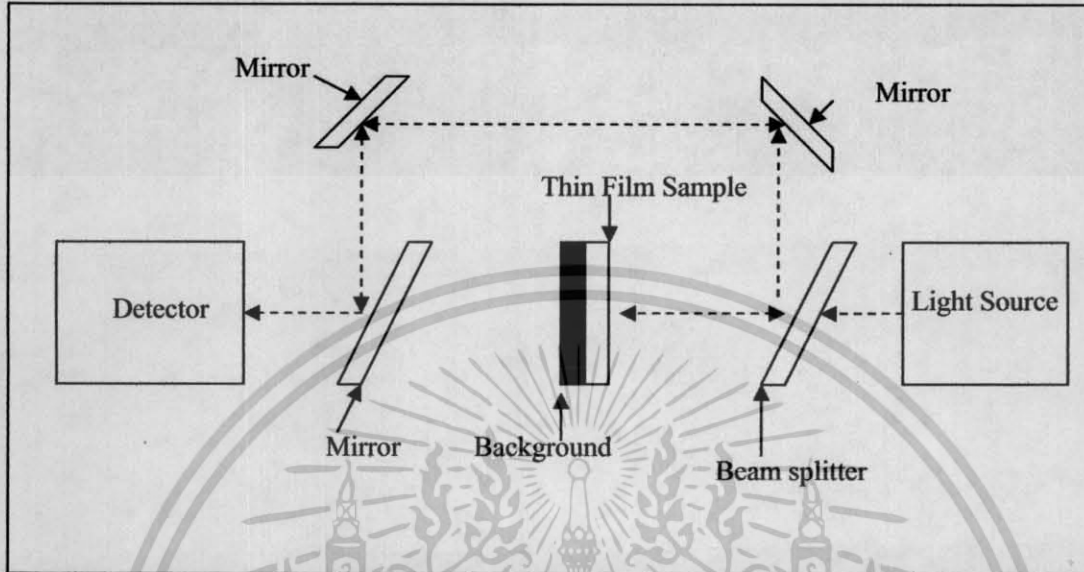
15. เมื่อวัดค่า %T เสร็จทำการบันทึกโดย คลิกที่ **File ->> Export as ASCII ->>**

**Data Points of Spectra... ค้างรูป**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบอุปกรณ์เสริมสำหรับวัดค่าการสะท้อน



รูปที่ 3.8 แสดงการออกแบบอุปกรณ์เสริมสำหรับการวัดค่าการสะท้อน



รูปที่ 3.9 แสดงอุปกรณ์เสริมสำหรับการวัดค่าการสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 สมบัติของอุปกรณ์

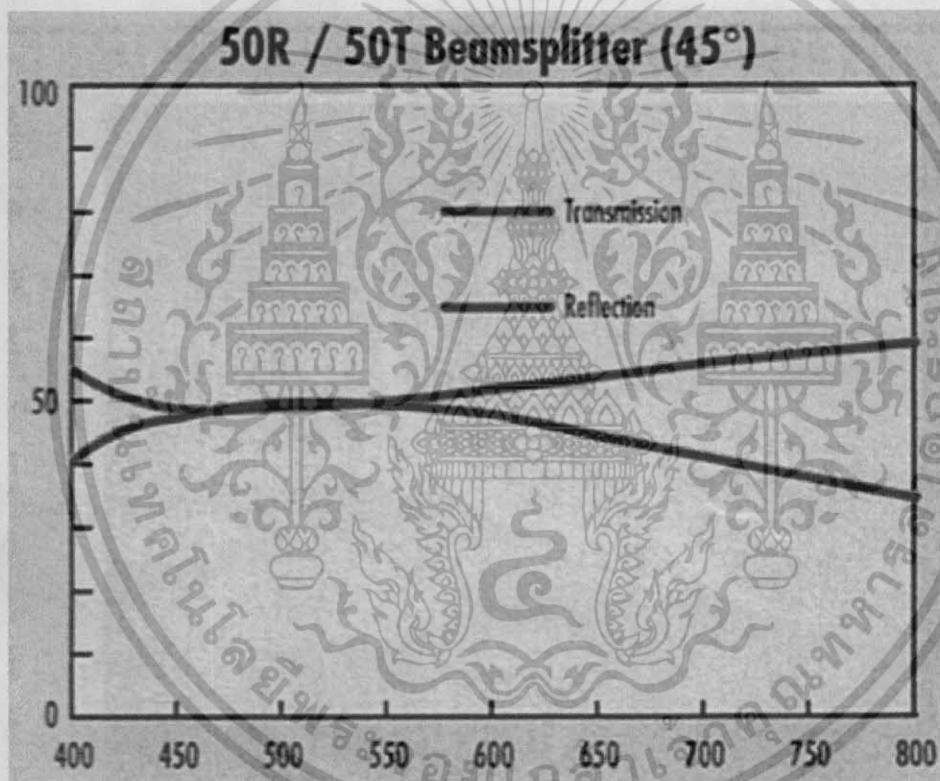
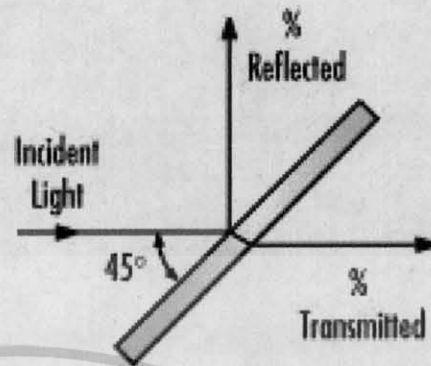
#### 3.5.1 Beamsplitter มีลักษณะดังนี้

วัสดุ : แก้วโซดาไลม์

ขนาด : 20×27×1 (มม.)

