

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง  
จากข้อมูลการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR DETERMINATION OF  
OPTICAL PROPERTIES IN TRANSPARENT THIN FILMS USING  
TRANSMISSION SPECTROSCOPY



นายธรรมรุต ดิงาม

นายโยธิน ทศโยธิน

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง  
จากข้อมูลการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR DETERMINATION OF  
OPTICAL PROPERTIES IN TRANSPARENT THIN FILMS USING  
TRANSMISSION SPECTROSCOPY



นายธรรมรุต ดีงาม  
นายโยธิน ทศโยธิน

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้นฉบับถึงถึงเจ้าคุณเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR DETERMINATION OF  
OPTICAL PROPERTIES IN TRANSPARENT THIN FILMS USING  
TRANSMISSION SPECTROSCOPY**



**Mr.THAMMARUT DEE-NGAM  
Mr.YOTHIN THOSAYOTHIN**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับค **FACULTY OF SCIENCE** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** ให้นำไปใช้

**ACADEMIC YEAR 2013**

หัวข้อโครงการพิเศษ      การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง จากข้อมูล  
 การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง

ชื่อนักศึกษา                    นายธรรมรุต ดิงาม  
    นายโยธิน ทศโยธิน




ปริญญา                            วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา                        ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา                รศ.ดร.วราวุฒิ เถลัดดา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม         ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
 ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.วิชาญ เตชิตธีระ	
ดร.ประธาน บุรณศิริ	
อ.สุรชาติ กมลคิลก	
รศ.ดร.วราวุฒิ เถลัดดา	
ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและดัดแปลงข้อความและตัวอักษรข้างต้นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง จากข้อมูลการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง
ชื่อนักศึกษา	นายธรรมรุต ดิงาม นายโยธิน ทศโยธิน
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง ได้แก่ ค่าความหนาของฟิล์มบาง, ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน, ค่าดัชนีหักเห ที่ได้จากข้อมูลการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง โดยพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรม MATLAB รุ่น R2012b ในการออกแบบหน้าจอ GUI ด้วย Graphical User Interface Development Environment (GUIDE) และการเขียนโค้ดในฟังก์ชัน M-file เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง โดยวิเคราะห์จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น กับเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านฟิล์มที่มีอยู่ใน โปรแกรม Microsoft Excel และนำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการของสเวนนี โพล (Swanepoel)

คำสำคัญ : สเวนนี โพล, สัมประสิทธิ์การดูดกลืน, ดัชนีหักเห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR DETERMINATION OF OPTICAL PROPERTIES IN TRANSPARENT THIN FILMS USING TRANSMISSION SPECTROSCOPY
<b>Students</b>	Mr.Thammarut Dee-ngam Mr.Yothin Thosayothin
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Physics
<b>Academic Year</b>	2013
<b>Advisor</b>	Associate Professor Dr. Warawoot Thowladda
<b>Co-Advisor</b>	Dr. S.Tipawan Khlayboonme

### ABSTRACT

This project was the development of computer programs to analyze the optical constants and thickness of thin films, absorption coefficient, refractive index. Obtained from optical transmission of thin translucent. By developing software using MATLAB version R2012b in designing GUI screen with Graphical User Interface Development Environment (GUIDE) and write code in a function M-file to analyze the optical constants. The analysis of the relationship between wavelength. The percentage passing the film is in Microsoft Excel and analyzed using the principle of Swanepoel.

**Keywords :** Swanepoel, absorption coefficient(k), refractive index(n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความเมตตากรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รศ.ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร.ศ.ทิววรรณ คล้ายบุญมี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ไว้วางใจและให้การสนับสนุนในการทำโครงการพิเศษนี้ รวมทั้งให้คำปรึกษา เสนอแนะนำมาโดยตลอด คณะผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.วิชาญ เตชิตธีระ, ดร.ประธาน บุรณศิริ, อ.สุรชาติ กมลดิถก ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการสอบปริญญาโทในครั้งนี้อย่างดี รวมถึงคณาจารย์ทุกท่าน พี่บัณฑิตทุกคน ในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ด้านต่างๆ จนสามารถนำมาประยุกต์ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ญาติผู้ใหญ่ ญาติพี่น้อง ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุน ทั้งความเมตตากรุณาทางการเงินและคำพูดต่างๆ เพื่อที่จะได้พัฒนาตนเองต่อไป

ขอขอบพระคุณ เพื่อนสนิทในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ รวมถึงรุ่นพี่และรุ่นน้องในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ที่คอยส่งเสริมให้กำลังใจและดูแลขณะผู้จัดทำโครงการทำให้มีกำลังใจในการทำการศึกษาและจัดทำโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายธรรมรุต ดิงาม

นายโยธิน ทศโยธิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII

<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2

<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	3
2.1 การกำหนดค่าคงที่เชิงแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง	3
2.1.1 ย่านที่โปร่งแสง	7
2.1.2 ย่านที่มีการดูดกลืนแสงเบาบางและปานกลาง	8
2.1.3 ย่านที่มีการดูดกลืนแสงอย่างแรง	10
2.1.4 แบบจำลองเชิงตัวเลข	11
2.2 การกำหนดหาค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางโปร่งแสง	12
2.3 การกำหนดหาความหนาของฟิล์มบางโปร่งแสง	13

<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	16
3.1 ศึกษาการคำนวณด้วยวิธีสเวนนี่โพล (Swanepoel)	16
3.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม MATLAB เบื้องต้น	17
3.3 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม MATLAB	18
3.3.1 การสร้างและออกแบบ GUI ด้วย GUIDE	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	21
4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์	21
4.1.1 หน้าจอเขียน โปรแกรม M-file	21
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง	22
4.2.1 ขั้นตอนการรันโปรแกรม	22
<b>บทที่ 5 สรุปวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	25
5.1 สรุปผลการทดลอง	25
5.2 ข้อเสนอแนะ	25
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	27
<b>ภาคผนวก</b>	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าที่ชั่วสเปกตรัมของ $\lambda$ , $T_m$ และ $T_M$ ที่ได้จากรูป 2.2 และค่าการคำนวณของ $n$ และ $d$	13
4.1	ผลการวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงแผนภาพเพื่อการศึกษาสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (T) ของฟิล์มบางที่เคลือบอยู่บนแผ่นฐานรองรับที่โปร่งแสง	4
2.2	แสดงรูปร่างการแทรกสอดสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง $\alpha$ -Si : H หนา $1 \mu\text{m}$ ที่เคลือบอยู่บนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์	5
2.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $l/2$ กับ $n/\lambda$	15
3.1	วิธีสำหรับการคำนวณ $n$ , $k$ และ $d$ ของฟิล์มเคลือบ	17
3.2	หน้าต่างหลักของ MATLAB	17
3.3	หน้าต่าง MATLAB Graphical User Interface Development Environment	18
3.4	หน้าต่างและแถบเครื่องมือสร้าง GUI	19
3.5	ตัวอย่างการออกแบบหน้าต่าง GUI	19
3.6	หน้าต่างแสดงผลข้อมูลจากการคำนวณ	20
4.1	M-file ที่ออกแบบ GUI บันทึกไว้ในชื่อ files.m	21
4.2	M-file ที่คำนวณด้วยวิธีสเวนนิโพล (Swanepoel) บันทึกไว้ในชื่อ calculate.m	22
4.3	M-file ที่หาค่าสูงสุด ( $T_M$ ) และค่าต่ำสุด ( $T_m$ ) บันทึกไว้ในชื่อ peakdet.m	22
4.4	ขั้นตอนการนำข้อมูล (Import file) จาก Microsoft Excel	23
4.5	หน้าจอแสดงผลค่าคงที่เชิงแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันปรากฏการณ์ทางแสง เช่น หลักการสะท้อนแสง(reflectometry), หลักการส่งผ่าน (transmission) เป็นต้น ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการวัดคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มบาง เช่น การวัดความหนา, การวัดดัชนีหักเห, การวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของฟิล์ม เป็นต้น ลักษณะเฉพาะที่สำคัญอย่างหนึ่งของฟิล์มบาง คือ ความหนาของฟิล์ม เนื่องจากสมบัติของฟิล์มหลายด้านจะเปลี่ยนแปลงไปตามความหนาของฟิล์ม เช่น สมบัติทางแสง หรือ สมบัติทางไฟฟ้า ฯลฯ ดังนั้นความหนาจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่จะต้องควบคุมระหว่างการเคลือบอย่างใกล้ชิด ทั้งนี้ความหนาฟิล์มหมายถึง “ระยะตั้งฉากจากจุดใดๆ บนผิวหน้าของฟิล์มทะลุผ่านเนื้อฟิล์มไปยังอีกขอบหนึ่งของผิวหน้าฟิล์ม” ดังนั้นถ้าขอบผิวหน้าของฟิล์มที่วัดไม่ขนานหรือไม่เรียบ ความหนาฟิล์มที่ได้จะไม่ถูกต้องหรือมีความคลาดเคลื่อนสูง แต่อย่างไรก็ดีฟิล์มที่ได้จากการเคลือบในสุญญากาศส่วนใหญ่จะมีผิวหน้าที่ขนานและราบเรียบ

โครงการพิเศษนี้จะเป็นการเก็บข้อมูลการส่งผ่าน(transmission) เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง จากข้อมูลการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง โปร่งแสง โดยพัฒนาโดยซอฟต์แวร์โปรแกรม MATLAB รุ่น R2012b เพื่อที่จะใช้งานในห้องปฏิบัติการ ซึ่งปัจจุบันนี้ห้องปฏิบัติการมีเครื่องมือวัดคุณสมบัติฟิล์มบางที่ต้องพัฒนาต่อไปให้สอดคล้องกับยุคปัจจุบันที่คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในการวัดมากขึ้น จึงได้มีความพยายามที่จะพัฒนาเทคนิคการวัดเพื่อเพิ่มความแม่นยำและความรวดเร็วในการวัด หรือต้องการให้กระบวนการเป็นแบบอัตโนมัติ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB รุ่น R2012b

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการวัดการส่งผ่านของฟิล์ม โดยวิธีสเวนนิ โพล (Swanepoel)

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.2 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะวัดคุณสมบัติของฟิล์มบางด้วยการใช้

โปรแกรม MATLAB รุ่น R2012b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ 1.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบการวัดเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถเขียนโปรแกรม MATLAB ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.4.2 ได้วิธีการวัดคุณสมบัติของฟิล์มบางที่มีความรวดเร็ว แม่นยำและมีความน่าเชื่อถือ
- 1.4.3 สามารถเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าต่างๆ ตามต้องการได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

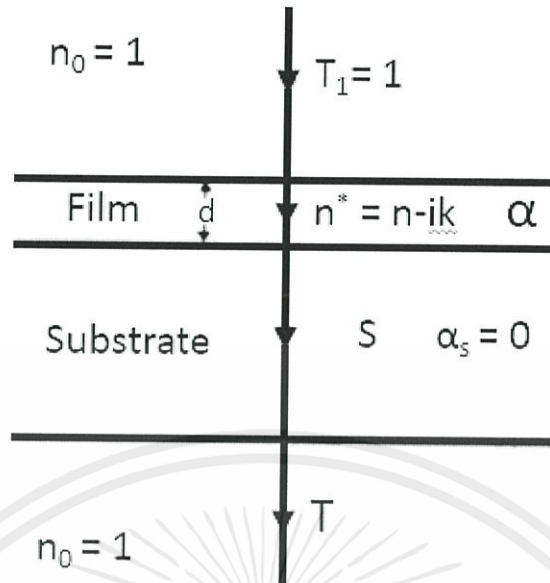
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การกำหนดค่าคงที่เชิงแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง

ความหนาแน่นและค่าคงที่เชิงแสงของฟิล์มบาง สามารถหาได้จากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางที่เคลือบอยู่บนแผ่นฐานรองรับที่โปร่งแสง ซึ่งจะแสดงดังแผนภาพในรูปที่ 2.1 ฟิล์มบางมีความหนา  $d$  และดัชนีหักเหเชิงซ้อน  $n^* = n - ik$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนจริงของค่าดัชนีหักเห และ  $k$  คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียเชิงแสง (extinction coefficient) สำหรับความหนาของแผ่นฐานรองรับจะต้องมีค่ามากกว่าความหนาของฟิล์มบางในระดับ 100 – 1000 เท่า ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางคือ  $s$  และประมาณว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของแผ่นฐานรองรับ ( $\alpha_s$ ) มีค่าน้อยมาก และประมาณให้เป็นศูนย์ ส่วนค่าดัชนีหักเหของอากาศคือ  $n_0 = 1$  การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง ( $T$ ) จะต้องพิจารณาการสะท้อนแสงทวิคูณ (multiple reflections) ที่รอยต่อ (ดังรูปที่ 2.1) จำนวน 3 รอยต่อ

