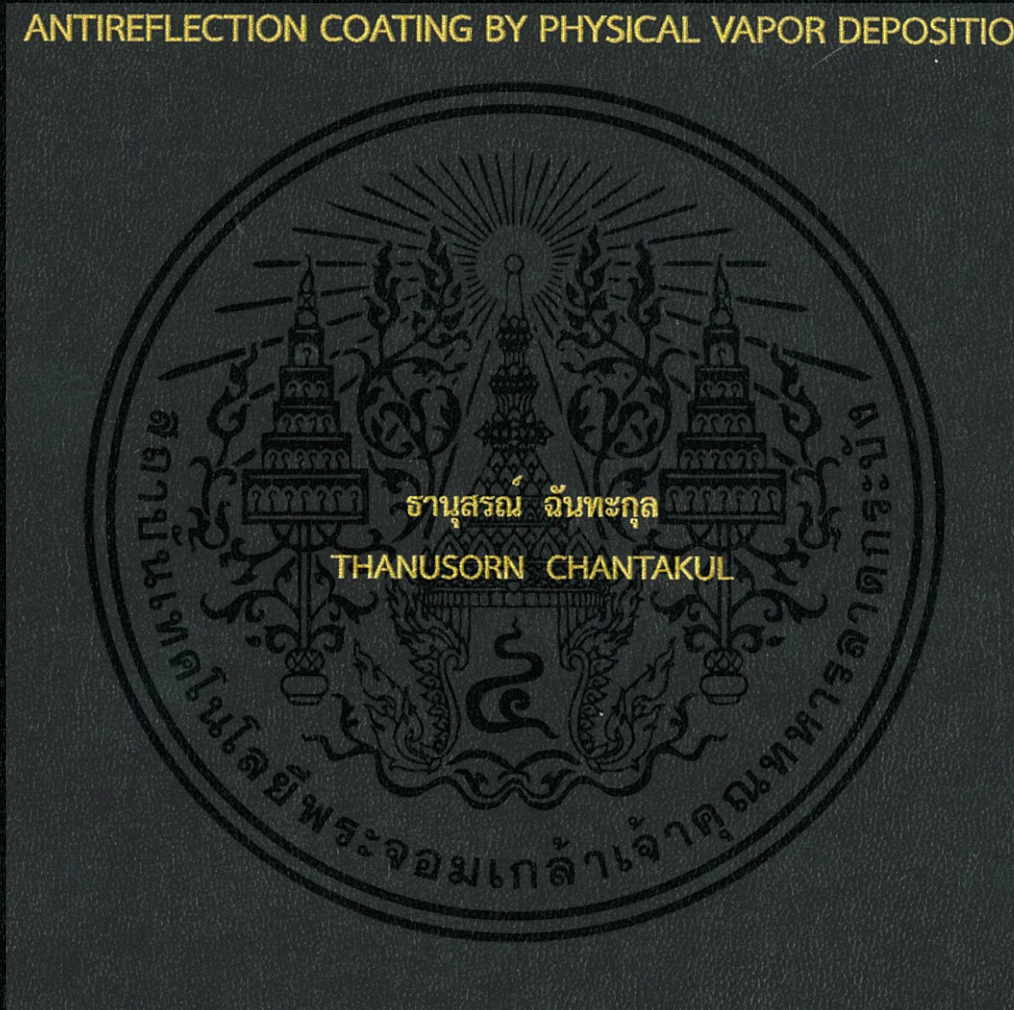


การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทะลุผ่านของการเคลือบแบบลดแสงสะท้อน
โดยกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็ง

A STUDY ON FACTORS THAT AFFECT TRANSMITTANCE SPECTRAL OF
ANTIREFLECTION COATING BY PHYSICAL VAPOR DEPOSITION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-217-107

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทะลุผ่านของการเคลือบแบบลดแสงสะท้อน
โดยกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็ง

A STUDY ON FACTORS THAT AFFECT TRANSMITTANCE SPECTRAL OF
ANTIREFLECTION COATING BY PHYSICAL VAPOR DEPOSITION



T145906

ธานุสรณ์ ฉันทะกุล
THANUSORN CHANTAKUL

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....145906
วันเดือนปี.....27 ส.ค. 2560

b.12835584
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-217-107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON FACTORS THAT AFFECT TRANSMITTANCE SPECTRAL OF
ANTIREFLECTION COATING BY PHYSICAL VAPOR DEPOSITION



THANUSORN CHANTAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-M-217-107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราการทะลุผ่านของการเคลือบแบบลดแสงสะท้อน โดยกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็ง

Thesis Title A Study on Factors that Affect Transmittance Spectral of Antireflection Coating by Physical Vapor Deposition

นักศึกษา นายชานุสรณ์ ฉันทะกุล

รหัสประจำตัว 56601102

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชุมพล ยวงใย


หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M- 217-107

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ทศพล	เกียรติเจริญผล	ทศพล
ผศ.ดร.กิตติวัฒน์	สิริเกษมสุข	กิตติวัฒน์
ผศ.ดร.บรรหาญ	ลีลา	บรรหาญ
ดร.นิรันดร์	พิสุทธอานนท์	นิรันดร์
ผศ.ดร.ชุมพล	ยวงใย	ชุมพล ยวงใย

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 24 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ห้อง E12-403

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปขอเอาต์พุตไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ฉบับตี คณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 24 พฤษภาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทะลุผ่านของการเคลือบแบบลดแสงสะท้อนโดยกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็ง
นักศึกษา	นายธานุสรณ์ ฉันทะกุล
รหัสประจำตัว	56601102
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ชุมพล ยวงโย

บทคัดย่อ

ในการผลิตตัวกรองเชิงแสงโดยใช้กระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็ง อัตราการทะลุผ่านของแสงเฉื่อยที่ถูกวัดบริเวณตรงกลางเท่านั้นที่ถูกนำไปใช้เพื่อชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสงของตัวกรอง แต่ยังไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลคุณภาพได้ทั่วทั้งพื้นที่การเคลือบของตัวกรอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอตัวชี้วัดเพิ่มเติม ได้แก่ ผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งการทะลุผ่านของแสงระหว่างการออกแบบกับการเคลือบจริงและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการทะลุผ่านของแสงภายในฐานรองรับแก้ว นอกจากนี้การศึกษาปัจจัยในกระบวนการผลิตและการตั้งค่าที่เหมาะสมของทั้ง 5 ปัจจัย ได้แก่ ระดับสุญญากาศ อัตราความเร็วของการเคลือบสารโททานีเยมเพนทอกไซด์ อัตราความเร็วของการเคลือบสารซิลิกอนไดออกไซด์ อุณหภูมิของฐานรองรับและความดันก๊าซออกซิเจน การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2^{5-2} และวิธีส่วนประสมกลาง ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาผลกระทบต่อตัวชี้วัดทั้งสอง จากผลการทดลองพบว่าอัตราความเร็วของการเคลือบสารโททานีเยมเพนทอกไซด์กับความดันก๊าซออกซิเจนส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ การกำหนดอัตราความเร็วของสารเคลือบโททานีเยมเพนทอกไซด์ที่ 2.1 อังสตรอมต่อวินาทีและความดันก๊าซออกซิเจนที่ 0.033 ปาสคาล จะทำให้ผลตอบสนองทั้งสองมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด และจากการทดลองเพื่อยืนยันผล ค่าเฉลี่ยของผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมและค่าเฉลี่ยของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ $1,131 \%T \cdot nm$ และ $0.1139 \%T$ ตามลำดับ

Thesis	A STUDY ON FACTORS THAT AFFECT TRANSMITTANCE OF ANTIREFLECTION COATING BY PHYSICAL VAPOR DEPOSITION
Student	Mr.Thanusorn Chantakul
Student ID.	56601102
Degree	Master of Engineering
Program	Industrial Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assistant Prof. Dr.Chumpol Yuangyai

ABSTRACT

In the manufacturing of optical filter using physical vapor deposition process, only the average rate of transmission of light at the center is considered for a filter characteristic. However, it is not sufficient to be represented the quality of an entire filter area. Therefore, this research proposes two additional quality characteristics; namely the difference between the area under two transmission curves of design and actual result, and the standard deviation of transmission ratio within glass substrate. In addition, five manufacturing factors and their optimal settings are studied. The five factors include a vacuum level, a coated rate of titanium pentoxide, a coated rate of silicon dioxide, a temperature of glass substrate, and an oxygen pressure. A 2^{5-2} fractional factorial experiment and a central composite design are used to investigate their effects to the two proposed characteristics. Experimental results indicate that the coated rate of titanium pentoxide, and the oxygen pressure are statistically significant. An operating condition in manufacturing process are selected at the coated rate titanium pentoxide at $2.1 \text{ \AA}/s$, and oxygen pressure at 0.033 Pa . This condition provides both characteristics close to zero. Consequently, a confirmation run is performed. The difference between the area under two transmission curves, and the standard deviation of transmission ratio are $1,131 \%T \cdot nm$ and $0.1139 \%T$, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชุมพล ยวงโย ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในทุกขั้นตอน เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ที่สุด ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆ ตลอดช่วงเวลาที่ศึกษาในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำ วิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบุคลากรประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เจ้าหน้าที่บัณฑิตศึกษา คณะ วิศวกรรมศาสตร์ และเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณพิรญาณ์ แก้วสุวรรณ นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำในการนำเสนอรายงานการประชุม วิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการ ขอขอบคุณ คุณดวงดาว โหมตวิฒนะ คุณสุริยพงศ์ นิลสังข์และ น้องๆ นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา และครู อาจารย์ทุกท่านที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ต่างๆ แก่ข้าพเจ้า และผู้มีพระคุณทุก ท่าน