สะท้อน : 50%

ทะลุผ่าน : 50%



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงคุณสมบัติ Transmission และ Reflection ของ Beamsplitter

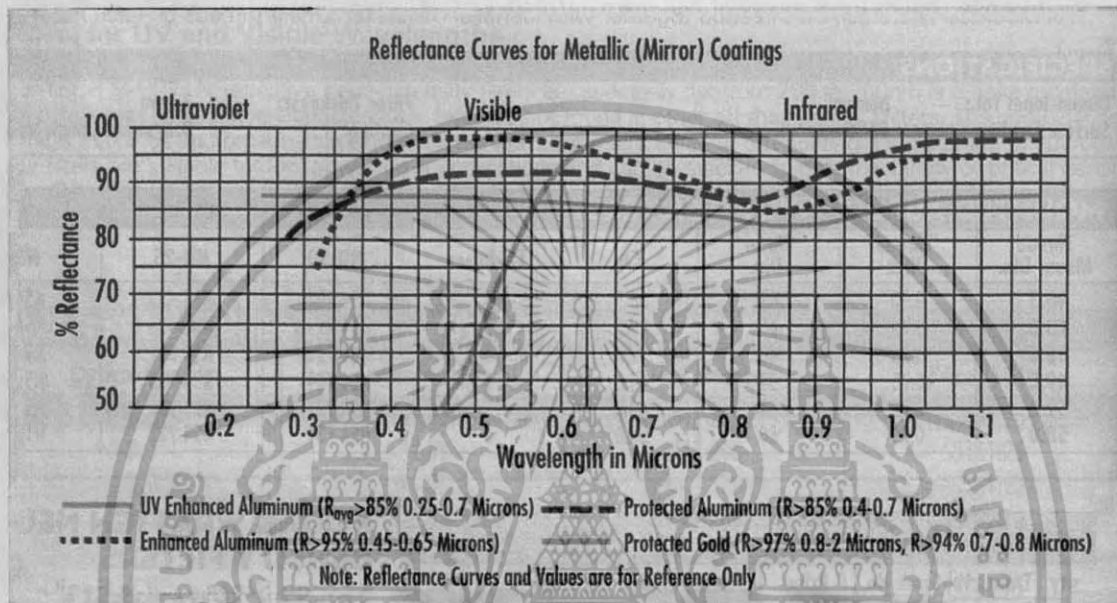
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 กระจก UV Enhanced aluminum มีลักษณะดังนี้

วัสดุ : Fused Silica

ขนาด : 20×20 (มม.)

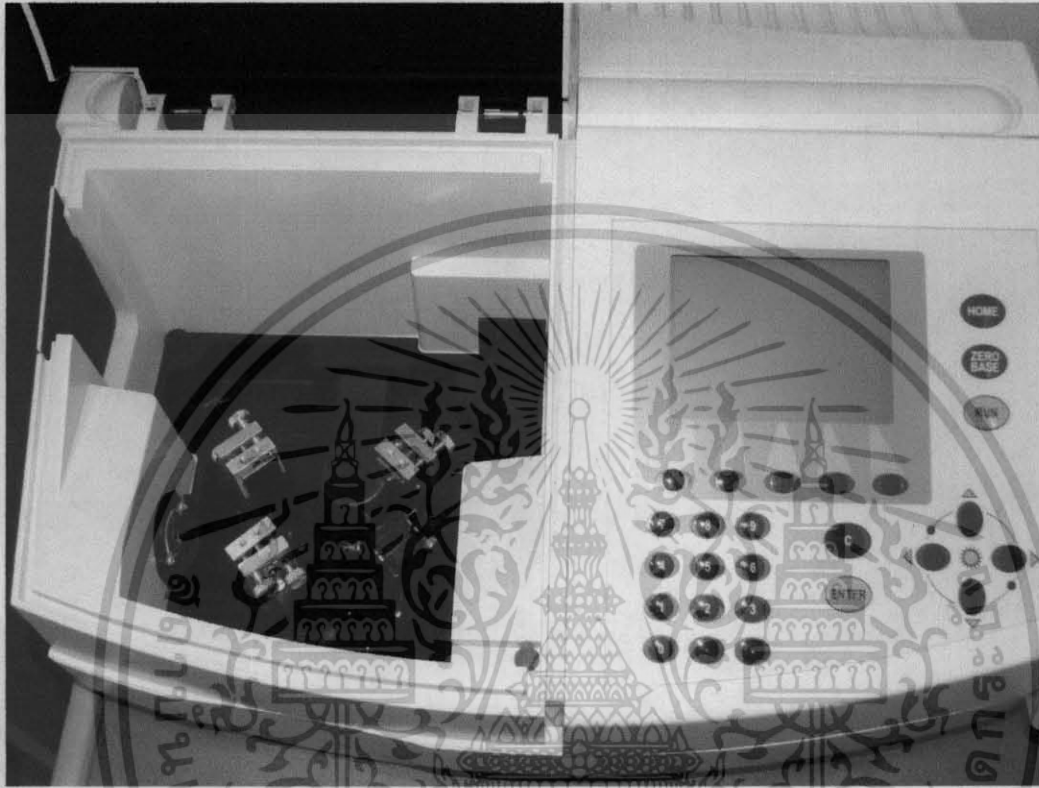
สะท้อน: 85% ในย่าน Ultraviolet-Infrared



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงคุณสมบัติการสะท้อนของกระจกในช่วงความยาวคลื่นแสงต่างๆ