ถ้าฟิล์มบางมีความหนาไม่สม่ำเสมอหรือความหนาไม่ลักษณะลาดชัน ลักษณะรีวการแทรกสอดของที่ส่งผ่านฟิล์มบางจะหายไป ดังนั้นจะเห็นเพียงสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง เป็นเส้นกราฟที่เรียงดังแสดงด้วยเส้นโค้ง  $T_\alpha$  ดังรูปที่ 2.2 จากสเปกตรัมการส่งผ่านแสงจะสามารถแบ่งได้เป็น 4 บริเวณ ได้แก่ บริเวณที่โปร่งแสง ค่า  $\alpha = 0$  และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง ( $T$ ) จะขึ้นกับ  $n$  และ  $s$  โดยจะต้องมีการสะท้อนแสงทวิคูณเกิดขึ้น สำหรับบริเวณที่มีการดูดกลืนแสงเบาบาง  $\alpha$  มีค่าน้อย และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงจะเริ่มมีค่าลดลง ส่วนบริเวณที่มีการดูดกลืนแสงปานกลาง  $\alpha$  จะมีค่ามากและสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจะลดลงเนื่องจากผลของ  $\alpha$  นี้ และบริเวณที่มีการดูดกลืนแสงอย่างแรง สัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงจะลดลงอย่างมากเนื่องจากอิทธิพลของ  $\alpha$  ดังกล่าว เส้นกราฟสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงที่เรียบ  $T_\alpha$  มักจะถูกนำไปใช้หาค่า  $\alpha(\lambda)$  ในช่วงแสงตามมองเห็นได้และช่วงอินฟราเรดเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพเพื่อการศึกษาสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (T) ของฟิล์มบางที่เคลือบอยู่บนแผ่นฐานรองรับที่โปร่งแสง

ถ้าความหนา  $d$  ของฟิล์มบางมีค่าสม่ำเสมอ จะส่งผลให้สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของรูปที่ 2.2 เป็นเส้นทึบ รีวการแทรกสอดของสเปกตรัมการส่งผ่านแสงนี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าคงที่เชิงแสงของฟิล์มบางได้

เริ่มจากการพิจารณากรณีแผ่นฐานรองรับอย่างเดียวนในกรณีที่ไม่มีฟิล์ม สัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงของแผ่นฐานรองรับจะแสดงได้ดังสมการ

$$T_s = \frac{(1-R)^2}{1-R^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ 
$$R_s = \left\{ \frac{(s-1)}{s+1} \right\}^2 \quad (2.2)$$

หรือ 
$$T_s = \frac{2s}{s^2+1}$$

และ 
$$s = \frac{1}{T_s} + \left( \frac{1}{T_s} - 1 \right)^{1/2}$$

การเกิดรีวการแทรกสอดจะเป็นไปตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$2nd = m\lambda \quad (2.3)$$
  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อ  $A' = 16s(n^2+k^2)$

$$B' = [(n+1)^2+k^2][(n+1)(n+s^2)+k^2]$$

$$C' = [(n^2-1+k^2)(n^2-s^2+k^2)-2k^2(s^2+1)]2\cos\varphi - k[2(n^2-s^2+k^2)+(s^2+1)(n^2-1+k^2)]2\sin\varphi$$

$$D' = [(n-1)^2+k^2][(n-1)(n-s^2)+k^2]$$

$$\Phi = \frac{4\pi nd}{\lambda}$$

$$x = \exp(-\alpha d)$$

$$\alpha = 4\pi k/\lambda$$

ในกรณีที่แผ่นฐานรองรับมีความหนามากกว่าความหนาของฟิล์มบางมากๆ (แผ่นฐานรองรับมีความหนาเป็นอนันต์) แล้ว T จะกลายเป็น

$$T = \frac{A''x}{B''-C''x+D''x^2} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $A'' = 16s(n^2+k^2)$

$$B'' = [(n+1)^2+k^2][(n+1)(n+s^2)+k^2]$$

$$C'' = [(n^2-1+k^2)(n^2-s^2+k^2)-2k^2(s^2+1)]2\cos\varphi - k[2(n^2-s^2+k^2)+(s^2+1)(n^2-1+k^2)]2\sin\varphi$$

$$D'' = [(n-1)^2+k^2][(n-1)(n-s^2)+k^2]$$

ค่าการดูดกลืนแสง x ของรูปที่ 2.1 สามารถเขียนอยู่ในพจน์ของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่เป็นเส้นโค้งเรียบ ( $T_\alpha$ ) ดังนี้คือ

$$x = \frac{P+[P^2+2QT_a(1-R_2R_3)]^{1/2}}{Q} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $Q = 2T_\alpha(R_1R_2+R_1R_3-2R_1R_2R_3)$

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (R<sub>1</sub>-1)(R<sub>2</sub>-1)(R<sub>3</sub>-1) ารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 $R_1 = [(1-n)/(1+n)]^2$

$$R_2 = [(n-s)/(n+s)]^2$$

$$R_3 = [(s-1)/(s+1)]^2$$

เพื่อให้พิจารณาได้ง่ายขึ้น เราจะให้  $k=0$  จะกลายเป็น

$$T = \frac{Ax}{B-Cx\cos\phi+Dx^2} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $A = 16n^2 s$

$$B = (n+1)^3(n+s^2)$$

$$C = 2(n^2-1)(n^2-s^2)$$

$$D = (n-1)^3(n-s^2)$$

$$\Phi = \frac{4\pi nd}{\lambda}$$

$$x = \exp(-\alpha d)$$

(2.8)

แล้วจะได้ว่า  $T_M$  และ  $T_m$  ของรูปที่ 2.1 คือ

$$T_M = \frac{Ax}{B-Cx+Dx^2} \quad (2.9)$$

$$T_m = \frac{Ax}{B+Cx+Dx^2} \quad (2.10)$$

ถ้าพิจารณาให้  $T_M$  และ  $T_m$  เป็นฟังก์ชันของ  $n(\lambda)$  และของ  $x(\lambda)$  อีกทั้ง  $T_M$  และ  $T_m$  เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ที่ความยาวคลื่น  $\lambda$  ใดๆ ค่า  $T_M$  จะสัมพันธ์กับ  $T_m$  (ดังรูปที่ 2.2) ยกตัวอย่างเช่น  $T_{M7}$  จะสัมพันธ์กับ  $T'_{M7}$  และ  $T_{M8}$  จะสัมพันธ์กับ  $T'_{M8}$

### 2.1.1 ย่านที่โปร่งแสง

ในบริเวณย่านที่โปร่งแสง เป็นบริเวณที่  $\alpha = 0$  หรือ  $x = 1$  ให้แทนสมการที่ (2.8) ลงใน

สมการที่ (2.9):

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้คัดลอก  $T_M = \frac{2s}{s^2+1}$  จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ (2.11) ใช้

สมการที่ (2.11) นี้จะให้ผลเหมือนกับสมการที่ (2.1) และจุดสูงสุดของการแทรกสอดแบบเสริมกันจะเป็นฟังก์ชันของ  $s$  อย่างเดียว และซ้อนทับกับเส้น  $T_s$  แต่เมื่อจุดสูงสุดของการแทรกสอดแบบเสริมกันนี้เริ่มเบนออกจาก  $T_s$  จะแสดงว่าจุดเริ่มต้น (onset) ของการดูดกลืนแสงเริ่มปรากฏขึ้นแล้วดังนั้นค่า  $s$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.11)

ทำการแทนสมการที่ (2.8) ลงในสมการที่ (2.10) โดยให้  $x = 1$  จะได้ว่า

$$T_m = \frac{4n^2s}{n^4 + n^2(s^2 + 1) + s^2}$$

หรือ 
$$n = [M + (M^2 - s^2)^{1/2}]^{1/2} \quad (2.12)$$

เมื่อ 
$$M = \frac{2s}{T_m} - \frac{s^2+1}{2}$$

โดยที่  $T_m$  จะเป็นฟังก์ชันของทั้ง  $n$  และ  $s$  แล้วค่า  $n$  จำคำนวณหาได้จากสมการที่ (2.12) นี้เองและมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับ  $\lambda$

### 2.1.2 ย่านที่มีการดูดกลืนแสงเบาบางและปานกลาง

ในบริเวณที่มีการดูดกลืนแสงเบาบางนี้  $\alpha \neq 0$  และ  $x < 1$  จากสมการที่ (2.9) และ (2.10) ผลต่างของส่วนกลับของ  $T_M$  และ  $T_m$  จะไม่ขึ้นกับตัวแปร  $x$  ดังนี้คือ

$$\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_M} = \frac{2C}{A} \quad (2.13)$$

ทำการแทนที่สมการที่ (2.8) ลงใน (2.13) จะสามารถทำให้หาค่า  $n$  ได้ ดังนี้

$$n = [N + (N^2 - s^2)^{1/2}]^{1/2} \quad (2.14)$$

เมื่อ 
$$N = 2s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{(s^2+1)}{2}$$

สมการที่ (2.14) นี้สามารถนำไปหาค่า  $n(\lambda)$  จาก  $T_M$  และ  $T_m$  ได้ เมื่อทราบค่า  $n(\lambda)$  แล้วค่าคงที่ทุกตัว ของสมการที่ (2.8) ก็จะหาได้ทันที และค่า  $x$  สามารถคำนวณหาได้จากหลายวิธี ทั้งสมการที่ (2.19) และ (2.10) เป็นสมการยกกำลังสอง (quadratic function) ของตัวแปร  $x$  จากการ

เอกสารนี้แก่สมการที่ (2.9) จะได้ว่า ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x = \frac{E_M - [E_M^2 - (n^2 - 1)^3 (n^2 - s^4)]^{1/2}}{(n-1)^3 (n-s^2)} \quad (2.15)$$

$$\text{เมื่อ } E_M = \frac{8n^2s}{T_M} (n^2 - 1)(n^2 - s^2)$$

จากการแก้สมการที่ (2.7) จะได้ว่า

$$x = \frac{E_m - [E_m^2 - (n^2 - 1)^3(n^2 - s^2)]^{1/2}}{(n-1)^3(n-s^2)} \quad (2.16)$$

$$\text{เมื่อ } E_M = \frac{8n^2s}{T_m} (n^2 - 1)(n^2 - s^2)$$

และจากสมการที่ (2.9) และ (2.10) จะได้ว่า

$$\frac{2T_M T_m}{T_M + T_m} = \frac{Ax}{B + Dx^2} \quad (2.17)$$

แก้สมการเพื่อหาค่า x จะได้ว่า

$$x = \frac{F - [F^2 - (n^2 - 1)^3(n^2 - s^4)]^{1/2}}{(n-1)^3(n-s^2)} \quad (2.18)$$

$$\text{เมื่อ } F = \frac{8n^2s}{T_i}$$

$$\text{และ } T_i = \frac{2T_M T_m}{T_M + T_m} \quad (2.19)$$

จากสมการที่ (2.17) และ (2.7) เห็นได้ว่า  $T_i$  คือเส้นโค้งที่ผ่านจุดเปลี่ยนโค้ง (inflection point) ของรีวกการแทรกสอดของรูปที่ 2.2 เส้นโค้งของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงที่เรียบ  $T_\alpha$  สามารถที่จะคำนวณหาได้จากรีวกการแทรกสอดของสเปกตรัมการส่งผ่านแสง โดยการอินทิเกรตสมการที่ (2.7) ระหว่างจุดสูงสุด (สันคลื่น) กับจุดต่ำสุด (ท้องคลื่น) ดังนี้คือ

$$T_\alpha = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \frac{Ax}{B - Cx \cos \phi + Dx^2} d\phi$$

ประมาณว่าเป็นการอินทิเกรตในบริเวณแคบๆ (narrow integration region) ซึ่งพารามิเตอร์

ทุกตัวมีค่าคงที่ แล้วผลของการอินทิเกรตคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา  $Ax$  ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_\alpha = \frac{Ax}{[(B - Cx + Dx^2)(B + Cx + Dx^2)]^{1/2}} \quad (2.20)$$

แทนสมการที่ (2.9) และ (2.10) ลงในสมการที่ (2.20) จะได้ว่า

$$T_\alpha = \sqrt{T_M T_m} \quad (2.21)$$

โดยที่  $T_\alpha$  จะเป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean) ของ  $T_M$  และ  $T_m$  ซึ่งสมการที่ (2.21) จะเป็นสมการที่มีประโยชน์ จากสมการที่ (2.20) สามารถหาค่า  $x$  ได้ดังนี้ คือ

$$x = \frac{\{G - [G^2 - (n^2 - 1)^6 (n^2 - s^4)]^{1/2}\}^{1/2}}{(n-1)^3 (n-s^2)} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $G = \frac{128n^4 s^2}{T^2} + n^2 (n^2 - 1)^2 (s^2 - 1)^2 + (n^2 - 1)^2 (n^2 - s^2)^2$