ธานุสรณ์ ฉันทะกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	5
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 คุณสมบัติเชิงแสงและตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสงของตัวกรอง.....	7
2.2 การเคลือบแบบลดแสงสะท้อน.....	9
2.3 การเคลือบสารโดยการระเหยของแข็งด้วยลำอิเล็กตรอน.....	10
2.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด.....	14
2.4.1 ความสามารถระบบการวัด.....	14
2.4.2 การวางแผนศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของระบบการวัด.....	15
2.4.3 การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและวัดเหมือนของ	
เครื่องมือวัด.....	17
2.4.4 การวิเคราะห์ผลการศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและวัดเหมือนของเครื่องมือวัด.....	17
2.5 การออกแบบการทดลอง.....	18
2.5.1 การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียล.....	20
2.5.2 วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 ฟังก์ชันความพึงพอใจ.....	28
2.5.4 ช่วงความเชื่อมั่นของผลตอบสนองเฉลี่ย.....	29
2.5.5 การพยากรณ์ค่าตัวแปรตอบสนองของค่าสังเกตใหม่.....	30
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	31
3.1 การกำหนดตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสง.....	32
3.1.1 ผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมระหว่างการออกแบบกับการเคลือบจริง.....	32
3.1.2 ความผันแปรของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสง.....	34
3.2 การเคลือบฟิล์มบางและเตรียมอุปกรณ์ในงานวิจัย.....	35
3.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด.....	39
3.3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....	39
3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิเคราะห์ระบบการวัด.....	40
3.3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	41
3.4 การกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลและกำหนดตัวแปรตอบสนอง.....	41
3.4.1 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลอง.....	41
3.4.2 ตัวแปรตอบสนอง.....	41
3.5 การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น.....	42
3.6 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด.....	42
3.7 การทดลองเพื่อยืนยันผลและสรุปผลการทดลอง.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	44
4.1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด.....	44
4.2 ผลการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น.....	47
4.2.1 ผลการคำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง.....	49
4.3 ผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด.....	52
4.3.1 การประมวลผลด้วยวิธีความลาดชันที่สุด.....	52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2 การวิเคราะห์เพื่อหาเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง	54
4.3.3 การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับผลตอบสนองทั้งสองแบบ	61
4.4 การทดลองเพื่อยืนยันผลจากเงื่อนไขค่าที่เหมาะสม	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลวิจัย	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างคำสั่ง MATLAB	72
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการวัดอัตราการทะลุผ่านเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบการวัด	73
ภาคผนวก ค. ข้อมูลการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสง	75
ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	223
ประวัติผู้เขียน	226

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เกณฑ์ในการยอมรับความสามารถระบบการวัด	18
2.2 แสดงเครื่องหมายบวกและลบสำหรับ 2^2 แพคตอเรียล	22
3.1 รายละเอียดของขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบาง	36
3.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น	41
3.3 ปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย	42
4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนระบบการวัด	44
4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนระบบการวัด (ลดรูป)	45
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ระบบการวัด	47
4.4 โครงสร้างซ้ำซ้อน	48
4.5 รูปแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น	48
4.6 ผลการคำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งการทะลุผ่านของแสง	49
4.7 ผลการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น	50
4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ลดรูป) ของตัวแปรตอบสนอง Y_A	51
4.9 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีความลาดชันที่สุดและผลการทดลอง	53
4.10 แสดงระดับปัจจัยในการทดลองด้วยวิธีส่วนประสมกลาง	54
4.11 การออกแบบและผลตอบสนองจากการทดลอง	55
4.12 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง ผลตอบสนอง Y_A	56
4.13 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง ผลตอบสนอง Y_B	58
4.14 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง ผลตอบสนอง Y_B (ตัดข้อมูล OUTLIER)	59
4.15 ช่วงการพยากรณ์และช่วงความเชื่อมั่นของผลตอบสนองเฉลี่ย Y_A และ Y_B	63
4.16 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย	63
4.17 ผลตอบสนอง Y_A และ Y_B ที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผล	64
ข.1 ข้อมูลการวัดอัตราการทะลุผ่านเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบการวัด	73
ค.1 ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านจากการออกแบบและการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น	75
ค.2 ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชันที่สุด	114
ค.3 ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านจากการทดลองด้วยวิธีส่วนประสมกลาง (RUN 1)	150
ค.4 ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านจากการทดลองเพื่อยืนยันผล (ครั้งที่ 1)	186

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างตัวกรองเชิงแสง.....	2
1.2 ตัวอย่างเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงของการเคลือบแบบ AR ทั้งสองด้าน.....	3
1.3 แสดงกรอบการดำเนินการวิจัย.....	6
2.1 ตัวอย่างสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบาง AZO.....	8
2.2 แสดงการเคลือบแบบหลายชั้นและการเปลี่ยนเฟสของรังสีสะท้อน.....	10
2.3 โครงสร้างระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน.....	11
2.4 พื้นผิวผลตอบสนองแบบกราฟฟิค.....	24
2.5 ลำดับการทดลองแบบ RSM.....	25
2.6 การออกแบบบล็อกซ์-เบนท์เคน 3 ปัจจัย.....	26
2.7 การออกแบบส่วนประสมกลาง กรณี $K = 2$	27
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	31
3.2 เส้นโค้งสเปกตรัมจากการออกแบบ.....	32
3.3 การแบ่งพื้นที่ได้เส้นโค้งเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู.....	33
3.4 ตัวอย่างของเส้นโค้งสเปกตรัมที่ได้จากการออกแบบและการเคลือบจริง.....	34
3.5 แสดงตัวอย่างจุดวัดและเส้นโค้งสเปกตรัมสำหรับคำนวณค่าเฉลี่ย.....	35
3.6 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เคลือบผิวฟิล์มบาง.....	35
3.7 เครื่องเคลือบด้วยระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน.....	37
3.8 ฐานรองรับแก้วรหัส B270.....	37
3.9 โครงสร้างของชั้นฟิล์ม.....	38
3.10 แสดงการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	38
3.11 ตำแหน่งการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสงบนฐานรองรับ.....	39
3.12 แสดงตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....	39
3.13 แสดงการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสง.....	40
4.1 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB 16.....	45
4.2 เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น.....	49
4.3 กราฟพาเรโตแสดงผลกระทบของปัจจัยต่อผลตอบสนอง.....	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 กราฟส่วนตกค้าง (RESIDUAL PLOT) ของตัวแปรตอบสนอง Y_A	52
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนอง Y_A และ STEP ของการทดลองแบบลาดขั้นที่สุด.....	54
4.6 แบบจำลองการทดลองแบบส่วนประสมกลาง.....	55
4.7 กราฟส่วนตกค้าง (RESIDUAL PLOT) ของตัวแปรตอบสนอง Y_A	57
4.8 กราฟส่วนตกค้าง (RESIDUAL PLOT) ของตัวแปรตอบสนอง Y_B	59
4.9 กราฟส่วนตกค้าง (RESIDUAL PLOT) ของตัวแปรตอบสนอง Y_B (ตัดข้อมูล OUTLIER)	60
4.10 กราฟแสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยของผลตอบสนอง Y_A และ Y_B	62
4.11 OVERLAID CONTOUR PLOT แสดงพื้นที่ที่เป็นไปได้ในการกำหนดระดับปัจจัย	62
4.12 เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล.....	66



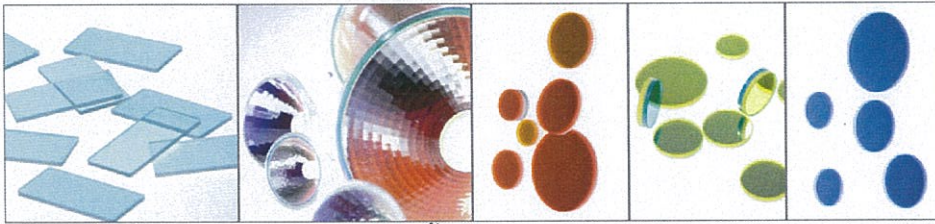
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