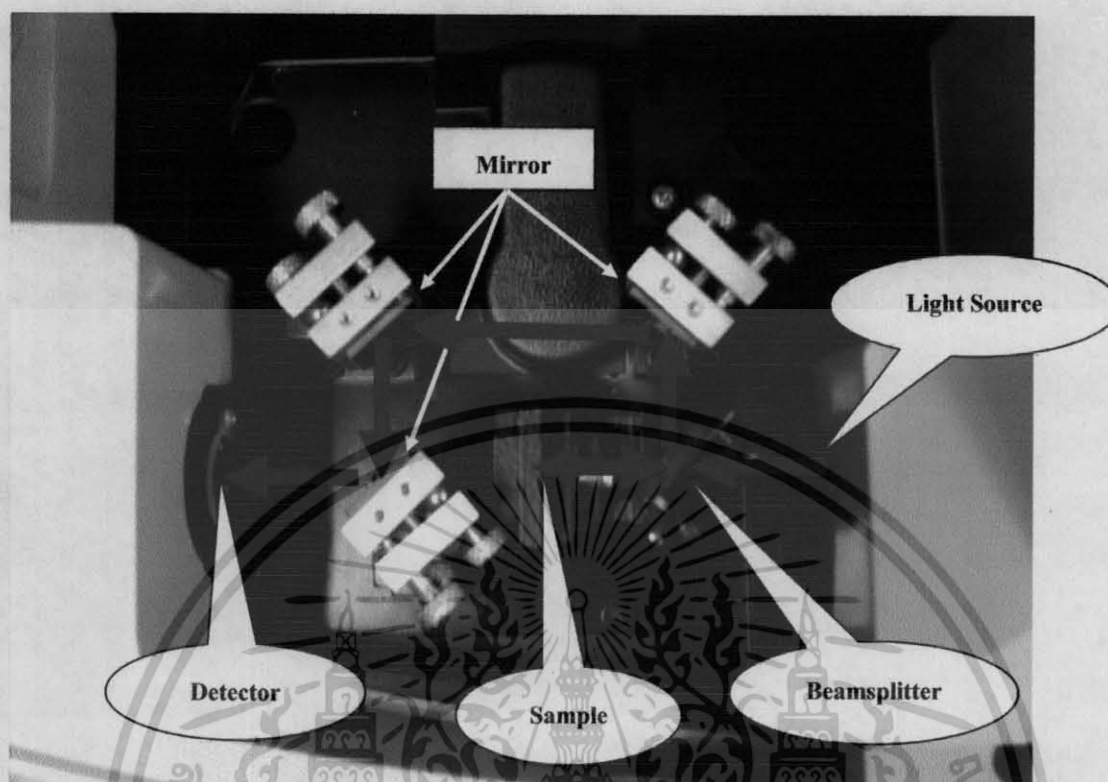
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 ภาพถ่ายอุปกรณ์



รูปที่ 3.12 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เสริมลงในเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงการเดินทางของแสงจาก Light source จนถึง Detector