สมการที่ (2.22) สมมูลกับสมการที่ (2.6) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการศึกษาสมบัติเชิงแสงในย่านตามองเห็นได้และย่านอินฟราเรด สมการที่ (2.22) นี้ยังสามารถใช้หาค่า  $n$  จากสเปกตรัม  $T_\alpha$  ในบริเวณที่โปร่งแสง (เมื่อ  $\alpha = 0$ ) การคำนวณหาค่า  $n$  จะเริ่มจากการให้ค่า  $x$  ของสมการที่ (2.22) เท่ากับ 1 แล้วจะได้ว่า

$$n = [H + (H^2 - s^2)^{1/2}]^{1/2} \quad (2.23)$$

เมื่อ  $H = \frac{4s^2}{(s^2+1)T\alpha^2} - \frac{s^2+1}{2}$

มานิฟาซีเยร์และผู้ร่วมงานได้ทำการคำนวณหาค่า  $x$  จากเงื่อนไขแผ่นฐานรองรับมีความหนาอนันต์ (infinite substrate) ซึ่งจะได้ว่า

$$x = \frac{(n+1)(s+n)[1 - (T_M/T_m)^{1/2}]}{(n-1)(s-n)[1 + (T_M/T_m)^{1/2}]} \quad (2.24)$$

แต่น่าเสียดายว่าสมการที่ (2.24) ไม่สมมูลกับสมการที่ (2.12), (2.13), (2.18) และ (2.22)

### 2.1.3 ย่านที่มีการดูดกลืนแสงอย่างแรง

ในบริเวณที่มีการดูดกลืนแสงอย่างแรง รั้วการแทรกสอดจะไม่ปรากฏให้เห็น ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณค่า  $n$  และ  $x$  จากสเปกตรัมการส่งผ่านแสงแต่เพียงอย่างเดียวได้ ค่า  $n$  ของบริเวณที่มีการดูดกลืนแสงอย่างแรงนี้สามารถประมาณได้จากการลากส่วนต่อจากบริเวณอื่น เช่น จากบริเวณที่มีการดูดกลืนแสงเบาบางและปานกลาง เป็นต้น ส่วนค่า  $x$  สามารถคำนวณหาได้จากสมการใดสมการหนึ่งของสี่สมการอันได้แก่ สมการที่ (2.15), (2.16), (2.18) และ (2.22) สำหรับ  $\alpha$  ที่มีค่า

มากๆ เส้นกราฟทั้งสี่คือ  $T_M$ ,  $T_\alpha$ ,  $T_l$  และ  $T_m$  จะดูเข้าช้อนกันเป็น  $T_0$  ถ้าปรากฏการณ์รีเวิร์แทรกสอด ถูกละเว้น  $x \leq 1$  สมการที่ (2.7) สามารถเขียนได้เป็น

$$T_0 \approx \frac{Ax}{B}$$

หรือ

$$x \approx \frac{(n-1)^3(n+s^2)}{16n^2s} T_0 \quad (2.25)$$

#### 2.1.4 แบบจำลองเชิงตัวเลข

เพื่อทดสอบความแม่นยำของทฤษฎีนี้ จำกัดให้  $s=1.51$  ความหนาของฟิล์มบาง (d)  $\alpha$ -Si:H เท่ากับ 1000 นาโนเมตร ค่าดัชนีหักเหจะเขียนในรูปของสมการคوشي (Cauchy's equation) ดังนี้

$$n = \frac{3 \times 10^5}{\lambda^2} + 2.6 \quad (2.26)$$

ส่วนค่าลอการิทึมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงคือ

$$\log \alpha = \frac{1.5 \times 10^6}{\lambda^2} - 8 \quad (2.27)$$

โดยที่  $\alpha$  มีหน่วยเป็น (นาโนเมตร)<sup>-1</sup>

จากค่า  $n(\lambda)$  และ  $\alpha(\lambda)$  ดังกล่าวข้างต้น นำเอาไปทำแบบจำลองเชิงตัวเลขพบว่าสอดคล้องกับผลการทดลองได้ดี เมื่อทราบค่า  $\alpha(\lambda)$  แล้วก็สามารถนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียเชิงแสง  $k(\lambda)$  จากความสัมพันธ์

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda}$$

สำหรับการหาค่าความหนาของฟิล์มบาง (d) ให้พิจารณาที่สันคลื่นหรือท้องคลื่น ที่อยู่ติดกัน เมื่อ  $n_1$  และ  $n_2$  เป็นค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางที่ความยาวคลื่น  $\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  ตามลำดับ จากสมการที่ (2.3) จะได้ความหนาของฟิล์มบางคือ

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2)} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สรุปได้ว่าสำหรับสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางที่มีความหนาในระดับ 100 นาโน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
เมตร จะเป็นเส้นโค้งเรียบผ่านฐานรองรับเป็นกระจกสไลด์มีความหนาในราว 2 มิลลิเมตร ดังนั้นจึง

ประมาณว่า ความหนาของแผ่นฐานรองรับเป็นอนันต์แล้วค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางจะหาได้จากสมการที่ (2.5) ส่วน  $\alpha$  จะคำนวณได้เมื่อรู้ค่า  $x$  จากสมการที่ (2.6)

## 2.2 การกำหนดหาค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางโปร่งแสง

ดัชนีของพื้นผิวจะถูกกำหนดโดยการวัดสเปกตรัมการส่งของพื้นผิวเดียวกันนั้น และใช้สมการที่ (2.2) คำนวณหาค่า  $S$  ถ้าการกระจายอย่างมีนัยสำคัญเป็นข้อมูลที่สามารถเชื่อมต่อกับฟังก์ชันเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อให้ได้  $S(\lambda)$  ในการทำงาน  $S$  มีค่าคงที่  $S = 1.51$  จะได้ผลการส่งผ่านเป็น 0.921 แสดงโดย  $T_s$  ในรูปที่ 2.2

สำหรับการคำนวณของ  $n$  ในบริเวณการดูดกลืนบางเบาและปานกลางจะมีค่า  $T_M$  และ  $T_m$  ที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งความยาวคลื่นสามารถวัดได้ขึ้นอยู่กับขนาดที่ใช้ และกรณีของรูปที่ 2.2 ค่าสูงสุดที่ถูกต้องประมาณ  $\pm 1 \text{ nm}$ . หรือประมาณ 0.1%

ตารางที่ 2.1 จะแสดงค่าที่ขั้วสเปกตรัมของ  $\lambda$ ,  $T_m$  และ  $T_M$  ที่ได้จากรูป 2.2 ค่าการส่งผ่านนั้นจะอ่านบนเส้นโค้งของ  $T_M$  และ  $T_m$  ในแต่ละความยาวคลื่น และไม่อยู่บนสเปกตรัมที่เกิดขึ้นจริง ถ้าค่ากลางจะถูกคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ การแก้ไขรูปโค้งระหว่างสามจุดที่ใกล้ที่สุดควรทำตั้งแต่การสอดแทรกเชิงเส้นที่ไม่ถูกต้องเพียงพอ

ดัชนีหักเห  $n_1$  จะคำนวณจากสมการที่ (2.12) ที่แสดงในตารางที่ 2.1 ค่าดัชนีหักเหจะถูกตัดหลังจากคำนวณความหนา  $d$  ที่จะอธิบายต่อในส่วนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าที่ขั้วสเปกตรัมของ  $\lambda$ ,  $T_m$  และ  $T_M$  ที่ได้จากรูป 2.2 และค่าการคำนวณของ  $n$  และ  $d$

$\lambda$	$T_M$	$T_m$	$n_1$	$d_1$	$m$	$d_2$	$n_2$	$n_{1r}$
859	0.919	0.478	3.015		7	997	3.007	3.006
814	0.919	0.470	3.052		7.5	1000	3.053	3.053
775	0.916	0.460	3.095	1035	8	1002	3.100	3.099
740	0.913	0.448	3.149	988	8.5	999	3.145	3.147
710	0.908	0.437	3.198	979	9	999	3.195	3.195
683	0.896	0.426	3.240	1023	9.5	1001	3.244	3.243
659	0.882	0.413	3.293	1013	10	1000	3.295	3.291
636	0.847	0.398	3.335	1002	10.5	1001	3.339	3.341
617	0.805	0.378	3.400	975	11	998	3.394	3.389
598	0.715	0.354	3.420	1049	11.5	1005	3.439	3.439
582	0.616	0.319	3.496	1006	12	999	3.492	3.484
564	0.433	0.256	3.570	879	12.5			3.542
555	0.328	0.210	3.668	830	13			3.573

$\bar{d}_1 = 1008; \sigma_1 = 25; \bar{d}_2 = 1000; \sigma_2 = 2$

### 2.3 การกำหนดหาความหนาของฟิล์มบางโปร่งแสง

ถ้า  $n_1$  และ  $n_2$  เป็นดัชนีหักเหทั้งสองที่สูงสุด (หรือต่ำสุด) ที่  $\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  ที่อยู่ใกล้เคียงกัน ซึ่งได้มาจากสมการที่ (2.3) จะได้รับจาก

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \quad (2.29)$$

สมการที่ (2.29) มีส่วนสำคัญมากที่จะเกิดข้อผิดพลาดในตัวแปร  $n$  อาจทำให้ค่าไม่ถูกต้องได้ ค่า  $d$  คำนวณจากสมการที่ (2.29) จะแสดงเป็น  $d_1$  ในตารางที่ 2.1 มีการกระจายตัวในค่า  $d_1$  ส่วนเบี่ยงเบนนี้เป็นข้อบ่งชี้ว่า  $n_1$  เป็นค่าคำนวณจากสมการที่ (2.12) และความยาวคลื่น  $\lambda$

ค่าเฉลี่ยของ  $d_1 = 1008 \pm 25$  nm. ค่าของ  $d_1$  สามารถนำมาใช้กับ  $n_1$  เพื่อตรวจสอบอันดับตัวเลขสำหรับสุดขั้วจากสมการที่ (2.3) การเพิ่มขึ้นของขนาดความถูกต้องในขณะนี้ส่งผลให้เกิดการจำนวนเต็มหรือค่าครึ่งจำนวนเต็มของ  $m$  สำหรับแต่ละ  $\lambda$  และการคำนวณความหนา  $d_2$  จากสมการที่ 3 ใช้ค่าของ  $n_1$  อีกครั้ง ถ้าค่าของ  $m$  ไม่สามารถกำหนดเอง จะมีการตรวจสอบโดยสมการที่ (2.3) ที่จุดของค่า  $m$  จะผ่านการทดสอบและคำนวณหา  $d_2$  จากชุดของค่า  $m$  ที่ให้การใช้กระจายตัวที่เล็กที่สุดใน  $d_2$  ควรจะได้รับค่าเฉลี่ยของ  $d_2$  ในตารางที่ 2.1 คือ  $d = 1000 \pm 2$  nm. นี้

คือค่าที่แม่นยำ 1% แม้ว่าค่าของ  $\lambda$  จะถูกบิดเบือนออกไป และค่าของ  $T_M$  และ  $T_m$  มีความแม่นยำ 1% ชั้นตอนนี้ยังคงทำให้คำตอบของ  $d_2 = 1000 \pm 3$  nm. มีความถูกต้องและทำให้ขั้นตอนการกำหนด  $d$  ถูกต้องด้วย

โดยใช้ค่าที่ถูกต้องของ  $m$  และ  $d_2, n$  จะสามารถคำนวณโดยใช้  $\lambda$  ในสมการที่ 3 แต่ละค่าเหล่านี้จะปรากฏเป็น  $n_2$  ในตารางที่ 1 และค่าเหล่านี้ ค่าจริง  $n_{tr}$  ตอนนี้  $n_2$  สามารถเชื่อมต่อกับฟังก์ชันสำหรับการคาดการณ์ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า การใช้ฟังก์ชันของแบบฟอร์ม  $n = a/\lambda^2 + c$  จะแสดงค่า  $n_2$  ในตารางที่ 2.1 เขียนได้ดังนี้

$$n = 3.028 \times 10^5 / \lambda^2 + 2.595 \quad (2.30)$$

สมการนี้เกือบตรงกับฟังก์ชันในเชิงทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างคลื่นสเปกตรัม รูปแบบของมันคือฟังก์ชันความปลอดภัยที่จะใช้สำหรับการคาดการณ์ แต่พอดีกว่าที่ค่าการทดลอง โดยยังรวมถึงระยะ  $b/\lambda$  ในสมการที่ (2.30)