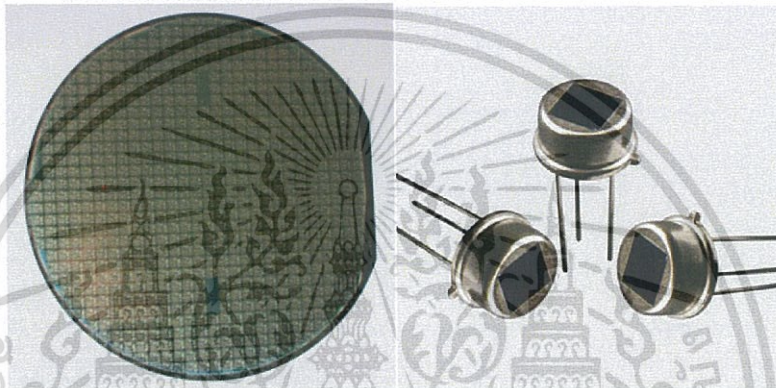
อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนโฟโตนิกส์ (Photonics) เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการนำความรู้พื้นฐานทางด้านแสงไปประยุกต์ใช้งานเช่น การสะท้อนของแสง การหักเหของแสง การแทรกสอดกันของแสงและโพลาไรเซชันของแสง เป็นต้น จากข้อมูลการส่งออกในปี 2556 พบว่าไทยมีการส่งออกเป็นอันดับที่ 12 ของโลกมีมูลค่าการส่งออกอยู่ที่ 56,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในขณะที่มาเลเซียซึ่งเป็นผู้ผลิตในกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (Asian Economic Community) มีการส่งออกเป็นอันดับที่ 11 ของโลกและมีมูลค่าการส่งออก 78,223 ล้านดอลลาร์สหรัฐเนื่องจากมุ่งเน้นการผลิตและพัฒนาเทคโนโลยีในกลุ่มอุตสาหกรรมโฟโตนิกส์ (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2557) ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพและเทคโนโลยีการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนโฟโตนิกส์ของไทยจึงมีความสำคัญที่ต้องพัฒนาเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน

ตัวอย่างชิ้นส่วนที่ถูกนำไปเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ด้านโฟโตนิกส์ เช่น เลนส์, เลนส์ในเครื่องฉาย, เซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อน, เซ็นเซอร์ตรวจจับร่างกายมนุษย์, โคมไฟสะท้อนแสง, โคมไฟสะท้อนแสงสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1.1 (ก) ซึ่งชิ้นส่วนดังกล่าวจะถูกเคลือบด้วยฟิล์มบางลงบนผิววัสดุ เช่น แก้วหรือพลาสติกซึ่งมีการเคลือบหลายประเภท เช่น การเคลือบแบบลดแสงสะท้อน (Antireflection: AR), การเคลือบแบบ Long wave pass filter, การเคลือบแบบ Interference filter ซึ่งจะถูกรวมๆ ว่า ตัวกรองเชิงแสง (Optical filter) ในบางกรณีตัวกรองเชิงแสงถูกนำไปตัดเป็นชิ้นเล็กๆ (Chip size) ตามขนาดที่ต้องการนำไปใช้งาน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1.1 (ข) จากการศึกษาชิ้นส่วนเหล่านี้ถูกนำไปประกอบเพื่อสนับสนุนการทำงานของอุปกรณ์โฟโตนิกส์ ดังนั้นการควบคุมคุณภาพของตัวกรองเชิงแสงเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าหรือผู้ที่ใช้เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งประกอบไปด้วยคุณสมบัติเชิงแสง (Optical properties) และคุณสมบัติเชิงกายภาพ (Physical properties) สำหรับคุณสมบัติเชิงกายภาพนั้นเป็นการกำหนดความทนทานของตัวกรองเชิงแสงต่อสภาพแวดล้อมที่นำไปใช้งาน ซึ่งจะถูกนำไปทดสอบแบบทำลาย เช่น ความต้านทานต่อรอยขีดข่วน (Abrasion test) ความทนทานต่อการหลุดลอกของผิวฟิล์ม (Adhesion test) ความทนทานต่ออุณหภูมิและความชื้น



(ก) ตัวอย่างชิ้นส่วนที่เกี่ยวกับอุปกรณ์โฟโตนิกส์

ที่มา : <http://www.ocj.co.jp>



(ข) ตัวกรองเชิงแสงที่ถูกตัดเป็นขนาดเล็กและการนำไปใช้งาน (Chip size)

ที่มา: <http://www.periodictable.com/Items/014.7/index.html>,

<http://www.dst.com.tw/GoWeb/include/index.php#>

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างตัวกรองเชิงแสง

ส่วนคุณสมบัติเชิงแสงนั้นจะเป็นการบ่งบอกถึงหน้าที่และการนำไปใช้งานของตัวกรองเชิงแสงนั้นๆ โดยทั่วไปจะพิจารณาในรูปแบบของอัตราการทะลุผ่านของแสง, การสะท้อนแสงหรือการดูดซับแสง (Macleod 2001)

การตรวจวัดคุณสมบัติเชิงแสงในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางนั้นขึ้นงานทดสอบจากแต่ละล็อต (Lot) การผลิตจะถูกสุ่มเพื่อนำไปตรวจวัดเพื่อประเมินคุณสมบัติเชิงแสงเป็นลำดับแรกหลังจากผ่านกระบวนการเคลือบก่อนที่จะนำไปทำการทดสอบคุณภาพหากคุณสมบัติเชิงแสงไม่ผ่านตามข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) ก็จะได้ว่าการผลิตในล็อตนั้นเป็นของเสียทั้งหมดดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1.2 ซึ่งแสดงเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการเคลือบแบบ AR ทั้งสองด้านและมีการกำหนดคุณสมบัติเชิงแสงเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการทะลุผ่านของแสงในช่วง 420-680 นาโนเมตร จะต้องมีความมากกว่า 98% (แนวเส้นประ) และจะเห็นว่าเส้นโค้งสเปกตรัมที่ได้จากการวัดที่จุดต่างๆ บนชิ้นงาน

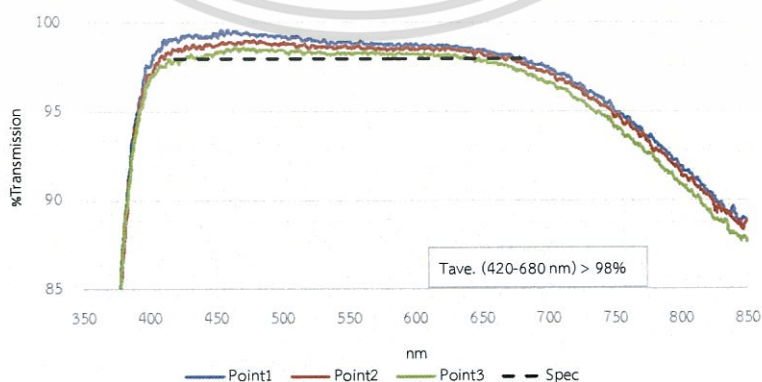
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกันไม่ทับซ้อนกันสนิทและมีบางส่วนต่ำกว่าแนวเส้นประซึ่งหมายถึงมีความผันแปรเกิดขึ้นภายในชิ้นงาน ถ้าหากชิ้นงานมีความผันแปรมากย่อมหมายถึงอัตราการทะลุผ่านของแสงที่จุดต่างๆ บนชิ้นงานมีความแตกต่างกันมากและในกรณีที่เส้นโค้งสเปกตรัมจุดนั้นๆ ต่ำกว่าข้อกำหนดเฉพาะก็จะกลายเป็นของเสียทันที

จากการศึกษาปัญหาที่เกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงแสงที่ได้มีการศึกษาในงานวิจัยพบว่า การกำหนดเงื่อนไขการเคลือบที่ไม่เหมาะสมจะทำให้อัตราการทะลุผ่านของแสงต่ำกว่าปกติ โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของชั้นฟิล์มไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์นั้นๆ และในงานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบการทะลุผ่านของแสงที่ได้มีการนำเสนอไว้ (Rao 2002; Rao et al. 2003; Tien et al. 2006; Chen et al. 2008; Shen et al. 2008) พบว่ามุ่งเน้นไปที่การเคลือบแบบชั้นเดียวและพิจารณาเฉพาะค่าเฉลี่ยของอัตราการทะลุผ่านแต่ไม่พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับความผันแปรของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน

ในการใช้งานจริงตัวกรองเชิงแสงอาจถูกนำไปตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อเป็นชิ้นส่วนประกอบ หากชิ้นงานมีความผันแปรของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงมาก สมรรถนะของตัวกรองเชิงแสงนั้นๆ ก็ย่อมมีความแตกต่างกันออกไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นของผู้ผลิตอุปกรณ์โฟโตนิกส์หากต้องนำชิ้นส่วนเล็กๆ ดังกล่าวไปประกอบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอตัวชี้วัดเพิ่มเติมเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริง โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการเคลือบจริงกับการออกแบบ และความผันแปรของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงภายในฐานรองรับ โดยการวัด ณ จุดต่างๆ บนฐานรองรับที่ถูกเคลือบเงื่อนไขในการผลิตที่สำคัญที่จะต้องมีการกำหนดและมอนิเตอร์ในการเคลือบประกอบไปด้วย ระดับความดันสุญญากาศ ความดันก๊าซ อุณหภูมิฐานรองรับ อัตราการเคลือบสาร แต่ละชนิดรวมทั้งความหนาและจำนวนชั้นที่ต้องการเคลือบ (Mattox, 1998)



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงของการเคลือบแบบ AR ทั้งสองด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามหากจะต้องทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมโดยการปรับเปลี่ยนที่ละปัจจัย จะต้องใช้เวลามากและสิ้นเปลืองทรัพยากร ดังนั้นในการทดลองเพื่อกำหนดเงื่อนไขการผลิตของปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสมนั้น การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of experiment) เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการกำหนดเงื่อนไขการผลิตในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางให้มีความเหมาะสม (Tien et al. 2006)