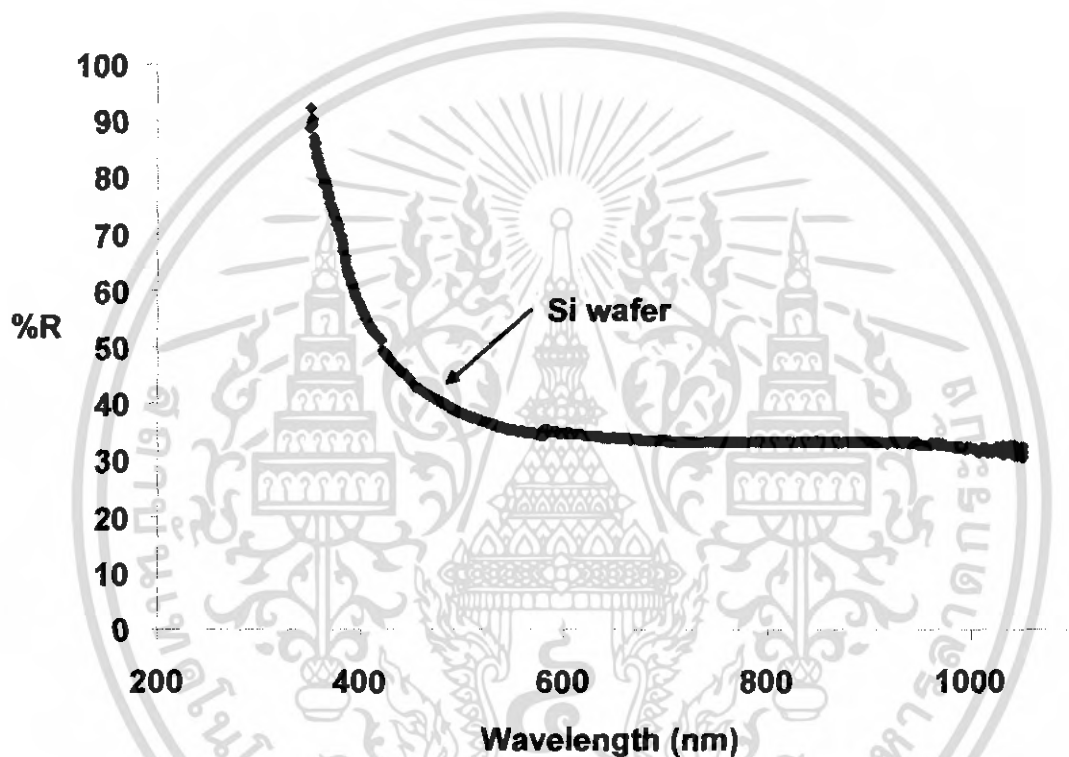
จากรูปที่ 3.13 แสดงการเดินทางของแสงด้วยอุปกรณ์เสริมเมื่อติดตั้งลงในระบบสเปกโตรสโกปีเพื่อทำการวัดการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง โดยแสงจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางผ่านแผ่นแยกแสง ( Beamsplitter ) แล้วทะลุผ่าน ไปสะท้อนกับสารตัวอย่างกลับมายังแผ่นแยกแสง ( Beamsplitter ) เพื่อสะท้อน ไปยังกระจก ( Mirror ) ที่ทำมุมสะท้อน ไปยังตัวรับสัญญาณแสง ( Detector )

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการทดลองการวัดค่าการสะท้อน

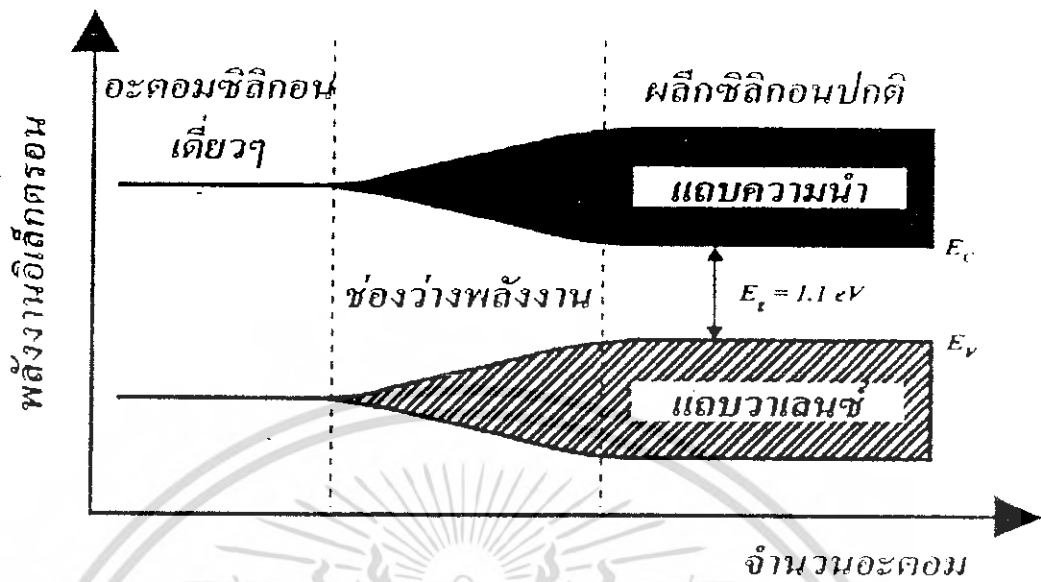
##### 4.1.1 แผ่นซิลิกอน ( Silicon Wafer )



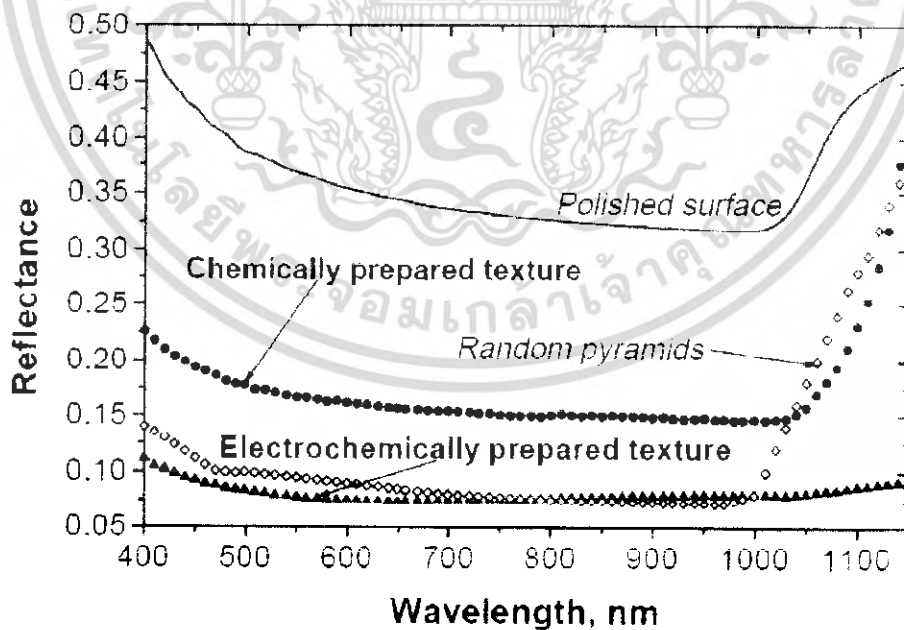
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่างแผ่นซิลิกอน

จากกราฟรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่างแผ่นซิลิกอน แบบ N-Type จากกราฟเห็นได้ชัดว่าในช่วง UV-A แผ่นซิลิกอนจะมีการสะท้อนได้ดีเกือบ 100% เนื่องจากเข้าใกล้ Resonance frequency ของแผ่นซิลิกอนแล้วจะลดลงจนมีค่าคงที่ประมาณ 40% ที่ในช่วง Visible เพราะในช่วงนี้แผ่นซิลิกอน มีการดูดกลืนแสงไปบางส่วนเนื่องจากแสงมีพลังงานใกล้เคียงกับ Energy gap ( 1.1 eV )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

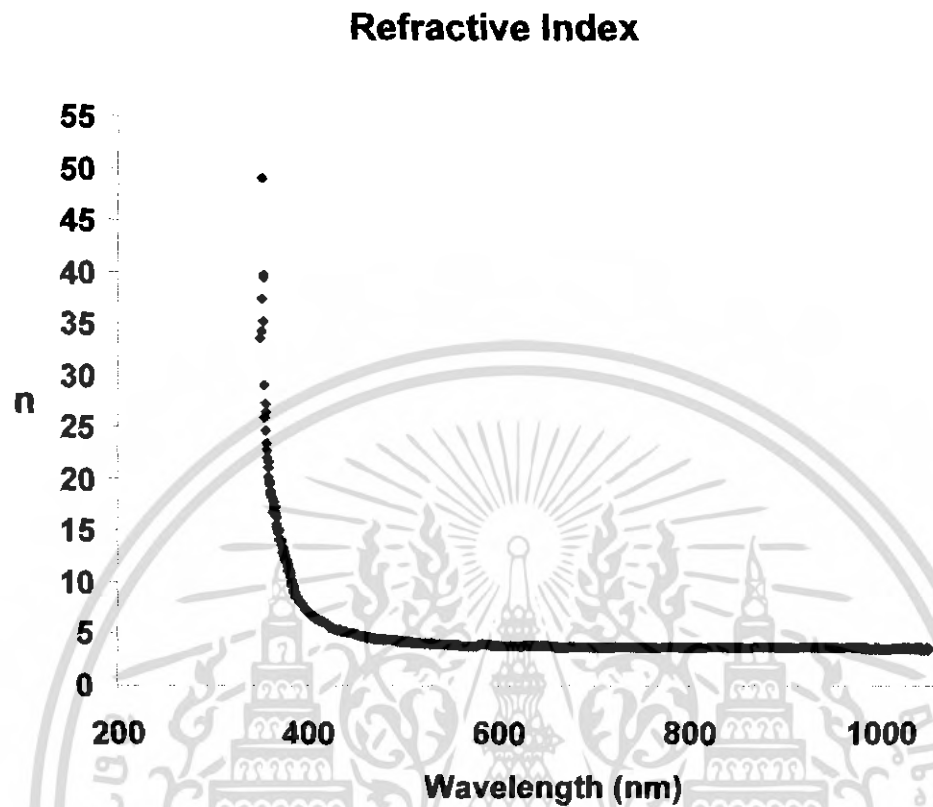


รูปที่ 4.2 กราฟแถบพลังงานต้องห้ามของแผ่นซิลิกอน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเหกับความยาวคลื่นของแผ่นซิลิกอนที่ใช้อ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเหกับความยาวคลื่นของแผ่นซิลิกอนจากการทดลอง