ค่าของ  $m$  และ  $d$  ยังสามารถถูกกำหนดโดยวิธีการแบบกราฟที่ง่าย สมมติว่าอันดับจำนวน (จำนวนเต็มหรือครึ่งหนึ่งของจำนวนเต็ม) ของเทอมแรกคือ  $m_1$  และสมการที่ (2.3) ก็สามารเขียนให้อยู่ในรูปของของคลื่นสเปกตรัม ดังนี้

$$2nd = (m_1 + l/2)\lambda, \quad l = 0, 1, 2, 3 \dots$$

หรือ

$$l/2 = 2d(n/\lambda) - m_1 \quad (2.31)$$

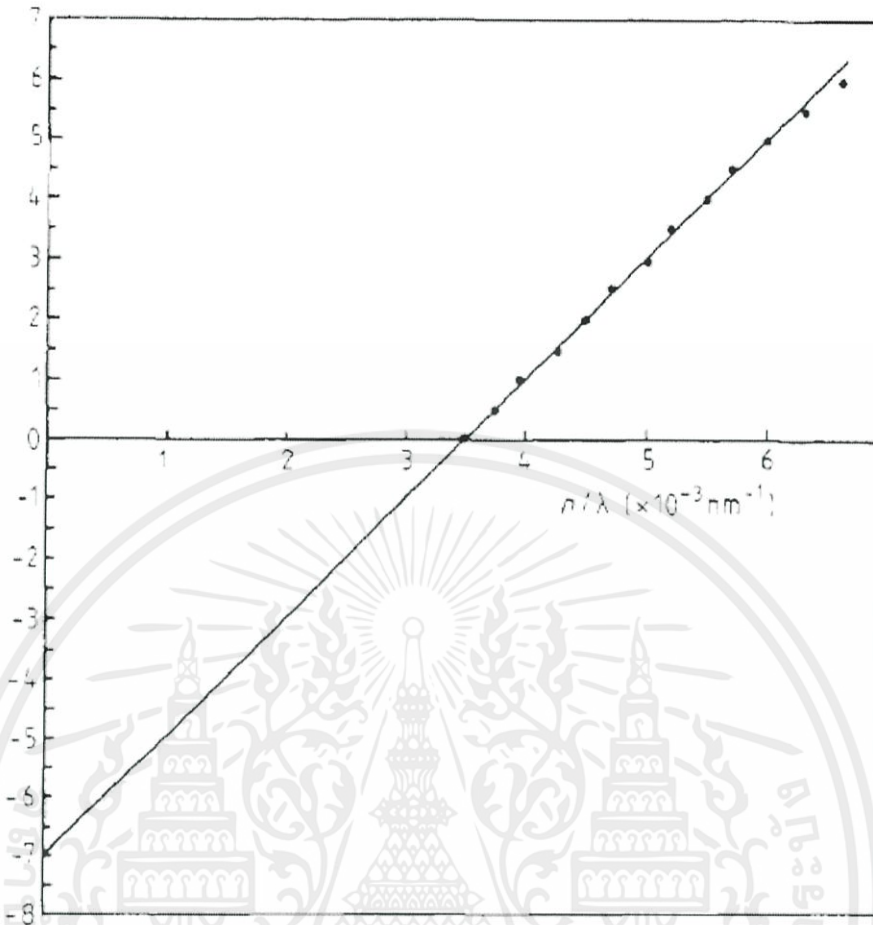
สมการข้างต้นนี้อยู่ในรูปแบบของเส้นตรง หาก  $l/2$  พล็อตกราฟกับ  $n/\lambda$  เส้นตรงจะมีความลาดชัน  $2d$  และตัดบนแกน  $y$  ของ  $-m_1$  รูปที่ 4 แสดงกราฟของสมการที่ (2.31) สำหรับค่าของ  $\lambda$  และ  $n_1$  ของตารางที่ 2.1

วิธีการแบบกราฟมีความเรียบง่ายที่น่าสนใจ ในหลักการเฉพาะค่าของ  $\lambda$  และ  $n$  ของสอง

ข้อที่มีความจำเป็นในการกำหนดอันดับจำนวน  $m$  และความหนา  $d$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

112



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $l/2$  กับ  $n/\lambda$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ศึกษาการคำนวณด้วยวิธีสเวนนีโพล (Swanepoel)

ลักษณะคุณสมบัติของฟิล์มบางเป็นสิ่งสำคัญมาก สำหรับการปรับปรุงคุณภาพและการทำงานของฟิล์ม มีหลายวิธีในการทำงานเช่นนี้ ดัชนีหักเห  $n(\lambda)$ , ค่าคงที่เชิงแสงของฟิล์ม  $k(\lambda)$ , และความหนา  $d$  ของฟิล์มสามารถพิจารณาจาก  $R(\lambda), T(\lambda)$

ดัชนีหักเหของ substrate  $n_s$  คำนวณโดยใช้สมการที่ (3.1)-(3.8) และแสดงในรูปที่ 3.1 เมื่อ  $T_M$  และ  $T_m$  เป็นตัวแทนค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ตามลำดับ แต่ละ  $T_M$  และ  $T_m$  จะเป็น  $\lambda$  เดียวกับการคำนวณ

$$n_s = \frac{1}{T_s} + \left(\frac{1}{T_s^2} - 1\right)^{1/2}, \quad (3.1)$$

$$n = [N + (N^2 - n_s^2)^{1/2}]^{1/2}, \quad (3.2)$$

$$N = 2n_s \left(\frac{T_M - T_m}{T_M T_m}\right) + \frac{n_s^2 + 1}{2}, \quad (3.3)$$

$$k = -\frac{\lambda}{4\pi d} \ln x, \quad (3.4)$$

$$x = \frac{F - [F^2 - (n^2 - 1)^3 (n^2 - n_s^4)]^{1/2}}{(n - 1)^3 (n - n_s^2)}, \quad (3.5)$$

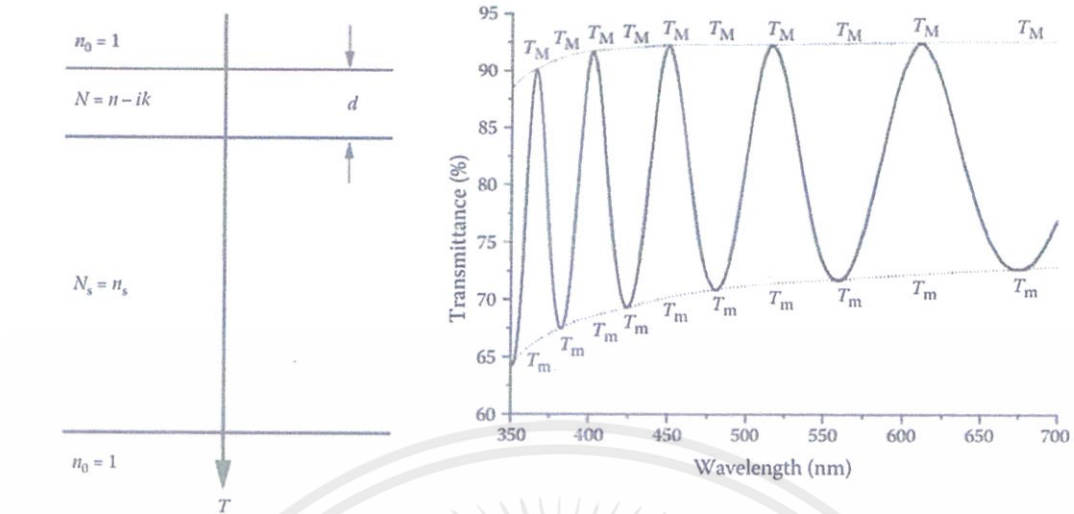
$$F = \frac{8n^2 n_s}{T_i}, \quad (3.6)$$

$$T_i = \frac{2T_M T_m}{T_M + T_m}, \quad (3.7)$$

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(n_1 \lambda_1 - n_2 \lambda_2)}. \quad (3.8)$$

มีอีกหลายวิธีที่ใช้วัดดัชนีหักเห  $n(\lambda)$ , ค่าคงที่เชิงแสงของฟิล์ม  $k(\lambda)$ , และความหนา  $d$  ของฟิล์ม เป็นการพัฒนาบนพื้นฐานมาตรฐานมาตรวิทยาทางแสง ตัวอย่างเช่น เทคนิคนำคลื่นและการสะท้อนแสง

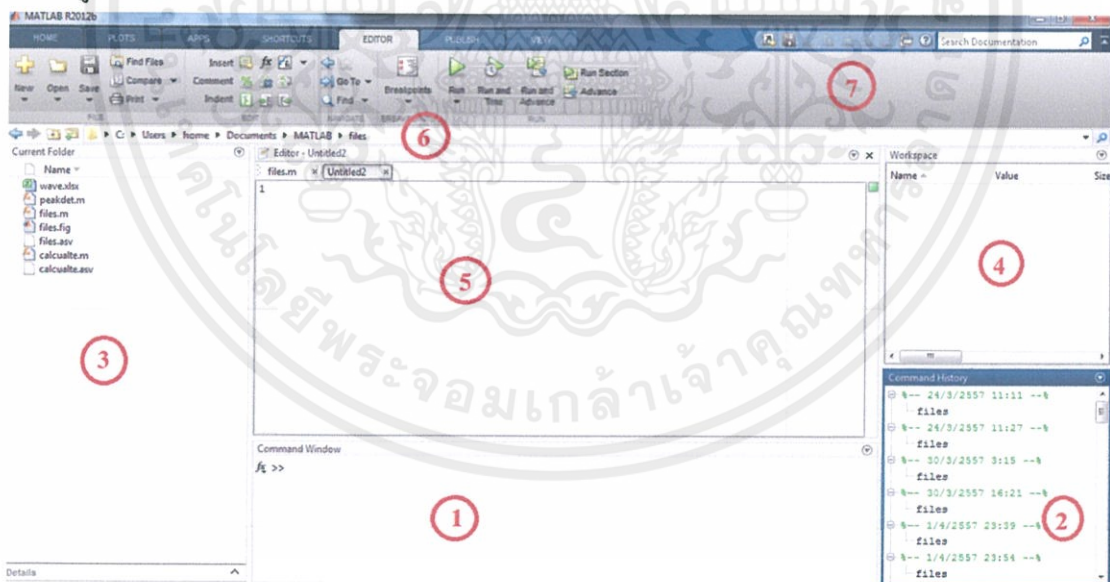
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วิธีสำหรับการคำนวณ  $n$ ,  $k$ , และ  $d$  ของฟิล์มเคลือบ

### 3.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม MATLAB เบื้องต้น

ในหน้าต่างหลักของ MATLAB มีหน้าต่างย่อยๆ ซึ่งทำหน้าที่รับค่าและแสดงผลที่แตกต่างกันดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 หน้าต่างหลักของ MATLAB

หน้าต่างย่อยที่สำคัญ ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**1. Command Window** เป็นหน้าต่างหลักของ MATLAB ที่เราเรียกใช้งานคำสั่งต่างๆ และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 แสดงผลเป็น Standard Input/Output ของ MATLAB โดยเครื่องหมาย >> เป็นตัวพร้อมท์

(Command Prompt)

2. **Command History** เป็นบันทึกคำสั่งที่เรียกใช้ใน Command Window เทียบได้กับไดอารี่ของผู้ใช้ สามารถเรียกดูย้อนหลังได้
3. **Current Folder** เป็นหน้าต่างแสดงสารบบของ Current Directory หรือ path ที่เรากำลังทำงานอยู่
4. **Workspace** เป็นหน้าต่างแสดงผลตัวแปรทั้งหมดที่ใช้อยู่ในขณะนั้น
5. **Editor** เป็นหน้าต่างที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม คล้าย Text Editor ทั่วไป แต่มีสีแสดง Syntax ต่างๆ มี M-lint ช่วยวิเคราะห์โปรแกรม และมีส่วนควบคุมการทำงานของโปรแกรม
6. **Current Directory** แสดงพาธ (path) หรือ ไดเรกทอรี (Directory) ที่เรากำลังทำงานอยู่
7. **Toolstrip** เป็นส่วนเสริมพิเศษ เริ่มมีใช้ในรุ่น R2012b เป็นครั้งแรก ซึ่ง Toolstrip ประกอบด้วย 3 เมนูหลักคือ HOME, PLOTS และ APPS

### 3.3 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม MATLAB

#### 3.3.1 การสร้างและออกแบบ GUI ด้วย GUIDE

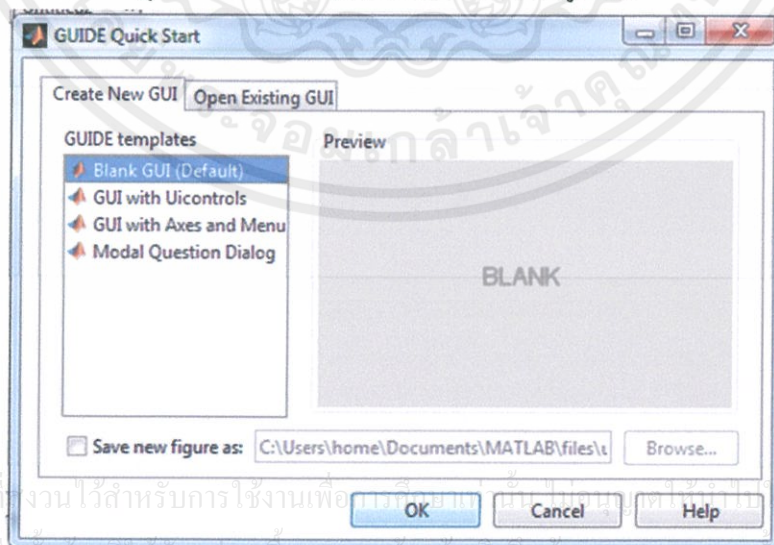
MATLAB Graphical User Interface Development Environment (GUIDE) เป็นสภาพแวดล้อมที่จัดเตรียมเครื่องมือที่จำเป็นในการสร้าง GUI โดยเราสามารถเรียกหน้าต่าง GUIDE ขึ้นมาได้ 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 : จากปุ่ม GUIDE ในแถบเมนูหลักของหน้าต่าง MATLAB