จะเห็นได้ว่าการกำหนดค่าควบคุมของปัจจัยในกระบวนการเคลือบให้มีความเหมาะสมเพื่อให้การทะลุผ่านของแสงสอดคล้องกับข้อกำหนดและมีความผันแปรน้อยนั้นมีความสำคัญสำหรับการผลิตงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทะลุผ่านของแสง โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง ศึกษาในขั้นตอนการเคลือบด้วยเทคนิคการเคลือบสารโดยการระเหยของแข็งด้วยลำอิเล็กตรอน โดยทำการเคลือบแบบ AR หลายชั้น (Multilayer coating) ลงบนชิ้นงานฐานรองรับแก้ว (Glass substrate) และวิเคราะห์ผลตอบสนองแบบหลายตัว (Multiple responses) ซึ่งประกอบไปด้วยผลต่างของพื้นที่ได้เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงระหว่างการออกแบบกับการเคลือบจริง และความผันแปรของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงภายในฐานรองรับ ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางเพื่อให้ผู้ผลิตสามารถที่จะกำหนดค่าควบคุมได้อย่างเหมาะสม และเป็นแนวทางในการนำไปศึกษากับการเคลือบฟิล์มบางแบบอื่นๆ ต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เสนอตัวชี้วัดคุณภาพเพิ่มเติมสำหรับตัวกรองเชิงแสงเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริง

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทะลุผ่านของแสงของการเคลือบแบบ AR ด้วยเทคนิคการเคลือบสารโดยการระเหยของแข็งด้วยลำอิเล็กตรอนและกำหนดเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสม

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 สามารถวัดระดับคุณภาพของตัวกรองเชิงแสงด้วยตัวชี้วัดคุณภาพที่เพิ่มเติมขึ้นมาได้

1.3.2 ปัจจัยในกระบวนการเคลือบด้วยเทคนิคการเคลือบสารโดยการระเหยของแข็งด้วยลำอิเล็กตรอนส่งผลกระทบต่อการทะลุผ่านของแสงของการเคลือบแบบ AR

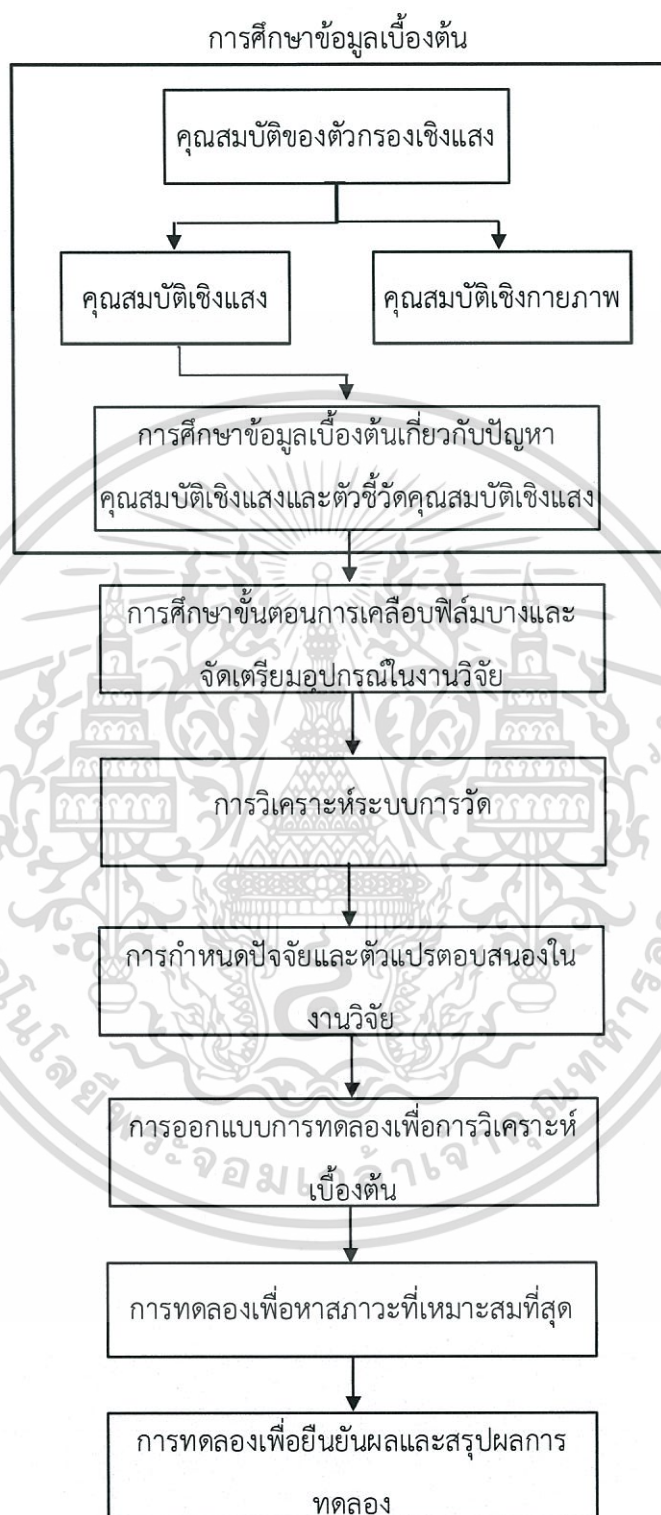
1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทะลุผ่านของแสงของฐานรองรับแก้วในขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางแบบ AR
- 1.4.2 ใช้การออกแบบการทดลองเชิงสถิติเพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทะลุผ่านของแสงและกำหนดเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสม

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนของการศึกษาแสดงแผนภาพกรอบการดำเนินการวิจัยดังรูปที่ 1.3 อธิบายดังนี้

- 1.5.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับปัญหาคุณสมบัติเชิงแสง รวมทั้งศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสำคัญของคุณสมบัติและตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสงของตัวกรองการเคลือบแบบลดแสงสะท้อนการเคลือบสารโดยการระเหยของแข็งด้วยลำอิเล็กตรอน การวิเคราะห์ระบบการวัดและการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ
- 1.5.2 การศึกษาขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบาง และจัดเตรียมอุปกรณ์ในงานวิจัย
- 1.5.3 การวิเคราะห์ระบบการวัดที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง ศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัดเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในระบบการวัด
- 1.5.4 การกำหนดปัจจัยและตัวแปรตอบสนองในงานวิจัย
- 1.5.5 การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้นและทำการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะเกี่ยวข้อง
- 1.5.6 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีความลาดชันที่สุดและวิธีพื้นผิวตอบสนอง
- 1.5.7 การทำการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อยืนยันผลและสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 1.3 แสดงกรอบการดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่มีผู้ทำมาแล้วเกี่ยวกับความสำคัญของคุณสมบัติและตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสงของตัวกรอง การเคลือบแบบลดแสงสะท้อน การเคลือบสารโดยการระเหยของแข็งด้วยลำอิเล็กตรอน การวิเคราะห์ระบบการวัด และการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ เพื่อเป็นแนวทางเข้าสู่กระบวนการวิจัย ดังต่อไปนี้

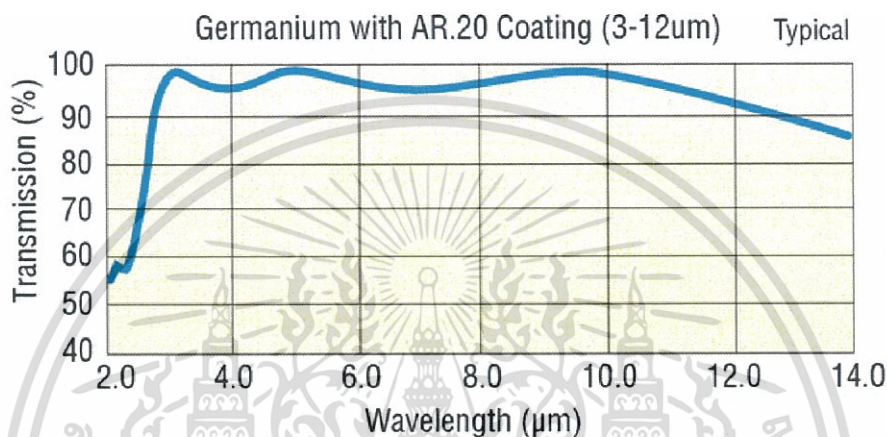
2.1 คุณสมบัติเชิงแสงและตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสงของตัวกรอง

คุณสมบัติของตัวกรองเชิงแสง โดยทั่วไปจะพิจารณาในรูปของความเข้มของการสะท้อน การทะลุผ่านและการดูดซับแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ในกรณีที่วัสดุไม่มีการดูดซับแสง ผลรวมของการสะท้อนและการทะลุผ่านของแสงจะมีค่าเท่ากับ 1 (Unity) หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ (Rancourt. 1987)

ตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสงของตัวกรอง เป็นการแสดงถึงสมรรถนะของตัวกรอง ที่ถูกกำหนดโดยลูกค้าหรือตัวผู้ผลิตเองเพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถของตัวกรองเหล่านั้นที่ได้ผลิตขึ้นมา โดยทั่วไปจะแสดงข้อมูลในรูปแบบของเส้นโค้งสเปกตรัม ที่เกิดจากการพล็อตข้อมูลอัตราการทะลุผ่านของแสง (หรือสะท้อนแสง) ที่จุดต่างๆ บนช่วงความยาวคลื่นหนึ่งๆ ดังรูปที่ 2.1 ตัวกรองเชิงแสงที่มีการเคลือบต่างกัน หรือมีวัตถุประสงค์ในการใช้งานต่างกัน ก็อาจมีการกำหนดตัวชี้วัด คุณสมบัติเชิงแสงที่ต้องการแตกต่างกันไป เช่น การเคลือบฟิล์มบางแบบ AR จะกำหนดอัตราการสะท้อนแสงหรือทะลุผ่านเฉลี่ยในช่วงความยาวคลื่นที่กำหนด, การเคลือบฟิล์มบางแบบ Band pass Filter จะกำหนดอัตราการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ย, สูงสุดและต่ำสุดในแต่ละช่วงความยาวคลื่นที่กำหนด ภายในเส้นโค้งการทะลุผ่านของแสงเส้นเดียวกัน, การเคลือบแบบ Beam splitter จะกำหนดอัตราการสะท้อนหรือทะลุผ่านของแสงโพลาริเซชันทั้งสองระนาบเป็นต้น (Rancourt 1987; Macleod. 2001) จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับตัวกรองเชิงแสงและมาตรฐานที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม พบว่ามีการกำหนดตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสง ดังนี้

Hammarberg and Arne Roos (2003) ได้ศึกษาการเคลือบแบบ AR บนกระจกแผ่นรังสีต่ำชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มอัตราการทะลุผ่านของแสงในช่วงตามองเห็น (Visible transmittance) และใช้อัตราการทะลุผ่านของแสงในช่วงตามองเห็น (Tvis) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของชุดแผ่นกระจก Double glazing unit และ Triple glazing unit

Lu et al. (2013) ได้ศึกษาการเคลือบแบบ AR ด้วย Al: ZnO ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิกอน และทำการกำหนดตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการเคลือบ AR ด้วยอัตราการทะลุผ่านของพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic transmittance) ซึ่งแปรผันตรงกับอัตราการทะลุผ่านของแสงในแต่ละความยาวคลื่น



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบาง AZO
ที่มา: <https://assets.newport.com/web600w-EN/images/18109.gif>

Schmitz et al. (2012) ได้ทำการศึกษาวิธีการซึ่งข้อผิดพลาดล่วงหน้าในกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็ง โดยทำการเคลือบฟิล์มบางแบบ AR ซึ่งมีการออกแบบที่แตกต่างกันลงบนฐานรองรับแก้วรหัส B270 และได้นำเสนอวิธีการประเมินสมรรถนะของตัวกรองเชิงแสง โดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนที่เบี่ยงเบนไปจากข้อกำหนด (Deviation to specification) ซึ่งได้จากการนับจำนวนจุดที่มีค่าอัตราการสะท้อนแสงที่วัดได้จากการเคลือบจริงมากกว่าการออกแบบ และนับจำนวนในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 380-700 นาโนเมตร

จากการศึกษามาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย JIS R 3106 : 1998 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบการทะลุผ่านของแสง การสะท้อนแสงและการแผ่รังสีของแผ่นแก้วและการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ได้กล่าวถึงข้อกำหนดของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่นำมาใช้วัดเพื่อประเมินสมรรถนะของตัวกรองเชิงแสง และการเลือกชิ้นงานตัวอย่าง (Sample) ที่จะทำการวัดจะต้องเป็นชิ้นงานที่ถูกตัดออกมาจากชิ้นงานหลัก (กรณีที่เป็นแผ่นขนาดใหญ่) หรือเป็นแผ่นแก้วที่ใช้เป็นตัวแทนที่ถูกเคลือบผิวหรือถูกผลิตภายใต้สภาวะเดียวกัน แต่ไม่พบว่ามีข้อกำหนดเกี่ยวกับความผันแปร

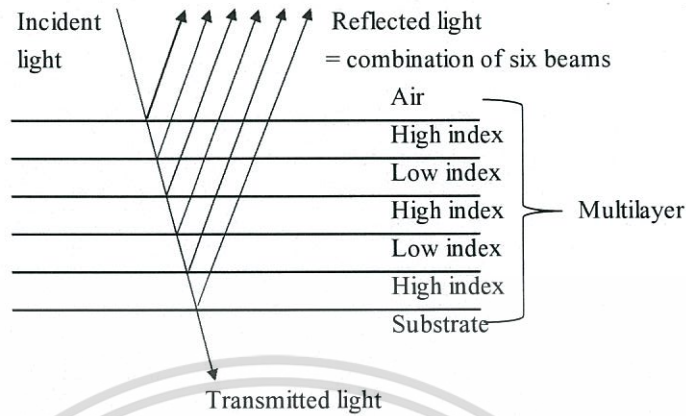
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยและมาตรฐานอุตสาหกรรมข้างต้น จะเห็นได้ว่าการกำหนดตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสง เพื่อบ่งบอกถึงสมรรถนะของตัวกรองเชิงแสงมีความสำคัญ อย่างไรก็ตามพบว่างานวิจัยและมาตรฐานข้างต้นไม่ได้กล่าวถึงความผันแปรของการทะลุผ่านหรือสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน

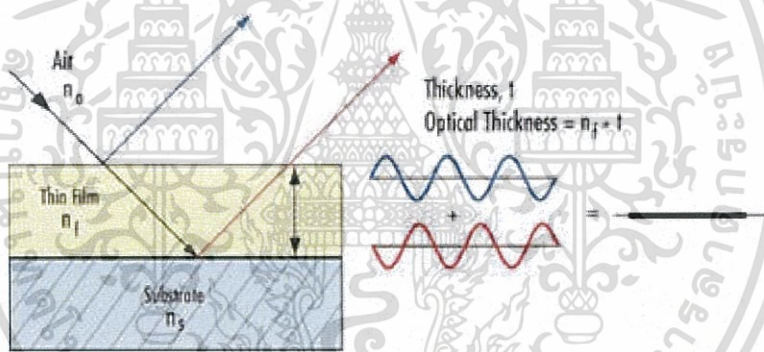
2.2 การเคลือบแบบลดแสงสะท้อน

การเคลือบแบบAR เป็นการเคลือบแบบแรกๆ ในการผลิตด้วยเทคโนโลยีฟิล์มบางและได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน การเคลือบชนิดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นบริเวณผิวด้านหน้าและด้านหลังของฐานรองรับ ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้การทะลุผ่านของแสงเพิ่มสูงขึ้นด้วย สำหรับฐานรองรับแก้วที่ไม่มีส่วนผสมของตะกั่วหรือเหล็ก (Crown glass) โดยปกติจะมีอัตราการทะลุผ่านของแสงต่อพื้นผิว 96% และเป็นการสะท้อนแสงในส่วนที่เหลือ หากแสงสะท้อนไปตกกระทบที่จุดโฟกัส ก็จะทำให้เกิดแสงจ้า พร่ามัวและลดความคมชัดของภาพลง การเคลือบฟิล์มบางชั้นเดียวสามารถลดการสะท้อนแสงได้ที่มีความยาวคลื่นค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น การเคลือบแบบหลายชั้น (Multi-layer) จะมีประสิทธิภาพดีกว่าในกรณีที่ต้องการลดแสงสะท้อนในช่วงความยาวคลื่นที่กว้างขึ้น (Rancourt 1987; Macleod, 2001) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการเคลือบแบบหลายชั้น

หลักการทำงานของการเคลือบแบบลดแสงสะท้อนจะอาศัยหลักการแทรกสอดของแสง (Interference) ของระบบฟิล์มหลายชั้นสลับกันไปมาระหว่างฟิล์มที่มีค่าดัชนีหักเหสูงและดัชนีหักเหต่ำ (Stack) แสงที่สะท้อนจะเปลี่ยนเฟสไปเท่ากับ 180° ภายในชั้นฟิล์มที่มีค่าดัชนีหักเหแสงต่ำและแสงที่สะท้อนจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเฟสภายในชั้นฟิล์มที่มีค่าดัชนีหักเหแสงสูง ในขณะที่แสงที่เกิดการหักเห จะไม่มีเปลี่ยนแปลงเฟสทั้งสองกรณี การเคลือบด้วยความหนาที่เหมาะสมจะทำให้การสะท้อนที่ผิวบนของฟิล์มและผิวล่างของฟิล์มเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกันและจะเกิดการหักล้างกันอย่างสมบูรณ์เมื่อรังสีสะท้อนทั้งสองมีขนาด (Amplitude) เท่ากันและมีเฟสต่างกัน 180° (Macleod 2001) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



(ก) การเคลือบแบบหลายชั้น
ที่มา: Angus Macleod, 2001



(ข) การเปลี่ยนเฟสของรังสีสะท้อน

รูปที่ 2.2 แสดงการเคลือบแบบหลายชั้นและการเปลี่ยนเฟสของรังสีสะท้อน
ที่มา : <http://www.coptronics.comAnti-Reflection-Coating.html>