การหาค่าดัชนีหักเหของแผ่นซิลิกอน

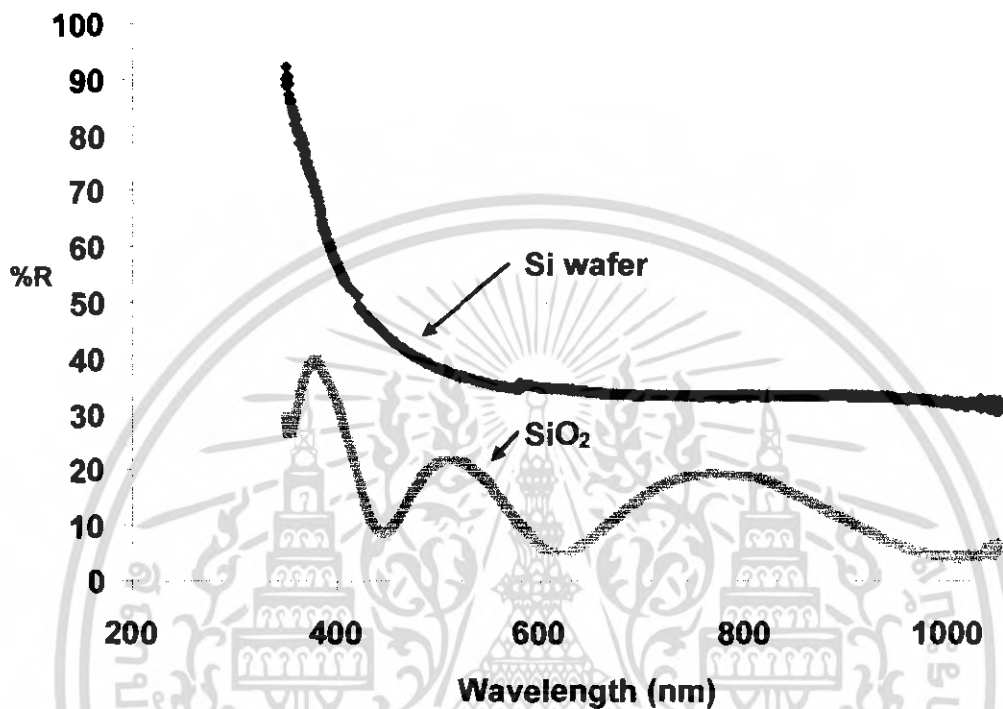
จากสมการ 
$$R = \left( \frac{n_s - 1}{n_s + 1} \right)^2$$

ดังนั้น 
$$n_s = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}}$$

โดยที่ R คือ ค่าการสะท้อน ( Reflectance ) [ R= %R/100 ]  
 $n_s$  คือ ดัชนีหักเหของซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

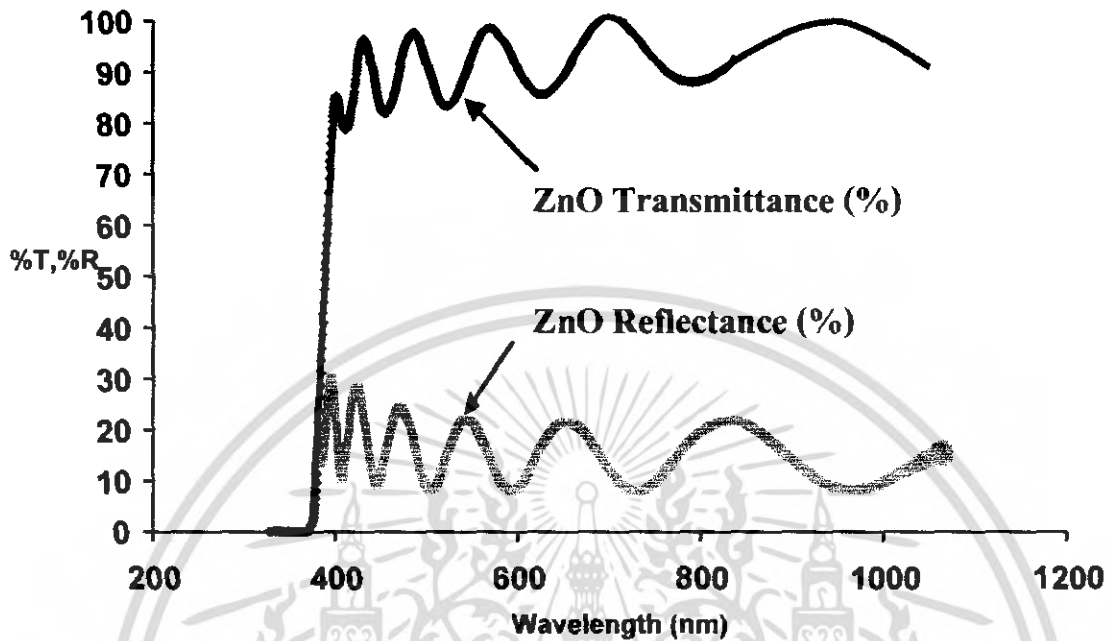
#### 4.1.2 Silicon Dioxide (SiO<sub>2</sub>)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่างซิลิกอนไดออกไซด์

จากรูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่างฟิล์มบางซิลิกอนไดออกไซด์ แสดงในย่าน UV ซิลิกอนไดออกไซด์จะพบว่าการสะท้อนได้ดีเนื่องจากมีความเป็นฉนวนจึงไม่ถูกดูดกลืน ในย่าน UV แล้วจะมีค่าลดลงในย่าน Visible ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มบางซิลิกอนไดออกไซด์ นี้ปลุกอยู่บนแผ่นซิลิกอนจึงทำให้เห็นเป็นริ้วของการแทรกสอดเนื่องจากปรากฏการณ์แทรกสอดหลายครั้ง (Multiple beam interference) ภายในฟิล์มบางซิลิกอนไดออกไซด์ ขณะเดียวกันในย่านความยาวคลื่น 400 nm ขึ้นไปค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)ของตัวอย่างนี้มีค่าลดลงเนื่องจากแผ่นซิลิกอนดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าว