วิธีที่ 2 : จากภายในปุ่มเริ่ม (Start > MATLAB > GUI)

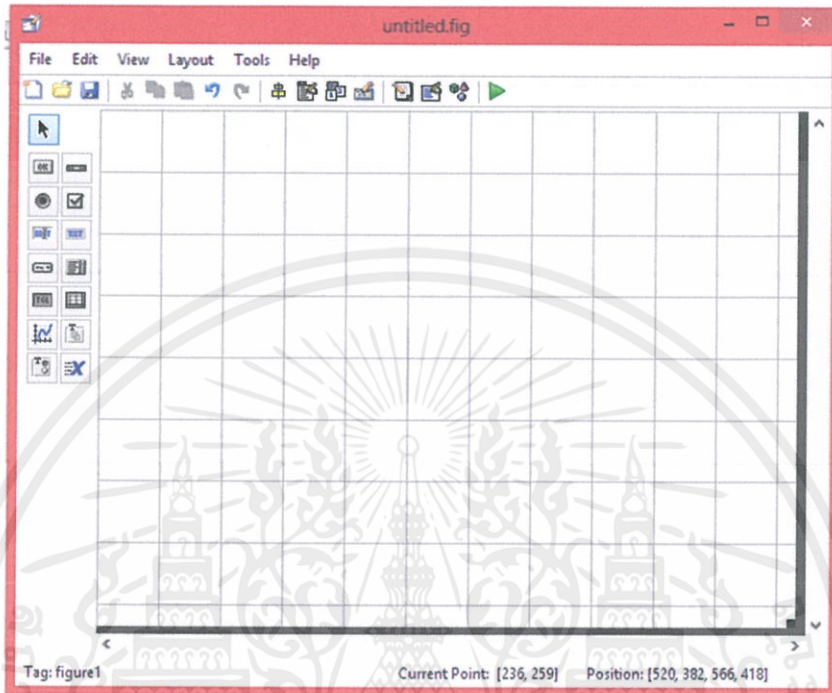
วิธีที่ 3 : จากคำสั่ง guide

หน้าต่าง GUIDE จะปรากฏในชื่อ GUIDE Quick Start ขึ้นมา ดังรูป 3.3



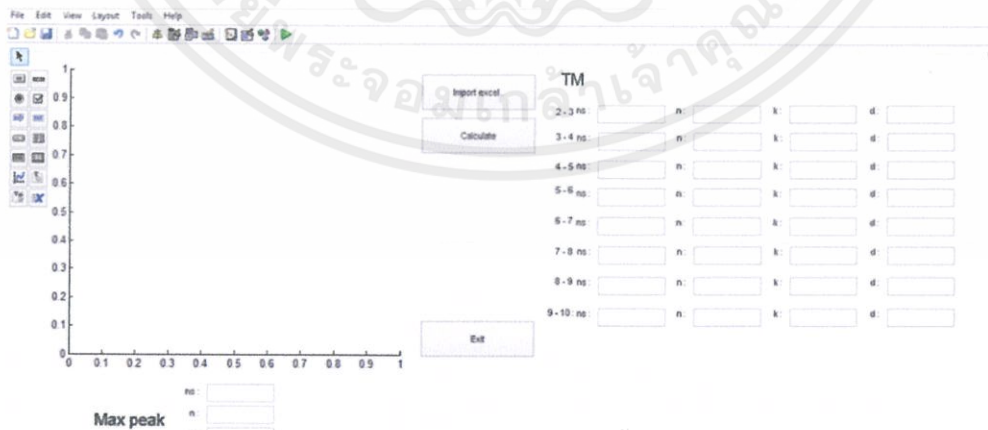
รูปที่ 3.3 หน้าต่าง MATLAB Graphical User Interface Development Environment

ในหน้าต่าง GUIDE Quick Start เป็นหน้าต่างสำหรับเลือกสร้าง GUI ใหม่ หรือเปิด GUI เดิมที่เคยสร้างไว้แล้ว ในที่นี่เราจะสร้าง GUI ใหม่แบบว่างเปล่า โดยให้เลือก Blank GUI (Default) อย่างในรูปแล้วคลิกปุ่ม OK จะปรากฏหน้าต่างใหม่พร้อมเครื่องมือในการสร้าง GUI ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 หน้าต่างและแถบเครื่องมือสร้าง GUI

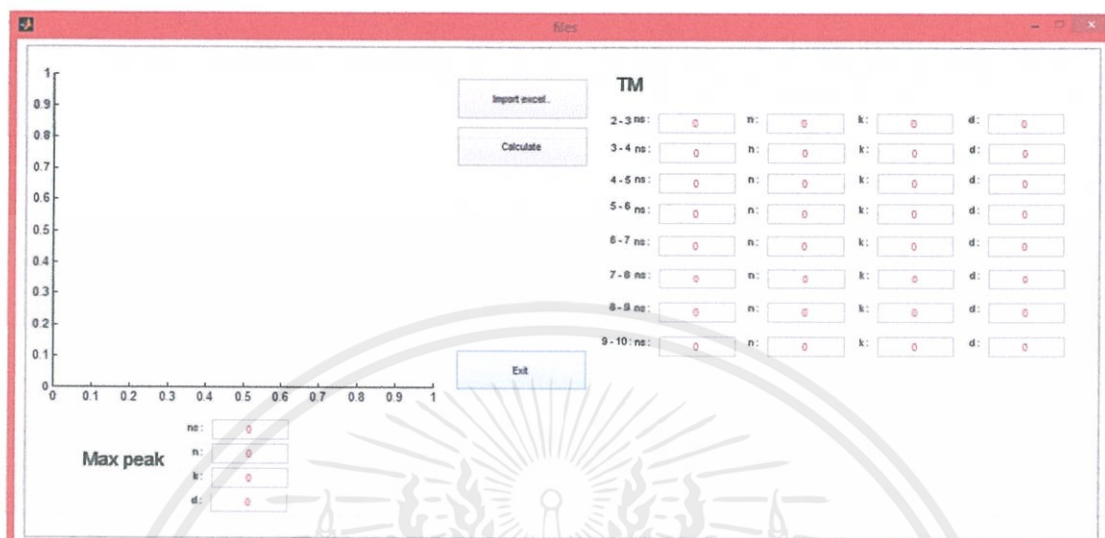
จากนั้นออกแบบหน้าต่าง GUI เราจะกำหนดให้หน้าสำหรับแสดงผลการคำนวณของตัวอย่างเพื่อแสดงข้อมูลในการคำนวณประกอบการคำนวณ โดยเลือกวัตถุในเมนูด้านซ้าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ให้นำไปใช้

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการออกแบบหน้าต่าง GUI

หลังจากนั้น Save หน้าต่างที่เราทำการออกแบบ เพื่อทำการบันทึกก็จะพบกับเพิ่มข้อมูลนามสกุล .fig และ .m จำนวน 2 เพิ่มข้อมูล แล้วจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลจากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์

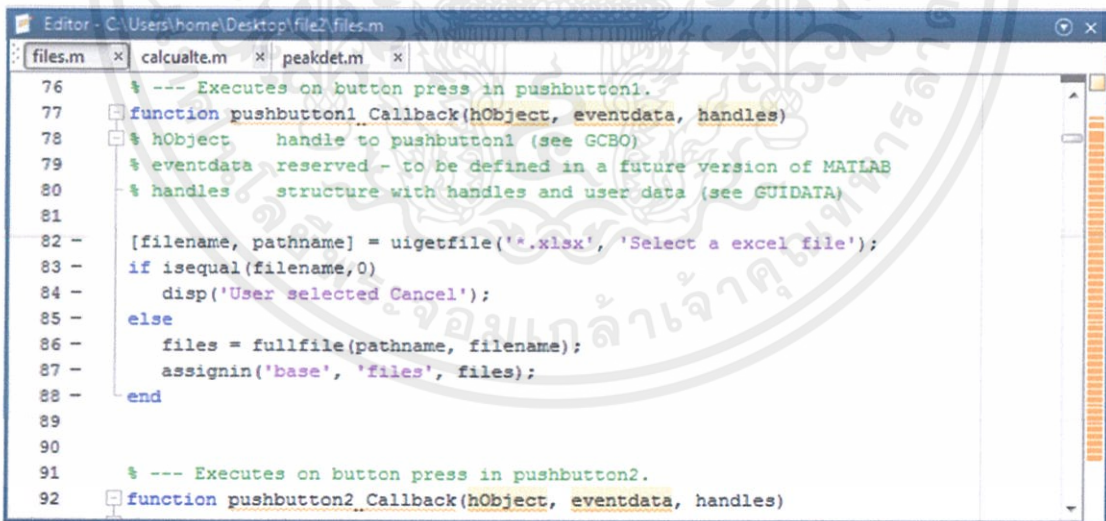
จากโครงการพิเศษ การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง จากข้อมูลการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง ได้นำไปพัฒนาโดยศึกษาและเขียนโปรแกรม MATLAB รุ่น R2012b และวิเคราะห์ด้วยวิธีสเวนนิโพล (Swanepoel) ได้ผลดังนี้

#### 4.1.1 หน้าจอเขียนโปรแกรม M-file

หน้าจอเขียน โปรแกรม M-file แบ่งออกเป็น 3 ไฟล์ ดังนี้

1. M-file ที่ออกแบบ GUI บันทึกไว้ในชื่อ files.m
2. M-file ที่เขียนโค้ดคำนวณด้วยวิธีสเวนนิโพล (Swanepoel) บันทึกไว้ในชื่อ calculate.m
3. M-file ที่หาค่าสูงสุด( $T_M$ )และค่าต่ำสุด( $T_m$ ) บันทึกไว้ในชื่อ peakdet.m

โดยโค้ดต่างๆ จะกล่าวถึงในภาคผนวกต่อไป



```
Editor - C:\Users\home\Desktop\file2_files.m
files.m x calculate.m x peakdet.m x
76 % --- Executes on button press in pushbutton1.
77 function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
78 % hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
79 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
80 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
81
82 [filename, pathname] = uigetfile('*.xlsx', 'Select a excel file');
83 if isequal(filename,0)
84 disp('User selected Cancel');
85 else
86 files = fullfile(pathname, filename);
87 assignin('base', 'files', files);
88 end
89
90
91 % --- Executes on button press in pushbutton2.
92 function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

รูปที่ 4.1 M-file ที่ออกแบบ GUI บันทึกไว้ในชื่อ files.m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1 function calculate(files, handles)
2 clc;
3 format long
4 % const
5 Ts = 0.9;
6
7 % read excel
8 data = xlsread(files, 1, 'A1:B2358');
9
10 ns = 1/Ts + sqrt((1/(Ts^2) - 1));
11 M = smooth(data(:, 2), 40); % second column data
12 N = data(:, 1); % first column data
13 [TM ind_mx] = max(M); % max second column data
14 [Tm ind_mn] = min(M); % max first column data
15 Q = (2*ns*((TM - Tm) / (TM*Tm))) + ((ns^2 + 1) / 2);
16 n = sqrt(Q + sqrt(Q^2 - ns^2));

```

รูปที่ 4.2 M-file ที่คำนวณด้วยวิธีสวานนีโพล (Swanepoel) บันทึกไว้ในชื่อ calculate.m

```

22 if nargin < 3
23 x = (1:length(v))';
24 else
25 x = x(:);
26 if length(v) ~= length(x)
27 error('Input vectors v and x must have same length');
28 end
29 end
30
31 if (length(delta(:)) > 1)
32 error('Input argument DELTA must be a scalar');
33 end
34
35 if delta <= 0
36 error('Input argument DELTA must be positive');
37 end
38

```

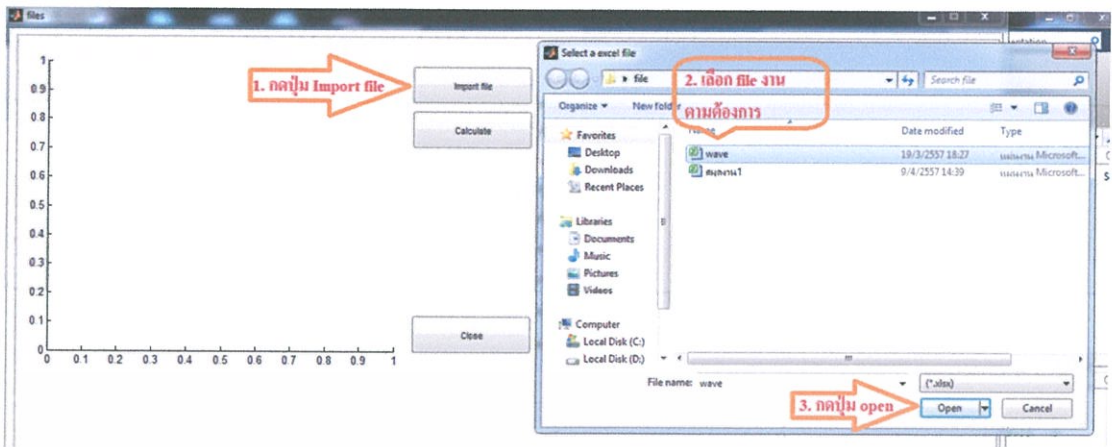
รูปที่ 4.3 M-file ที่หาค่าสูงสุด( $T_M$ )และค่าต่ำสุด( $T_m$ ) บันทึกไว้ในชื่อ peakdet.m