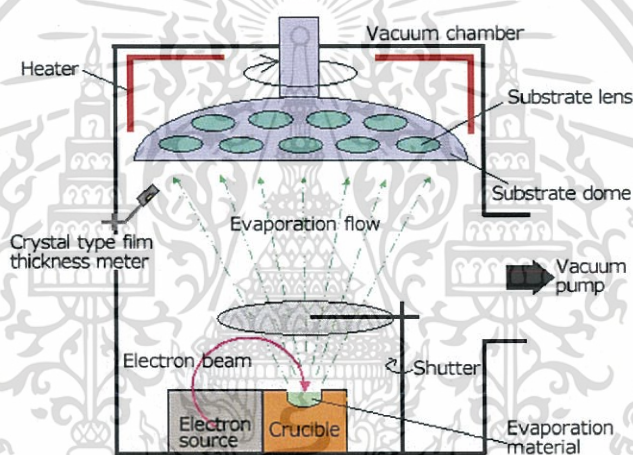
2.3 การเคลือบสารโดยการระเหยของแข็งด้วยลำอิเล็กตรอน

การเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็ง (Physical vapor deposition : PVD) คือกระบวนการที่ทับถมของละอองสารเคมีซึ่งถูกทำให้ระเหยจากแหล่งกำเนิดที่เป็นของแข็งหรือของเหลวในรูปแบบของอะตอมหรือโมเลกุล ถูกนำส่งในรูปของไอผ่านสภาวะแวดล้อมที่เป็นสุญญากาศหรือความดันก๊าซต่ำ (หรือพลาสมา) ไปยังฐานรองรับ

สำหรับการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนนั้น คือ การใช้ลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง ซึ่งเกิดจากการป้อนไฟฟ้าแรงดันสูง (10-20 kV) ให้กับขดลวดทังสเตนจนเกิดปรากฏการณ์เทอร์มิออนิกส์อิมิตติ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Thermionic-emitting) และปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ลำอิเล็กตรอนจะถูกบังคับด้วยสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กให้ตกลงบนผิวหน้าของสารที่ต้องการระเหยในเข้าหลอม (Crucible liner) เมื่อสารได้รับพลังงานความร้อนเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอระเหยขึ้นไปเกาะบนแผ่นฐานรองรับและแผ่นควอทซ์คริสตัล ไอระเหยของสารที่ไปจับแผ่นคริสตัล เกิดการเปลี่ยนแปลงของความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant frequency) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีสัดส่วนโดยตรงกับมวลของสารที่เกาะบริเวณผิวหน้าของแผ่นควอทซ์คริสตัล และสามารถนำค่าการเปลี่ยนแปลงนี้มาคำนวณเป็นอัตราการเคลือบและความหนาทั้งหมดของสารที่เคลือบอยู่บนฐานรองรับได้ (Mattox. 1998) ระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.3 การเคลือบด้วยเทคนิคนี้เป็นที่นิยมในการใช้เพื่อการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับฟิล์มบาง (Rao et al. 2003)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน
ที่มา : <http://www.jeol.co.jp/scienceeb.html>

ค่าควบคุมสำหรับแต่ละปัจจัยในการเคลือบจะถูกกำหนดขึ้นก่อนที่จะทำการเคลือบ ปัจจัยเหล่านี้จะประกอบไปด้วย ระดับความดันสุญญากาศ ความดันก๊าซ อุณหภูมิฐานรองรับ อัตราความเร็วการเคลื่อนที่ของสารแต่ละชนิด ความหนาและจำนวนชั้นที่ต้องการเคลือบ (Mattox. 1998) การกำหนดค่าควบคุมที่เหมาะสมจะทำให้ได้ตัวกรองเชิงแสงที่มีคุณภาพ มีลักษณะสเปกตรัมตามที่ต้องการ และมีคุณสมบัติเชิงกายภาพที่เหมาะสม มีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการเคลือบที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงแสงของตัวกรองเชิงแสงดังนี้

Rao (2002) ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการเคลือบที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide film) ด้วยเทคนิคการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน โดยเลือก

วัสดุตั้งต้นที่แตกต่างกัน เช่น TiO , Ti_2O_3 และ TiO_2 (ที่มีความบริสุทธิ์ 99.8%) ภายใต้ความดัน 5×10^{-6} ทอร์ ทำการเคลือบแบบชั้นเดียวลงบนฐานรองรับแผ่นแก้วควอทซ์ (Fused quartz) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร อุณหภูมิฐานรองรับถูกควบคุมระหว่าง $25 - 250^\circ \text{C}$ (± 5 นาโนเมตร) ความหนาของฟิล์มและอัตราการความเร็วการเคลือบถูกวัดและควบคุมด้วยแผ่นคริสตัล สเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงถูกวัดด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ของบริษัท Hitachi (รุ่น 330) ในการทดลองทำการปรับเปลี่ยนความดันก๊าซออกซิเจน, อุณหภูมิฐานรองรับและอัตราการความเร็วการเคลือบจากนั้นทำการศึกษาค่าดัชนีหักเหแสงที่เปลี่ยนแปลงไปและลักษณะสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง จากการศึกษาพบว่าค่าสูงสุดของสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มมีค่ามากกว่าอัตราการทะลุผ่านของแสงของฐานรองรับ ที่ความดันออกซิเจน 2.5×10^{-4} ทอร์ ในขณะที่ระดับความดันก๊าซออกซิเจนอื่นๆ ค่าสูงสุดของสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงมีค่าต่ำกว่าฐานรองรับ ความผันแปรของสเปกตรัมสูงขึ้นเมื่อมีการลดความดันก๊าซออกซิเจนหรือเพิ่มอัตราการความเร็วสารเคลือบอย่างใดอย่างหนึ่ง

Rao et al. (2003) ศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางชั้นเดียวของซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในการเคลือบด้วยเทคนิคระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน โดยทำการเคลือบที่ความดัน 1×10^{-6} ทอร์ ความดันออกซิเจน 5×10^{-5} ทอร์ อัตราการความเร็วของการเคลือบ 3-4 อังสตรอมต่อวินาที ฐานรองรับแผ่นแก้วควอทซ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร สเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงถูกวัดด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ของบริษัท Hitachi (รุ่น 330) ในการทดลองทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิขณะเคลือบตั้งแต่อุณหภูมิห้องไปจนถึง 400°C จากการศึกษาพบว่าจุดต่ำสุดของสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง สำหรับ CeO_2 มีค่าต่ำลงเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ SiO_2 มีอัตราการทะลุผ่านของแสงสูงที่สุดในช่วงความยาวคลื่น VIS ไปจนถึง UV เมื่อถูกเคลือบที่อุณหภูมิห้อง

Shen et al. (2008) ศึกษาคุณสมบัติของไททาเนียมไดออกไซด์ฟิล์ม (TiO_2 film) เมื่อถูกเคลือบภายใต้ระดับความดันก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกันด้วยเทคนิคการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน โดยใช้ Ti_3O_5 เป็นวัสดุตั้งต้นทำการเคลือบลงบนฐานรองรับแก้วรหัส B270 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตรที่ความดันพื้นฐาน 2×10^{-3} Pa อัตราการความเร็วสารเคลือบ 0.33 นาโนเมตรต่อวินาที อุณหภูมิห้องเคลือบ 290°C ความหนาฟิล์มประมาณ 490 นาโนเมตรและมีการปรับเปลี่ยนระดับความดันของก๊าซออกซิเจนตั้งแต่ 5×10^{-3} Pa 1×10^{-2} Pa 2×10^{-2} Pa และ 3×10^{-2} Pa ทำการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น Lambda900 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Perkin-Elmer จากการศึกษาพบว่าอัตราการทะลุผ่านของแสงค่อยๆสูงขึ้น เมื่อความดันของก๊าซออกซิเจนสูงขึ้นและยังพบว่า

ในช่วงความยาวคลื่น 320-360 นาโนเมตรบริเวณขอบของสเปกตรัมมีการเลื่อนไปทางความยาวคลื่นสั้น การเพิ่มขึ้นของความดันของก๊าซออกซิเจนยังส่งผลต่อค่าดัชนีหักเหและค่าสัมประสิทธิ์ดัดสูงที่มีค่าลดลง

Chen et al. (2008) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการเคลือบต่อโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงแสงของไททานเนียมไดออกไซด์ฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยเทคนิคการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนแบบใช้ไอออนช่วย ทำการเคลือบลงบนฐานรองรับแก้วที่ความดันพื้นฐาน 3×10^{-3} Pa ความดันก่อนเคลือบหลังจากจ่ายก๊าซออกซิเจน (ความบริสุทธิ์ 99.99%) ประมาณ 3.5×10^{-2} Pa และทดลองเคลือบฟิล์มบาง TiO_2 ที่อุณหภูมิ 50, 150 และ 300°C ตามลำดับและนำไปอบที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงในย่านความยาวคลื่นที่สามารถมองเห็น ด้วย UV-VIS สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UV3150 ที่ผลิตโดยบริษัท Shimadzu พบว่าอัตราการทะลุผ่านของแสงสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเคลือบสูงขึ้นและระลอกคลื่น (Ripple) มีลักษณะชันมากขึ้น