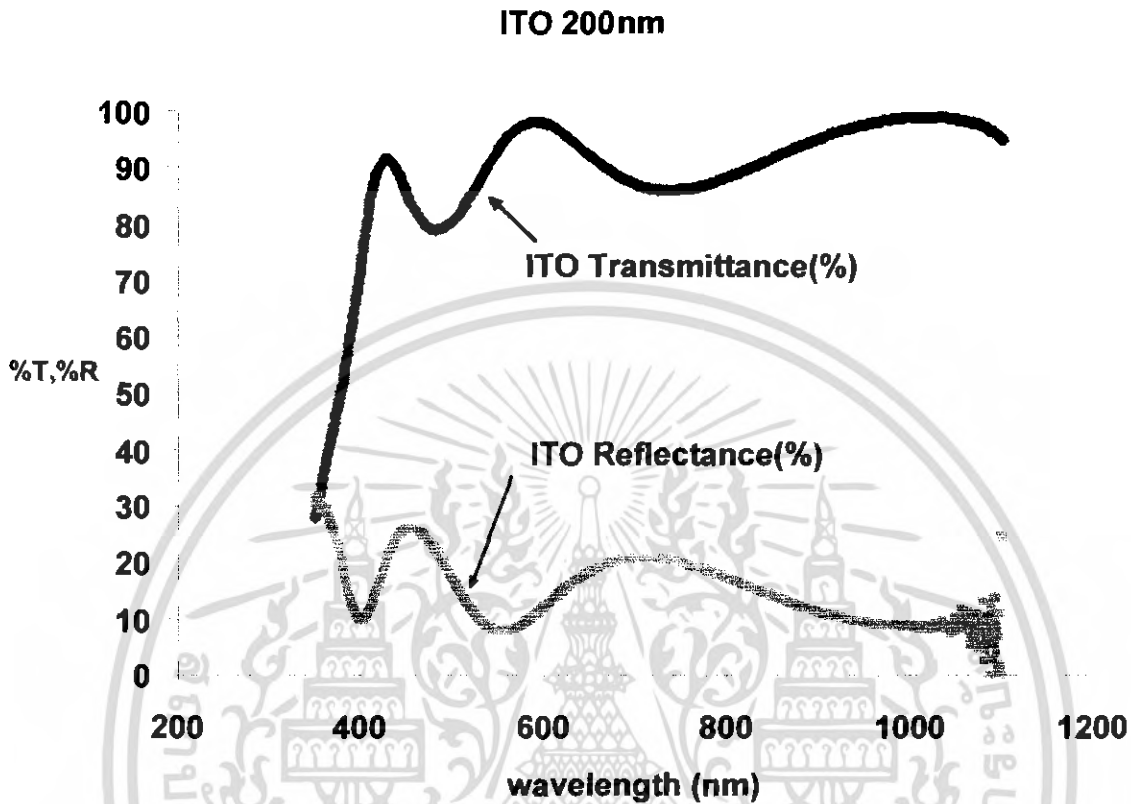
#### 4.1.3 Zinc Oxide ( ZnO )



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่าง ZnO

จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่าง ZnO จะพบว่ามีค่าการสะท้อนน้อยในย่าน Visible เนื่องจาก ZnO ดังกล่าวปลูกบนกระจกซึ่งสามารถดูดกลืนแสงที่มีความยาวต่ำกว่า 320 nm ลงไป และขณะเดียวกัน ZnO มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามประมาณ 3.2 eV ซึ่งสอดคล้องกับ  $\lambda = 387.5 \text{ nm}$  ทำให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า  $\lambda = 387.5 \text{ nm}$  ถูกดูดกลืนและความยาวคลื่นมากกว่า  $\lambda = 387.5 \text{ nm}$  สามารถทะลุผ่านไปได้ส่งผลให้ค่าการสะท้อนมีค่าลดลงและเห็นเป็นริ้วของการแทรกสอดซึ่งเกิดจากปรากฏการณ์แทรกสอดหลายครั้ง ( Multiple beam interference ) ภายในฟิล์มบาง ZnO

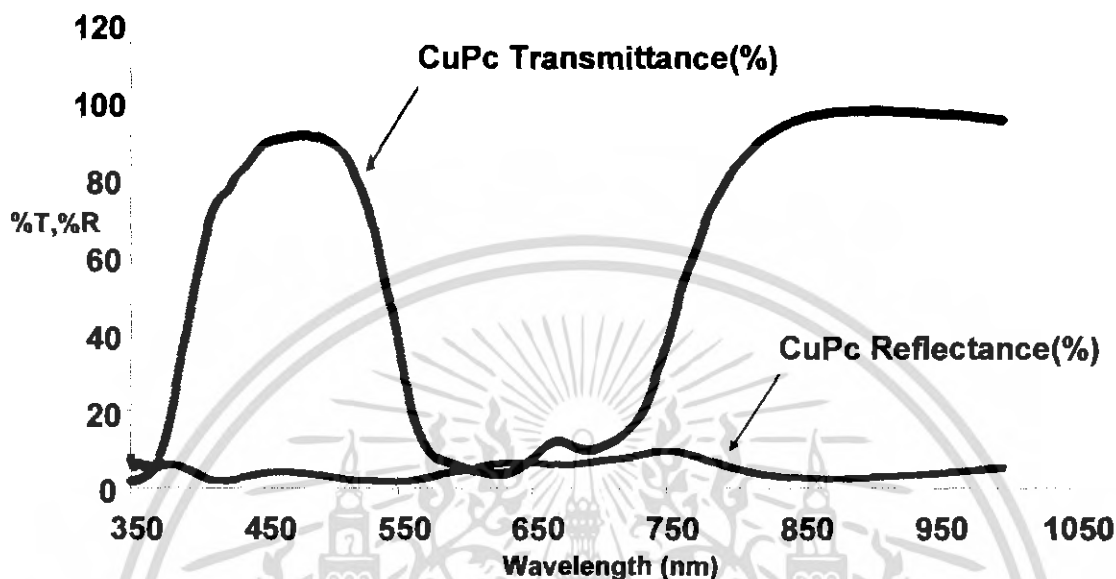
#### 4.1.4 IndiumTinOxide ( ITO )