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง

### 4.2.1 ขั้นตอนการรันโปรแกรม

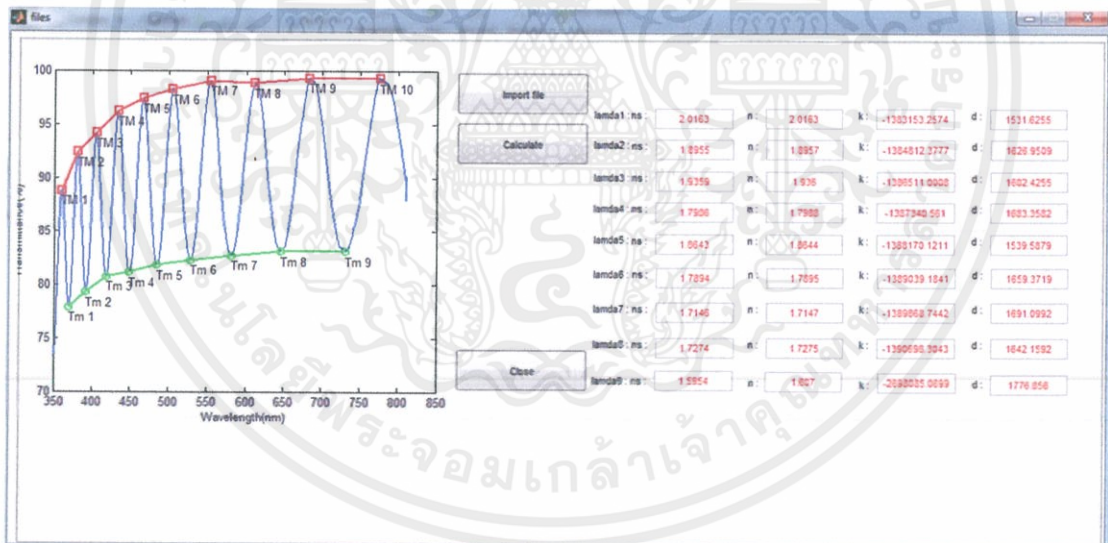
4.2.1.1 รันโปรแกรมโดย M-file ชื่อ file.m จะได้นหน้าต่าง GUI ที่ออกแบบไว้ก่อนหน้าจะแสดงขึ้นมา

4.2.1.2 นำข้อมูล(Import file) จาก Microsoft Excel เข้ามาวิเคราะห์ในโปรแกรมการคำนวณค่าคงที่เชิงแสง โดยโปรแกรมจะอ่านข้อมูลในนามสกุล .xlsx เท่านั้น ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการนำข้อมูล(Import file) จาก Microsoft Excel

4.2.1.3 กดปุ่ม calculate ในหน้าต่าง GUI ที่ออกแบบไว้ก่อนหน้า หลังจากนั้นจะได้ค่าคงที่เชิงแสง และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับเปอร์เซ็นต์การส่งผ่าน ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 หน้าจอแสดงผลค่าคงที่เชิงแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง

ความยาวคลื่น(nm)	ดัชนีหักเห(n)	สัมประสิทธิ์การดูดกลืน(k)	ความหนา(d)
379.96	2.0163	-1383153.2574	1531.6255
403.46	1.8957	-1384812.3777	1626.9509
433.01	1.936	-1386511.0008	1602.4255
464.12	1.7988	-1387340.561	1683.3582
507.05	1.8644	-1388170.1211	1539.5879
553.91	1.7895	-1389039.1841	1659.3719
607.57	1.7147	-1389868.7442	1691.0992
679.43	1.7275	-1390698.3043	1642.1592
778.49	1.607	-2698085.0699	1776.856

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษ “การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง จากข้อมูลการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง” โดยพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรม MATLAB รุ่น R2012b ในการออกแบบหน้าต่างแสดงผล GUI ด้วย Graphical User Interface Development Environment (GUIDE) ซึ่งนำข้อมูลการส่งผ่านและความยาวคลื่นจาก Microsoft Excel เข้าไปรันในซอฟต์แวร์โปรแกรม MATLAB รุ่น R2012b ที่ออกแบบไว้เพื่อที่จะคำนวณหาค่าคงที่เชิงแสง เช่น ความหนา (d), ดัชนีหักเห(n), สัมประสิทธิ์การดูดกลืน(k) ของฟิล์มบางโปร่งแสง

จากข้อมูลการส่งผ่านและความยาวคลื่นจาก Microsoft Excel มีอยู่หลายความยาวคลื่นประมาณ 3,000 ค่า แต่ในการคำนวณใช้แค่ค่าที่ความยาวคลื่น 350-800 nm. จึงจะได้กราฟมาคำนวณได้ตั้งผลการทดลองดังกล่าว และหลักการคำนวณใช้วิธีสเวนนี่โพล (Swanepoel) ที่จะต้องหาค่าสูงสุด ( $T_M$ ) และค่าต่ำสุด ( $T_m$ ) ของข้อมูลนั้นๆ พร้อมใช้สูตรตามที่กล่าวข้างต้นในบทที่ 3

จากผลการทดลองพบว่า ค่าคงที่เชิงแสง ได้แก่ ความหนา(d), ดัชนีหักเห(n), สัมประสิทธิ์การดูดกลืน(k) ของฟิล์มบางโปร่งแสง จะแสดงผลออกมาตามสัณคลื่นต่างๆ หรือความยาวคลื่นนั้นๆ จากการพัฒนาโปรแกรมและการวิเคราะห์ในงานวิจัยค่าคงที่เชิงแสงที่ได้ผลลัพธ์ออกมา อาจได้ค่าไม่ถูกต้องตามทฤษฎี และควรนำไปพัฒนาต่อไป

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสง จากข้อมูลการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางโปร่งแสง พบว่ามีปัญหาบางประการที่ควรได้รับการต่อยอดและปรับปรุงต่อไปได้แก่

1. ผลจากการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าคงที่เชิงแสงด้วยโปรแกรม MATLAB นี้ ไม่สามารถอ่านไฟล์ข้อมูลการส่งผ่านบางข้อมูลได้ เราควรปรับปรุงแก้ไขโค้ดโปรแกรมให้อ่านข้อมูลการส่งผ่านได้ทุกข้อมูลการส่งผ่าน

2. ค่าคงที่เชิงแสงที่ได้ออกมา เช่น ความหนา(d), ดัชนีหักเห(n), สัมประสิทธิ์การดูดกลืน(k) เป็นต้น อาจไม่ได้ค่าที่ถูกต้องเสมอ เราต้องมีค่าจากโปรแกรมอื่นมาเปรียบเทียบ เช่น Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ ใช้งานด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หน้าต่างแสดงผลยังเรียบง่ายและพื้นฐานเกินไป ควรจะออกแบบให้เหมาะสมและได้มาตรฐานเพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการ
4. งานโครงการพิเศษนี้ผู้ทำการวิจัยไม่สามารถพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์หาค่าแถบพลังงานต้องห้าม( $E_g$ ) ดังนั้นจึงอยากให้มีการต่อยอดต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- Bennet H E and Bennet J M 1967 physics of Thin Films ed  
G Hass and R E Thun (New York : Academic) vol.4 pp1-96
- Clark A H 1980 Poljwystalline and Amorphous Thin Film Devices ed. L L Kazmerski (New  
York: Academic) chap. 4 pp 135-152
- Freeman E C and Paul W 1979 Phys. Rev. B 20 716-728
- Hadley L N 1947 J. Opt. Soc. Am.37 451
- Keradec J 1973 Thesis L'Universite Scientifique et Medicale de Grenoble
- Lyashenko S P and Miloslavskii V K 1964 Opt. Spectrosc. 16 80-1
- Manificier J C, Gasiot J and Fillard J P 1976 A simple method for the determination of the  
optical constants  $n$ ,  $k$  and the thickness of a weakly absorbing film J. Phjis. E: Sei. Instrum. 9  
1002-4
- Mini A 1982 Thesis L'Universite Scientifique et Medicale de Grenoble
- Szczyrbowski J and Czapla A 1977 Thin Solid Films 46 127-37
- Wales J, Lovitt G J and Hill R A 1967 Thin Solid Films 1 137-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# โค้ดโปรแกรม M-file ต่างๆ

## 1. โค้ด M-file ของหน้าต่าง GUI

```
function varargout = files(varargin)
% FILES MATLAB code for files.fig
%   FILES, by itself, creates a new FILES or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = FILES returns the handle to a new FILES or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   FILES('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%   function named CALLBACK in FILES.M with the given input
arguments.
%
%   FILES('Property','Value',...) creates a new FILES or raises
the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are
%   applied to the GUI before files_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to files_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
%
% Edit the above text to modify the response to help files
%
% Last Modified by GUIDE v2.5 31-Mar-2014 13:01:35
%
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @files_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @files_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
```

เอกสารนี้ออกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% --- Executes just before files is made visible.
Function files_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to files (see VARARGIN)

% Choose default command line output for files
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes files wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
Function varargout = files_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
Function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

[filename, pathname] = uigetfile('*.xlsx', 'Select a excel file');
if isequal(filename,0)
    disp('User selected Cancel');
else
    files = fullfile(pathname, filename);
    assignin('base', 'files', files);
end

% --- Executes on button press in pushbutton2.
Function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% call calculate function
files = evalin('base', 'files');
3alculate(files, handles);

% --- Executes on button press in pushbutton3.
Function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการนำเอกสารไปใช้ในรูปแบบใดก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
close();
```

```
function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

% --- Executes on selection change in listbox1.
Function listbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to listbox1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns listbox1
contents as cell array

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from
listbox1

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function listbox1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to listbox1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: listbox controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5
as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้สมาชิกของห้องเรียนดาวน์โหลดไปใช้  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7
as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ และหากมีผู้ใดนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

```

% See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit10
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

% See ISPC and COMPUTER.

```

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),

```

```

get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```

end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ

```

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit11 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit11
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

Function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit12 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit12
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

Function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานและข้อมูลที่ได้รับจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit13 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit13
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
```

```
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit14 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit14
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
```

```
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit15_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit15 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit15
as a double
```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit15_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit16_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit16 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit16
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit16_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit17_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit17 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit17
as a double

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้เพื่อการค้า  
 ไม่ว่าการใช้เอกสารนี้ในลักษณะอื่น ๆ ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit17_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit18_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit18 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit18
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit19_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit19 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit19
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit19_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น See ISPC and COMPUTER. และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

end

```
function edit20_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit20 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit20
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit20_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
```

```
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit21_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit21 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit21 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit21
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit21_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit21 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
```

```
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
function edit22_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit22 (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit22 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit22
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit22_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit22 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit23_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit23 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit23 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit23
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit23_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit23 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit24_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit24 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit24 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit24
as a double
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit24_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit24 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit25_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit25 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit25 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit25
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit25_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit25 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit26_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit26 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit26 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit26
as a double

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าท่านเป็นเจ้าของข้อมูลและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit26_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit26 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit27_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit27 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit27 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit27
as a double

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

Function edit27_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit27 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit28_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit28 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit28 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit28
as a double

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

Function edit28_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit28 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครู-อาจารย์ที่สอนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit29_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit29 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit29 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit29
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit29_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit29 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit30_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit30 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit30 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit30
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit30_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit30 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเผยแพร่โดยไม่หวังผลตอบแทน  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ  
เจ้าหน้าที่ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function edit31_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit31 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit31 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit31
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

Function edit31_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit31 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit32_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit32 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit32 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit32
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

Function edit32_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit32 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function edit33_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit33 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit33 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit33
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit33_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit33 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
```

```
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit34_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit34 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit34 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit34
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit34_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit34 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
```

```
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit35_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit35 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit35 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit35
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```

Function edit35_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit35 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit36_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit36 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit36 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit36
as a double

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

Function edit36_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit36 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit37_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit37 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit37 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit37
as a double

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

Function edit37_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit37 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit38_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit38 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit38 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit38
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit38_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit38 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit39_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit39 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit39 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit39
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit39_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to edit39 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

เอกสารนี้เป็นของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ไม่ว่าการคัดลอกหรือการนำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function edit40_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit40 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit40 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit40
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

Function edit40_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject      handle to edit40 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

% See ISPC and COMPUTER.