Tien et al. (2006) ได้ทำการออกแบบการทดลองและใช้หลักการออกแบบส่วนผสมกลางเพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบไททานเนียมไดออกไซด์ฟิล์ม ด้วยเทคนิคการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนแบบใช้ไอออนช่วย ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาประกอบไปด้วย ชนิดของวัสดุเคลือบตั้งต้น (TiO_2 , Ti_3O_5) ความดันห้องเคลือบ อุณหภูมิฐานรองรับ อัตราความเร็วสารเคลือบอุณหภูมิที่ใช้ออบ (Annealing) และผลตอบสนองที่ศึกษาคือค่าความหยาบของผิวเคลือบ ค่าดัชนีหักเหแสงและค่าสัมประสิทธิ์ดัดสูง ทำการเคลือบลงบนฐานรองรับแก้วรหัส N-BK7 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ทำการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ SHIMADZU รุ่น Solid spec-3760 จากการศึกษาพบว่าค่าดัชนีหักเหแสงเพิ่มขึ้นเมื่อลดความดันห้องเคลือบเพิ่มอัตราความเร็วสารเคลือบและอุณหภูมิฐานรองรับ ในทางกลับกันค่าสัมประสิทธิ์ดัดสูงลดลงด้วยการเพิ่มอุณหภูมิการอบเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างวัสดุเคลือบตั้งต้นทั้งสองชนิดพบว่า การใช้ Ti_3O_5 เป็นวัสดุตั้งต้นให้ค่าดัชนีหักเหแสงสูงกว่า ความหยาบผิวต่ำกว่า มีความเสถียรมากกว่าเมื่อนำไปใช้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางและทำให้สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลตอบสนองที่ต้องการได้

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นพบว่าปัจจัยที่ได้ศึกษาไว้ มีความใกล้เคียงกับปัจจัยที่จะศึกษาในงานวิจัยนี้ เพียงแต่มุ่งเน้นไปที่การศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ต่อคุณสมบัติเชิงแสงโดยทำการเคลือบฟิล์มบางชั้นเดียวเป็นหลัก ในขณะที่อุตสาหกรรมการผลิตส่วนใหญ่มักทำการเคลือบฟิล์มบางแบบหลายชั้นและยังพบว่าทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนค่าควบคุมของปัจจัยไปที่ละปัจจัยทำให้เสียเวลาในการทดลองมาก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of experiment) เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการกำหนดเงื่อนไขการผลิตในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางให้มีความเหมาะสมและประหยัดทรัพยากรในการทดลอง

2.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด

การควบคุมกระบวนการและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดที่มีความน่าเชื่อถือเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์และการตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ความสามารถระบบการวัดของเครื่องมือวัดสเปกตรัมของตัวกรองเชิงแสง โดยใช้หลักการความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด (Gauge Repeatability and Reproducibility: GR&R) เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในระบบการวัดว่ามีความสามารถในการแบ่งแยกผลิตภัณฑ์และสามารถนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการได้

2.4.1 ความสามารถระบบการวัด

ความสามารถของระบบการวัดเป็นการประเมินค่าความผันแปรจากระบบการวัด ซึ่งความผันแปรอาจมีสาเหตุมาจาก เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด หรือสภาพแวดล้อมในการวัด เป็นต้น และค่าความผันแปรเหล่านี้จะต้องมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์หรือความผันแปรของกระบวนการผลิต ความสามารถของระบบการวัด อาจจำแนกออกเป็นความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด ดังนี้ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

2.4.1.1 ความสามารถในการวัดซ้ำ

ความสามารถในการวัดซ้ำ หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดคนเดียวและอุปกรณ์วัดเดียวกัน ทำการวัดซ้ำกันเดียวกัน ซ้ำๆ ซึ่งโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมมักจะหมายถึงความผันแปรของอุปกรณ์ (Equipment variation: EV) เนื่องจากโดยส่วนใหญ่ความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัดมักจะมีผลมาจากตัวอุปกรณ์เอง อย่างไรก็ตามผู้วิเคราะห์ไม่ควรสรุปในทันที เนื่องจากความผันแปรอาจจะมีสาเหตุหลักจากปัจจัยอื่นก็ได้ เช่น ทักษะของพนักงานปัจจัยแวดล้อม ฯลฯ

2.4.1.2 ความสามารถในการวัดเหมือน

ความสามารถในการวัดเหมือน หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดซ้ำกันเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งในอุตสาหกรรมมักจะหมายถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด จึงอาจจะเรียกว่าความผันแปรระหว่างพนักงานวัด (Appraiser

variation: AV) อย่างไรก็ตามผู้วิเคราะห์ไม่ควรสรุปในทันที เนื่องจากความผันแปรอาจจะมีสาเหตุหลักจากปัจจัยอื่นก็ได้ เช่น ปัจจัยระหว่างกะงาน เป็นต้น

2.4.2 การวางแผนศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของระบบการวัด

การศึกษาความผันแปรของระบบการวัดในรูปของความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องเริ่มต้นจากขั้นตอนการวางแผนการศึกษา โดยมีประเด็นที่ต้องพิจารณาดังนี้ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

2.4.2.1 วิธีการและเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด

การศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของระบบการวัด มีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือวัดนั้นๆ ก่อนเป็นลำดับแรก และไม่ควรดำเนินการสอบเทียบถ้าการศึกษายังไม่สิ้นสุด เพราะถ้ามีการสอบเทียบในระหว่างที่มีการศึกษา จะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่าความสามารถในการวัดซ้ำของระบบการวัด ดังนั้นจึงต้องลดความผันแปรโดยทำให้พนักงานวัดทุกคนมีความเข้าใจในวิธีการสอบเทียบและดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ

2.4.2.2 จำนวนพนักงานวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR&R

ในการกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น จะพิจารณาจากระบบการผลิตว่ามีพนักงานวัดที่ต้องใช้เครื่องมือวัดนั้นๆ จำนวนเท่าใด ถ้าเครื่องมือวัดดังกล่าวไม่ใช้พนักงานวัดเลย หรือมีพนักงานวัดเพียงคนเดียว แสดงว่าค่าความผันแปรในระบบการวัดไม่ได้มีสาเหตุมาจากพนักงานวัดเลย แต่ในกรณีที่ระบบการผลิตมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ควรสุ่มพนักงานวัดอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานวัดดังกล่าวจะต้องผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีและมีการใช้งานเครื่องมือวัดนั้นอยู่เป็นประจำ

2.4.2.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา GR&R

จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานั้น โดยทั่วไปจะแนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่าง ถ้าไม่สามารถดำเนินการได้ จะต้องพยายามให้ผลคูณระหว่างจำนวนของสิ่งตัวอย่างกับจำนวนของพนักงานวัด มีค่ามากกว่า 15 และถ้ายังคงมีค่าน้อยกว่า 15 ก็ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง

2.4.2.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น

จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้นควรถูกวัดด้วยจำนวนซ้ำที่เท่าๆ กัน ซึ่งโดยทั่วไปมักกำหนดให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคน 2-3 ครั้งต่อสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น

2.4.2.5 วิธีการลดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างของการศึกษา GR&R

ในการศึกษา GR&R บางกรณีไม่สามารถที่จะกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัดซ้ำได้ เช่น ในกรณีการตรวจสอบแบบทำลาย ซึ่งจะมีความผันแปรภายในลอตรวมอยู่ในการวัดซ้ำเสมอ ดังนั้นจะต้องพยายามเลือกสิ่งตัวอย่างในลอตที่มีความใกล้เคียงกันให้มากที่สุด แต่ในกรณีที่มีความจำเป็น

ที่จะต้องทดสอบบนตำแหน่งงานเดียวกัน อาจมีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดลองขึ้นมาเพื่อชั่งปริมาณความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างให้ได้

2.4.2.6 คุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัด

ในการนำข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดไปวิเคราะห์นั้น มีความจำเป็นจะต้องทวนสอบว่าข้อมูลเหล่านั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมหรือไม่ ซึ่งคุณสมบัติที่เหมาะสมจะมีอยู่ 3 ประการคือ

- 1) คุณสมบัติด้านความไว (Sensitivity) จะหมายถึงหน่วยที่สามารถอ่านได้ที่เล็กที่สุดแล้วมีความแตกต่างกัน ปัจจัยที่อาจมีผลต่อคุณสมบัติด้านความไวประกอบไปด้วยคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมของเครื่องมือวัด ทักษะของพนักงานวัด ความสามารถในการวัดซ้ำของเครื่องมือวัด และสภาพแวดล้อมในการวัด (ความชื้นในอากาศ ฝุ่นละออง อุณหภูมิ ฯลฯ) ระบบที่มีความไวเพียงพอหรือไม่นั้นจะพิจารณาจากความสามารถในการแยกความแตกต่าง และความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่วัด ซึ่งจะแสดงประเภทของข้อมูลที่แตกต่างกัน (Number of distinct categories: ndc) โดยทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 5 และถึงแม้ ndc จะมีค่าน้อยก็สามารถนำข้อมูลในการอธิบายกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ว่าดีหรือเสียได้ แต่ไม่สามารถใช้ข้อมูลนี้ในการประมาณค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการผลิต (C_p , C_{pk})
- 2) ความคงรูป (Uniformity) ของระบบการวัด จะหมายถึงค่าความสามารถในการวัดซ้ำตลอดขนาดของชิ้นงาน โดยพิจารณาจากค่าพิสัยภายในกลุ่มย่อย ซึ่งปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัตินี้ ได้แก่ ตัวจับยึดงานที่ไม่เหมาะสม ทักษะของพนักงาน
- 3) ความต้องกัน (Consistency) ของระบบการวัด จะหมายถึงค่าความสามารถในการวัดซ้ำตลอดเวลาที่ทำการวัดโดยพิจารณาจากค่าพิสัยภายในกลุ่มย่อย ปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัตินี้ ได้แก่ อุณหภูมิในตัวชิ้นงาน ระยะเวลาในการอุ่นเครื่อง (warm up) ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ความสึกหรอของอุปกรณ์วัด