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน(%T),เปอร์เซ็นต์การสะท้อน (%R)กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่าง ITO

จากรูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน(%T),เปอร์เซ็นต์การสะท้อน(%R)กับค่าความยาวคลื่นของสารตัวอย่างอินเดียมทินออกไซด์(ITO) การสะท้อนในย่าน อัลตราไวโอเล็ต ได้ดีแล้วมีค่าลดลงในย่าน Visible เนื่องจากITO ดังกล่าวปลูกอยู่บนกระจกซึ่งสามารถแสงความยาวคลื่นต่ำกว่า 320 nm ลงไปและขณะเดียวกัน ITO ที่มีแถบพลังงานต้องห้ามประมาณ 3.5 eV ซึ่งสอดคล้องกับ  $\lambda = 354 \text{ nm}$  ทำให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 354 nm ถูกดูดกลืนและความยาวคลื่นที่มากกว่าทะลุไปได้ส่งผลต่อค่าการสะท้อนที่ลดลงและเห็นเป็นริ้วของการแทรกสอดซึ่งเกิดจากการแทรกสอดหลายครั้ง ( Multiple beam interference ) ภายในฟิล์มบาง

#### 4.1.5 copper phthalocyanine ( CuPc )



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %R , %T กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่าง CuPc

จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %R , %T กับความยาวคลื่นของสารตัวอย่าง CuPc จะพบว่าค่าทะลุผ่านที่ 350 nm มีค่าการทะลุผ่านน้อยเพราะอยู่ในช่วงการดูดกลืน B-Band ซึ่งเป็นพันธะระหว่าง  $d - \pi^*$  มาจากอะตอมโลหะคือ Cu พันธะเหลื่อมซ้อนกันในแนวแกน x เรียกว่าพันธะซิกมาได้ค่าพลังงานต้องห้ามเท่ากับ 3.2 eV และจะพบการทะลุผ่านได้ดีประมาณ 95% ในช่วง 400-500 nm จากนั้นในช่วง 550-700 nm มีค่าทะลุผ่านลดลงเนื่องจากเกิดการดูดกลืนในช่วง Q-Band ซึ่งมีค่าพลังงานต้องห้ามเท่ากับ 1.62 eV ในช่วงความยาวคลื่น 750-850 nm มีค่าทะลุผ่านเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าทะลุผ่านคงที่ในช่วง 850-1000 nm

จากกราฟค่าการสะท้อนมีค่าน้อยมากเนื่องจาก CuPc เป็นสารประเภท small molecule เมื่อนำมาปลูกบนแผ่นกระจกจะได้แผ่นฟิล์มบางผิวไม่เรียบเมื่อนำมาวัดค่าการสะท้อนจะเกิด Diffuse Reflection ขึ้นจึงทำให้ค่าการสะท้อนมีค่าน้อย

## บทที่ 5

### สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผล

จากการวัดสมบัติทางแสงของฟิล์มบางด้วยวิธีการรีเฟลกชันสเปกโตรสโกปีเมื่อนำกราฟเปอร์เซ็นต์การสะท้อนมาเปรียบเทียบกับกราฟเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านจะเห็นว่ากราฟมีการกลับเฟส 180 องศา เพราะเกิดจากการสะท้อนแต่ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนจะน้อยเพราะต้องสะท้อนกับกระจกหลายครั้งทำให้ค่าที่ได้ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับกราฟเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน

สามารถนำค่าการสะท้อนมาประยุกต์หาค่าดัชนีหักเหและการดูดกลืนของสารที่ไม่สามารถวัดการทะลุผ่านได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กาญปัญญา สุวรรณสุโข. 2548. การสร้างนาโนพอร์ซซิโคนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชัยสุริยา ประภาศิริ. 2549. ระบบวัดสเปกตรัมแสงสำหรับวิเคราะห์สมบัติเชิงแสงของวัสดุและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ลาวัลย์ ศรีพงษ์. 2543. เครื่องมือ. ใน อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรสโกปี, หน้า 87-122. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเกอส์เคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม.
- สุวรรณ คุณาราม. 2537. ค่าความสะท้อนในกรณีที่แสงตกกระทบตั้งฉากกับผิวรอยต่อ. ใน ทัศนศาสตร์กายภาพ, หน้า 247-249. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าจอมคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง.
- Eugene Hecht. 1990. **OPTICS**. Second edition. Adelphi University: ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้