```

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),

```

```

get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))

```

```

    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```

end

```

```

function edit41_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject      handle to edit41 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit41 as text

```

```

%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit41
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

Function edit41_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject      handle to edit41 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

% See ISPC and COMPUTER.

```

```

If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),

```

```

get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))

```

```

    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```

end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function edit42_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject      handle to edit42 (see GCBO)

```

```

% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit42 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit42
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit42_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit42 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
```

```
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit43_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit43 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit43 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit43
as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit43_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit43 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
```

```
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit44_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit44 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit44 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit44
as a double
```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
Function edit44_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit44 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
If ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

## 2. โค้ด M-file ของการวิเคราะห์ด้วยวิธีสวานนีโพล (Swanepoel)

```

function 24aculate(files, handles)
clc;
format long
% const
Ts = 0.9;

% read excel
data = xlsread(files, 1, 'A1:B2358');

ns = 1/Ts + sqrt((1/(Ts^2) - 1));
M = smooth(data(:, 2), 40); % second column data
N = data(:, 1); % first column data
[TM ind_mx] = max(M); % max second column data
[Tm ind_mn] = min(M); % max first column data
Q = (2*ns*((TM - Tm) / (TM*Tm))) + ((ns^2 + 1) / 2);
n = sqrt(Q + sqrt(Q^2 - ns^2));

% show graph
axes(handles.axes1);
threshold = 10;
plot(N, M);

[maxtab, mintab] = peakdet(M, threshold, N);
hold on;
plot(mintab(:,1), mintab(:,2), 'go-', 'linewidth', 2);
plot(maxtab(:,1), maxtab(:,2), 'rs-', 'linewidth', 2);

for i = 1 : 10
    text(maxtab(i,1), maxtab(i,2) - 1, ['TM \ num2str(i)']);
end
for i = 1 : 9
    text(mintab(i,1), mintab(i,2) - 1, ['Tm \ num2str(i)']);
end
data_Mx = maxtab(:, 2);
data_Mn = mintab(:, 2);

A = abs(diff(data_Mx));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

[Mn ind] = min(A);
TM1 = data_Mx(ind);
TM2 = data_Mx(ind+1);
lamda1 = maxtab(ind, 1);
lamda2 = maxtab(ind+1, 1);
Tm1 = data_Mn(ind-1);
Tm2 = data_Mn(ind);

Q1 = (2*ns*((TM1 - Tm1) / (TM1*Tm1))) + ((ns^2 + 1) / 2);
Q2 = (2*ns*((TM2 - Tm2) / (TM2*Tm2))) + ((ns^2 + 1) / 2);

n1 = sqrt(Q1 + sqrt(Q1^2 - ns^2));
n2 = sqrt(Q2 + sqrt(Q2^2 - ns^2));

d = (lamda1 * lamda2) / (2*(n2*lamda2 - n1*lamda1));

Ti = (2*TM*Tm) / (TM + Tm);
F = (8*n^2*ns) / (Ti);
C = sqrt(F^2 - (n^2 - 1)^3 * (n^2 - ns^4));
x = (F - C) / ((n - 1)^3 * (n - ns^2));

lamda = N(ind_mx);
k = (-1) * ((lamda)/4*pi*d) * log(x);

% show value in textbox
set(handles.edit1, 'String', num2str(ns));
set(handles.edit2, 'String', num2str(n));
set(handles.edit3, 'String', num2str(k));
set(handles.edit4, 'String', num2str(d));

% All peak

% set Ts
Ts_peak1 = 0.7961;
Ts_peak2 = 0.8254;
Ts_peak3 = 0.8155;
Ts_peak4 = 0.8494;
Ts_peak5 = 0.8331;
Ts_peak6 = 0.8517;
Ts_peak7 = 0.8704;
Ts_peak8 = 0.8672;

% peak 1
ns_peak1 = 1/Ts_peak1 + sqrt((1/(Ts_peak1^2) - 1));

if M(2) > M(3)
    TM_peak1 = M(2);
    Tm_peak1 = M(3);
    ind_mx = 1;
else
    TM_peak1 = M(3);
    Tm_peak1 = M(2);
    ind_mx = 2;
end

Q_peak1 = (2*ns_peak1*((TM_peak1 - Tm_peak1) / (TM_peak1 *
Tm_peak1))) + ((ns_peak1^2 + 1) / 2);
n_peak1 = sqrt(Q + sqrt(Q^2 - ns^2));

```

เอกสารนี้เป็น end การที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม การนำเอกสารฉบับนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางผู้จัดทำเอกสารฉบับนี้เป็นการนำไปใช้

```

TM1_peak1 = data_Mx(2);
TM2_peak1 = data_Mx(3);
lamda1_peak1 = maxtab(2, 1);
lamda2_peak1 = maxtab(3, 1);
Tm1_peak1 = data_Mn(1);
Tm2_peak1 = data_Mn(2);

Q1_peak1 = (2*ns_peak1*((TM1_peak1 - Tm1_peak1) / (TM1_peak1 *
Tm1_peak1))) + ((ns_peak1^2 + 1) / 2);
Q2_peak1 = (2*ns_peak1*((TM2_peak1 - Tm2_peak1) / (TM2_peak1 *
Tm2_peak1))) + ((ns_peak1^2 + 1) / 2);

n1_peak1 = sqrt(Q1_peak1 + sqrt(Q1_peak1^2 - ns_peak1^2));
n2_peak1 = sqrt(Q2_peak1 + sqrt(Q2_peak1^2 - ns_peak1^2));

d_peak1 = (lamda1_peak1 * lamda2_peak1) / (2*(n2_peak1 *
lamda2_peak1 - n1_peak1 * lamda1_peak1));

Ti = (2 * TM_peak1 * Tm_peak1) / (TM_peak1 + Tm_peak1);
F = (8 * n_peak1^2 * ns_peak1) / (Ti);
C = sqrt(F^2 - (n_peak1^2 - 1)^3 * (n_peak1^2 - ns_peak1^4));
x_peak1 = (F - C) / ((n_peak1 - 1)^3 * (n_peak1 - ns_peak1^2));

lamda = N(ind_mx);
k_peak1 = (-1) * ((lamda)/4*pi*d) * log(x);

set(handles.edit5, 'String', num2str(ns_peak1));
set(handles.edit6, 'String', num2str(n_peak1));
set(handles.edit7, 'String', num2str(k_peak1));
set(handles.edit8, 'String', num2str(d_peak1));

% peak 2
ns_peak2 = 1/Ts_peak2 + sqrt((1/(Ts_peak2^2) - 1));

if M(3) > M(4)
    TM_peak2 = M(3);
    Tm_peak2 = M(4);
    ind_mx = 2;
else
    TM_peak2 = M(4);
    Tm_peak2 = M(3);
    ind_mx = 3;
end

Q_peak2 = (2*ns_peak2 * ((TM_peak2 - Tm_peak2) / (TM_peak2 *
Tm_peak2))) + ((ns_peak2^2 + 1) / 2);
n_peak2 = sqrt(Q + sqrt(Q^2 - ns^2));

TM1_peak2 = data_Mx(3);
TM2_peak2 = data_Mx(4);
lamda1_peak2 = maxtab(3, 1);
lamda2_peak2 = maxtab(4, 1);
Tm1_peak2 = data_Mn(2);
Tm2_peak2 = data_Mn(3);
Q1_peak2 = (2*ns_peak2*((TM1_peak2 - Tm1_peak2) / (TM1_peak2 *
Tm1_peak2))) + ((ns_peak2^2 + 1) / 2);
Q2_peak2 = (2*ns_peak2*((TM2_peak2 - Tm2_peak2) / (TM2_peak2 *
Tm2_peak2))) + ((ns_peak2^2 + 1) / 2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาแจ้งที่มาของเอกสารฉบับนี้แก่ผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาส

Q1\_peak2 = (2\*ns\_peak2\*((TM1\_peak2 - Tm1\_peak2) / (TM1\_peak2 \*  
Tm1\_peak2))) + ((ns\_peak2^2 + 1) / 2);  
Q2\_peak2 = (2\*ns\_peak2\*((TM2\_peak2 - Tm2\_peak2) / (TM2\_peak2 \*  
Tm2\_peak2))) + ((ns\_peak2^2 + 1) / 2);

```

n1_peak2 = sqrt(Q1_peak2 + sqrt(Q1_peak2^2 - ns_peak2^2));
n2_peak2 = sqrt(Q2_peak2 + sqrt(Q2_peak2^2 - ns_peak2^2));

d_peak2 = (lamda1_peak2 * lamda2_peak2) / (2*(n2_peak2 *
lamda2_peak2 - n1_peak2 * lamda1_peak2));

Ti = (2 * TM_peak2 * Tm_peak2) / (TM_peak2 + Tm_peak2);
F = (8 * n_peak2^2 * ns_peak2) / (Ti);
C = sqrt(F^2 - (n_peak2^2 - 1)^3 * (n_peak2^2 - ns_peak2^4));
x_peak2 = (F - C) / ((n_peak2 - 1)^3 * (n_peak2 - ns_peak2^2));

lamda = N(ind_mx);
k_peak2 = (-1) * ((lamda)/4*pi*d) * log(x);

set(handles.edit9, 'String', num2str(ns_peak2));
set(handles.edit10, 'String', num2str(n_peak2));
set(handles.edit11, 'String', num2str(k_peak2));
set(handles.edit12, 'String', num2str(d_peak2));

% peak 3
ns_peak3 = 1/Ts_peak3 + sqrt((1/(Ts_peak3^2) - 1));

if M(4) > M(5)
    TM_peak3 = M(4);
    Tm_peak3 = M(5);
    ind_mx = 4;
else
    TM_peak3 = M(5);
    Tm_peak3 = M(4);
    ind_mx = 5;
end

Q_peak3 = (2*ns_peak3 * ((TM_peak3 - Tm_peak3) / (TM_peak3 *
Tm_peak3))) + ((ns_peak3^2 + 1) / 2);
n_peak3 = sqrt(Q + sqrt(Q^2 - ns^2));

TM1_peak3 = data_Mx(4);
TM2_peak3 = data_Mx(5);
lamda1_peak3 = maxtab(4, 1);
lamda2_peak3 = maxtab(5, 1);
Tm1_peak3 = data_Mn(3);
Tm2_peak3 = data_Mn(4);

Q1_peak3 = (2*ns_peak3*((TM1_peak3 - Tm1_peak3) / (TM1_peak3 *
Tm1_peak3))) + ((ns_peak3^2 + 1) / 2);
Q2_peak3 = (2*ns_peak3*((TM2_peak3 - Tm2_peak3) / (TM2_peak3 *
Tm2_peak3))) + ((ns_peak3^2 + 1) / 2);

n1_peak3 = sqrt(Q1_peak3 + sqrt(Q1_peak3^2 - ns_peak3^2));
n2_peak3 = sqrt(Q2_peak3 + sqrt(Q2_peak3^2 - ns_peak3^2));

d_peak3 = (lamda1_peak3 * lamda2_peak3) / (2*(n2_peak3 *
lamda2_peak3 - n1_peak3 * lamda1_peak3));

Ti = (2 * TM_peak3 * Tm_peak3) / (TM_peak3 + Tm_peak3);
F = (8 * n_peak3^2 * ns_peak3) / (Ti);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อสงสัยประการใด กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
C = sqrt(F^2 - (n_peak3^2 - 1)^3 * (n_peak3^2 - ns_peak3^4));
x_peak3 = (F - C) / ((n_peak3 - 1)^3 * (n_peak3 - ns_peak3^2));
```

```
lamda = N(ind_mx);
k_peak3 = (-1) * ((lamda)/4*pi*d) * log(x);
```

```
set(handles.edit13, 'String', num2str(ns_peak3));
set(handles.edit14, 'String', num2str(n_peak3));
set(handles.edit15, 'String', num2str(k_peak3));
set(handles.edit16, 'String', num2str(d_peak3));
```

#### § peak 4

```
ns_peak4 = 1/Ts_peak4 + sqrt((1/(Ts_peak4^2) - 1));
```

```
if M(5) > M(6)
    TM_peak4 = M(5);
    Tm_peak4 = M(6);
    ind_mx = 5;
```

```
else
    TM_peak4 = M(6);
    Tm_peak4 = M(5);
    ind_mx = 6;
```

```
end
```

```
Q_peak4 = (2*ns_peak4 * ((TM_peak4 - Tm_peak4) / (TM_peak4 *
Tm_peak4))) + ((ns_peak4^2 + 1) / 2);
n_peak4 = sqrt(Q + sqrt(Q^2 - ns^2));
```

```
TM1_peak4 = data_Mx(5);
TM2_peak4 = data_Mx(6);
lamda1_peak4 = maxtab(5, 1);
lamda2_peak4 = maxtab(6, 1);
Tm1_peak4 = data_Mn(4);
Tm2_peak4 = data_Mn(5);
```

```
Q1_peak4 = (2*ns_peak4*((TM1_peak4 - Tm1_peak4) / (TM1_peak4 *
Tm1_peak4))) + ((ns_peak4^2 + 1) / 2);
Q2_peak4 = (2*ns_peak4*((TM2_peak4 - Tm2_peak4) / (TM2_peak4 *
Tm2_peak4))) + ((ns_peak4^2 + 1) / 2);
```

```
n1_peak4 = sqrt(Q1_peak4 + sqrt(Q1_peak4^2 - ns_peak4^2));
n2_peak4 = sqrt(Q2_peak4 + sqrt(Q2_peak4^2 - ns_peak4^2));
```

```
d_peak4 = (lamda1_peak4 * lamda2_peak4) / (2*(n2_peak4 *
lamda2_peak4 - n1_peak4 * lamda1_peak4));
```

```
Ti = (2 * TM_peak4 * Tm_peak4) / (TM_peak4 + Tm_peak4);
F = (8 * n_peak4^2 * ns_peak4) / (Ti);
C = sqrt(F^2 - (n_peak4^2 - 1)^3 * (n_peak4^2 - ns_peak4^4));
x_peak4 = (F - C) / ((n_peak4 - 1)^3 * (n_peak4 - ns_peak4^2));
```

```
lamda = N(ind_mx);
k_peak4 = (-1) * ((lamda)/4*pi*d) * log(x);
```

```
set(handles.edit17, 'String', num2str(ns_peak4));
set(handles.edit18, 'String', num2str(n_peak4));
set(handles.edit19, 'String', num2str(k_peak4));
set(handles.edit20, 'String', num2str(d_peak4));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และขอสงวนสิทธิ์ในการนำเทคโนโลยีไปใช้

```

% peak 5
ns_peak5 = 1/Ts_peak5 + sqrt((1/(Ts_peak5^2) - 1));

if M(6) > M(7)
    TM_peak5 = M(6);
    Tm_peak5 = M(7);
    ind_mx = 6;
else
    TM_peak5 = M(7);
    Tm_peak5 = M(6);
    ind_mx = 7;
end

Q_peak5 = (2*ns_peak5 * ((TM_peak5 - Tm_peak5) / (TM_peak5 *
Tm_peak5))) + ((ns_peak5^2 + 1) / 2);
n_peak5 = sqrt(Q + sqrt(Q^2 - ns^2));

TM1_peak5 = data_Mx(6);
TM2_peak5 = data_Mx(7);
lamda1_peak5 = maxtab(6, 1);
lamda2_peak5 = maxtab(7, 1);
Tm1_peak5 = data_Mn(5);
Tm2_peak5 = data_Mn(6);

Q1_peak5 = (2*ns_peak5*((TM1_peak5 - Tm1_peak5) / (TM1_peak5 *
Tm1_peak5))) + ((ns_peak5^2 + 1) / 2);
Q2_peak5 = (2*ns_peak5*((TM2_peak5 - Tm2_peak5) / (TM2_peak5 *
Tm2_peak5))) + ((ns_peak5^2 + 1) / 2);

n1_peak5 = sqrt(Q1_peak5 + sqrt(Q1_peak5^2 - ns_peak5^2));
n2_peak5 = sqrt(Q2_peak5 + sqrt(Q2_peak5^2 - ns_peak5^2));

d_peak5 = (lamda1_peak5 * lamda2_peak5) / (2*(n2_peak5 *
lamda2_peak5 - n1_peak5 * lamda1_peak5));

Ti = (2 * TM_peak5 * Tm_peak5) / (TM_peak5 + Tm_peak5);
F = (8 * n_peak5^2 * ns_peak5) / (Ti);
C = sqrt(F^2 - (n_peak5^2 - 1)^3 * (n_peak5^2 - ns_peak5^4));
x_peak5 = (F - C) / ((n_peak5 - 1)^3 * (n_peak5 - ns_peak5^2));

lamda = N(ind_mx);
k_peak5 = (-1) * ((lamda)/4*pi*d) * log(x);

set(handles.edit21, 'String', num2str(ns_peak5));
set(handles.edit22, 'String', num2str(n_peak5));
set(handles.edit23, 'String', num2str(k_peak5));
set(handles.edit24, 'String', num2str(d_peak5));

```

```

% peak 6
ns_peak6 = 1/Ts_peak6 + sqrt((1/(Ts_peak6^2) - 1));

```

```

if M(7) > M(8)
    TM_peak6 = M(7);
    Tm_peak6 = M(8);
    ind_mx = 7;
else
    TM_peak6 = M(8);
    Tm_peak6 = M(7);
    ind_mx = 8;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่อนุญาตให้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากท่านมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end

Q_peak6 = (2*ns_peak6 * ((TM_peak6 - Tm_peak6) / (TM_peak6 *
Tm_peak6))) + ((ns_peak6^2 + 1) / 2);
n_peak6 = sqrt(Q + sqrt(Q^2 - ns^2));

TM1_peak6 = data_Mx(7);
TM2_peak6 = data_Mx(8);
lamda1_peak6 = maxtab(7, 1);
lamda2_peak6 = maxtab(8, 1);
Tm1_peak6 = data_Mn(6);
Tm2_peak6 = data_Mn(7);

Q1_peak6 = (2*ns_peak6*((TM1_peak6 - Tm1_peak6) / (TM1_peak6 *
Tm1_peak6))) + ((ns_peak6^2 + 1) / 2);
Q2_peak6 = (2*ns_peak6*((TM2_peak6 - Tm2_peak6) / (TM2_peak6 *
Tm2_peak6))) + ((ns_peak6^2 + 1) / 2);

n1_peak6 = sqrt(Q1_peak6 + sqrt(Q1_peak6^2 - ns_peak6^2));
n2_peak6 = sqrt(Q2_peak6 + sqrt(Q2_peak6^2 - ns_peak6^2));

d_peak6 = (lamda1_peak6 * lamda2_peak6) / (2*(n2_peak6 *
lamda2_peak6 - n1_peak6 * lamda1_peak6));

Ti = (2 * TM_peak6 * Tm_peak6) / (TM_peak6 + Tm_peak6);
F = (8 * n_peak6^2 * ns_peak6) / (Ti);
C = sqrt(F^2 - (n_peak6^2 - 1)^3 * (n_peak6^2 - ns_peak6^4));
x_peak6 = (F - C) / ((n_peak6 - 1)^3 * (n_peak6 - ns_peak6^2));

lamda = N(ind_mx);
k_peak6 = (-1) * ((lamda)/4*pi*d) * log(x);

set(handles.edit25, 'String', num2str(ns_peak6));
set(handles.edit26, 'String', num2str(n_peak6));
set(handles.edit27, 'String', num2str(k_peak6));
set(handles.edit28, 'String', num2str(d_peak6));

% peak 7
ns_peak7 = 1/Ts_peak7 + sqrt((1/(Ts_peak7^2) - 1));

if M(8) > M(9)
    TM_peak7 = M(8);
    Tm_peak7 = M(9);
    ind_mx = 8;
else
    TM_peak7 = M(9);
    Tm_peak7 = M(8);
    ind_mx = 9;
end

Q_peak7 = (2*ns_peak7 * ((TM_peak7 - Tm_peak7) / (TM_peak7 *
Tm_peak7))) + ((ns_peak7^2 + 1) / 2);
n_peak7 = sqrt(Q + sqrt(Q^2 - ns^2));

TM1_peak7 = data_Mx(8);
TM2_peak7 = data_Mx(9);
lamda1_peak7 = maxtab(8, 1);
lamda2_peak7 = maxtab(9, 1);
Tm1_peak7 = data_Mn(7);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้จัดทำขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Tm2_peak7 = data_Mn(8);

Q1_peak7 = (2*ns_peak7*((TM1_peak7 - Tm1_peak7) / (TM1_peak7 *
Tm1_peak7))) + ((ns_peak7^2 + 1) / 2);
Q2_peak7 = (2*ns_peak7*((TM2_peak7 - Tm2_peak7) / (TM2_peak7 *
Tm2_peak7))) + ((ns_peak7^2 + 1) / 2);

n1_peak7 = sqrt(Q1_peak7 + sqrt(Q1_peak7^2 - ns_peak7^2));
n2_peak7 = sqrt(Q2_peak7 + sqrt(Q2_peak7^2 - ns_peak7^2));

d_peak7 = (lamda1_peak7 * lamda2_peak7) / (2*(n2_peak7 *
lamda2_peak7 - n1_peak7 * lamda1_peak7));

Ti = (2 * TM_peak7 * Tm_peak7) / (TM_peak7 + Tm_peak7);
F = (8 * n_peak7^2 * ns_peak7) / (Ti);
C = sqrt(F^2 - (n_peak7^2 - 1)^3 * (n_peak7^2 - ns_peak7^4));
x_peak7 = (F - C) / ((n_peak7 - 1)^3 * (n_peak7 - ns_peak7^2));

lamda = N(ind_mx);
k_peak7 = (-1) * ((lamda)/4*pi*d) * log(x);

set(handles.edit29, 'String', num2str(ns_peak7));
set(handles.edit30, 'String', num2str(n_peak7));
set(handles.edit31, 'String', num2str(k_peak7));
set(handles.edit32, 'String', num2str(d_peak7));

% peak 8
ns_peak8 = 1/Ts_peak8 + sqrt((1/(Ts_peak8^2) - 1));

if M(9) > M(10)
    TM_peak8 = M(9);
    Tm_peak8 = M(10);
    ind_mx = 9;
else
    TM_peak8 = M(10);
    Tm_peak8 = M(9);
    ind_mx = 10;
end

Q_peak8 = (2*ns_peak8 * ((TM_peak8 - Tm_peak8) / (TM_peak8 *
Tm_peak8))) + ((ns_peak8^2 + 1) / 2);
n_peak8 = sqrt(Q + sqrt(Q^2 - ns^2));

TM1_peak8 = data_Mx(9);
TM2_peak8 = data_Mx(10);
lamda1_peak8 = maxtab(9, 1);
lamda2_peak8 = maxtab(10, 1);
Tm1_peak8 = data_Mn(8);
Tm2_peak8 = data_Mn(9);

Q1_peak8 = (2*ns_peak8*((TM1_peak8 - Tm1_peak8) / (TM1_peak8 *
Tm1_peak8))) + ((ns_peak8^2 + 1) / 2);
Q2_peak8 = (2*ns_peak8*((TM2_peak8 - Tm2_peak8) / (TM2_peak8 *
Tm2_peak8))) + ((ns_peak8^2 + 1) / 2);

n1_peak8 = sqrt(Q1_peak8 + sqrt(Q1_peak8^2 - ns_peak8^2));
n2_peak8 = sqrt(Q2_peak8 + sqrt(Q2_peak8^2 - ns_peak8^2));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารภายในส่วนราชการสงวนลิขสิทธิ์หากท่านไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือทั้งห้าฉบับให้ด้อยแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

d_peak8 = (lamda1_peak8 * lamda2_peak8) / (2*(n2_peak8 *
lamda2_peak8 - n1_peak8 * lamda1_peak8));

Ti = (2 * TM_peak8 * Tm_peak8) / (TM_peak8 + Tm_peak8);
F = (8 * n_peak8^2 * ns_peak8) / (Ti);
C = sqrt(F^2 - (n_peak8^2 - 1)^3 * (n_peak8^2 - ns_peak8^4));
x_peak8 = (F - C) / ((n_peak8 - 1)^3 * (n_peak8 - ns_peak8^2));

lamda = N(ind_mx);
k_peak8 = (-1) * ((lamda)/4*pi*d) * log(x);

set(handles.edit33, 'String', num2str(ns_peak8));
set(handles.edit34, 'String', num2str(n_peak8));
set(handles.edit35, 'String', num2str(k_peak8));
set(handles.edit36, 'String', num2str(d_peak8));

```

### 3. โค้ด M-file ของการหาค่าจุดสูงสุด $T_M$ และจุดต่ำสุด $T_m$

```

function [maxtab, mintab]=peakdet(v, delta, x)
%PEAKDET Detect peaks in a vector
%
% [MAXTAB, MINTAB] = PEAKDET(V, DELTA) finds the local
% maxima and minima ("peaks") in the vector V.
%
% MAXTAB and MINTAB consists of two columns. Column 1
% contains indices in V, and column 2 the found values.
%
% With [MAXTAB, MINTAB] = PEAKDET(V, DELTA, X) the indices
% in MAXTAB and MINTAB are replaced with the corresponding
% X-values.
%
% A point is considered a maximum peak if it has the maximal
% value, and was preceded (to the left) by a value lower by
% DELTA.

Maxtab = [];
mintab = [];

v = v(⊙); % Just in case this wasn't a proper vector

if nargin < 3
    x = (1:length(v))';
else
    x = x(⊙);
    if length(v)~= length(x)
        error('Input vectors v and x must have same length');
    end
end

if (length(delta(⊙)))>1
    error('Input argument DELTA must be a scalar');
end

if delta <= 0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และขออภัยที่มิอาจแจ้งให้ทราบล่วงหน้าได้

```

    error('Input argument DELTA must be positive');
end

mn = Inf; mx = -Inf;
mnpos = NaN; mxpos = NaN;

lookformax = 1;

for i=1:length(v)
    this = v(i);
    if this > mx, mx = this; mxpos = x(i); end
    if this < mn, mn = this; mnpos = x(i); end

    if lookformax
        if this < mx-delta
            maxtab = [maxtab ; mxpos mx];
            mn = this; mnpos = x(i);
            lookformax = 0;
        end
    else
        if this > mn+delta
            mintab = [mintab ; mnpos mn];
            mx = this; mxpos = x(i);
            lookformax = 1;
        end
    end
end
end

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้