2.4.2.7 การประเมินผล GR&R

การประเมินผล GR&R มีวิธีการประเมินผล 3 วิธีคือ

- 1) วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range method) วิธีนี้เหมาะกับการทดลองช่วงสั้นๆ และไม่มีกรวัดซ้ำ ซึ่งเป็นวิธีที่ประเมินผลได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถแยกความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนออกจากกันได้

- 2) วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and range method) วิธีนี้เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งทำให้สามารถแยกความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนออกจากกันได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่าการวัดซ้ำได้
- 3) วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้จากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าสาเหตุของความผันแปรที่มีนัยสำคัญนั้นเกิดจากพนักงานหรือชิ้นงาน และวิธีการนี้ยังสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่าการวัดซ้ำได้ ข้อเสียของวิธีการนี้คือมีความยุ่งยากในการคำนวณ ดังนั้นวิธีการนี้จึงเหมาะแก่การนำไปใช้งานในกรณีที่มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

2.4.3 การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและวัดเหมือนของเครื่องมือวัด

รูปแบบการทดลองที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถของระบบการวัดจะใช้การทดลองแบบ Two factor factorial โดยการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ซึ่งตัวแปร ได้แก่ ชิ้นงาน (Part; $i = 1, 2, 3, \dots, a$) พนักงานวัด (Operator; $j = 1, 2, 3, \dots, b$) จำนวนการทำซ้ำ (Repeatability; $k = 1, 2, 3, \dots, c$) แสดงดังสมการที่ 2.1

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2.1)$$

เมื่อ μ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลของชิ้นงาน

β_j คือ อิทธิพลของพนักงานวัด

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัด

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

2.4.4 การวิเคราะห์ผลการศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและวัดเหมือนของเครื่องมือวัด

ในการแปลความหมายผลการวิเคราะห์จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะต้องเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานก่อน ถ้าพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลการวัดจะเปลี่ยนไป ก็ไม่มีความจำเป็นต้องพิจารณาผลของอิทธิพลหลัก

(Main effect) จากพนักงานวัดหรือชิ้นงานอีก เพราะแม้ว่าอิทธิพลหลักของพนักงานวัดจะดูเหมือนมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ที่จริงแล้วอาจจะมีอิทธิพลมาก เนื่องจากในการหาอิทธิพลหลักนั้นจะมีการเฉลี่ยออกอิทธิพลของชิ้นงานออกไป จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการพิจารณาจากกราฟอิทธิพลร่วมได้ซึ่งจะต้องทำการประมาณอิทธิพลจากค่าคาดหวังของมัธยฐานกำลังสอง แต่ในกรณีที่อิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานไม่มีนัยสำคัญแล้วต้องทำการประมาณค่าความสามารถของระบบการวัดผ่านตัวแบบลดรูป (Reduced model) ของตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนและทำการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับค่าความผันแปรที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมของข้อกำหนดเฉพาะ (Precision-to-Tolerance ratio: P/T) สำหรับระบบการวัดที่ใช้ในการแยกแยะผลิตภัณฑ์ว่าดีหรือเสีย สำหรับระบบการวัดที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการนำไปเปรียบเทียบกับความผันแปรจากกระบวนการ (Precision-to-Total variation: P/TV) ซึ่งโดยทั่วไปมีการกำหนดเกณฑ์การยอมรับความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของระบบการวัดไว้ ดังตารางที่ 2.1 (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ในการยอมรับความสามารถระบบการวัด

P/T หรือ P/TV	<10%	สามารถยอมรับความสามารถระบบการวัดได้
P/T หรือ P/TV	10% - 30%	อาจจะยอมรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่ายในการวัด ฯลฯ
P/T หรือ P/TV	>30%	ไม่สามารถยอมรับความสามารถระบบการวัดได้ ต้องระบุสาเหตุของความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

2.5 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลตอบสนองที่มีเพียงหนึ่งหรือมากกว่าและสามารถกำหนดค่าของปัจจัยของกระบวนการเพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามที่เรต้องการ การทดลองโดยทั่วไปมักใช้วิธีการปรับตั้งค่าทีละค่า (One-factor-at-a-time: OFAT) ซึ่งจะทำให้การเข้าสู่ผลตอบสนองได้ช้าและสิ้นเปลืองทรัพยากร ข้อเสียประการสำคัญของวิธีการ OFAT ก็คือมันไม่สามารถที่จะพิจารณาอันตรกิริยาใดๆ ที่เป็นไปได้ระหว่างปัจจัยใน หลักการพื้นฐาน 3 ประการ สำหรับการออกแบบการทดลองประกอบไปด้วย (Montgomery, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) การสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองที่วัสดุทดลองและลำดับการทดลองในแต่ละครั้งของการทดลองถูกดำเนินการแบบสุ่มวิธีการทางสถิติกำหนดว่าค่าสังเกตหรือค่าความผิดพลาดจะต้องเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายตัวแบบอิสระ การสุ่มอย่างเหมาะสมจะช่วยลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้
- 2) การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การทดลองซ้ำของแต่ละชุดของปัจจัย ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการที่หนึ่ง ทำให้ผู้ทดลองสามารถประมาณค่าความผิดพลาดจากการทดลองได้ซึ่งการประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยวัดพื้นฐานสำหรับการพิจารณาว่าความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากการสังเกตมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติอย่างแท้จริง ประการที่สอง ถ้าค่าเฉลี่ยของตัวอย่างถูกนำมาใช้เพื่อประมาณค่าผลตอบสนองที่ระดับของปัจจัยหนึ่งในการทดลอง การทำซ้ำจะทำให้ผู้ทดลองได้รับผลการประมาณค่าที่มีความเที่ยงตรงขึ้น
- 3) บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคการออกแบบที่ใช้เพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการทดลองด้วยการเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยที่สนใจ บล็อกกิงยังถูกใช้เพื่อลดหรือกำจัดความผันแปรที่ถูกส่งผ่านมาจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Nuisance factors) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ผู้ทดลองไม่ได้สนใจโดยตรงแต่อาจมีอิทธิพลต่อผลตอบสนองในการทดลอง โดยบล็อกเดียวกันหมายถึง กลุ่ม (Set) ของการทดลองที่มีสภาพหรือสิ่งแวดล้อมในการทดลองที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Relative homogeneous condition) เช่น การทดลองโดยใช้เครื่องจักรเดียวกัน ผู้ทดลองคนเดียวกัน วันและเวลาใกล้เคียงกัน เป็นต้น

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลมักนำไปใช้ในการทดลองที่มีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง กลยุทธ์ของการทดลองนี้คือการปรับเปลี่ยนหลายๆ ปัจจัยไปพร้อมกันแทนที่จะทำการปรับทีละค่า และคุณลักษณะที่สำคัญประการหนึ่งคือการใช้ข้อมูลจากการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาระดับของผลกระทบของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยได้ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ได้แก่

- 1) การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย เป็นการออกแบบชนิดที่ง่ายที่สุดของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย เช่น ปัจจัย A ที่มี a ระดับและปัจจัย B ที่มี b ระดับ ในแต่ละการทำซ้ำของการทดลองจะประกอบไปด้วยหน่วยทดลอง (treatment combination) ที่มีจำนวนเท่ากับ $a \times b$ โดยทั่วไปจะมีจำนวนการทำซ้ำทั้งหมด n ครั้ง

- 2) การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบที่มีจำนวนปัจจัย k ปัจจัย และแต่ละปัจจัยมีเพียง 2 ระดับ ระดับในที่นี้อาจเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น สองค่าของอุณหภูมิ, ความดันหรือเวลา หรืออาจเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น สองเครื่องจักร, พนักงานสองคน, ค่าสูงและต่ำของระดับของปัจจัยหนึ่งๆ หรือในบางกรณีอาจแทนด้วยการมีหรือไม่มีของปัจจัยหนึ่ง การทำซ้ำที่สมบูรณ์ของการออกแบบดังกล่าวจะต้องมีจำนวนค่าสังเกตเท่ากับ 2^k การออกแบบ 2^k นี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานการทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีหลายปัจจัยที่ต้องการตรวจสอบ ด้วยจำนวนการทดลอง (Run) ที่น้อยจึงมีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย
- 3) การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^k เป็นการออกแบบที่ประกอบไปด้วยจำนวนปัจจัย k ปัจจัยและแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับคือ ระดับต่ำ, กลางและสูง หรืออาจแทนด้วยสัญลักษณ์ทั้ง 3 ระดับด้วยตัวเลข -1, 0 และ +1 ตามลำดับจะเห็นว่าการเพิ่มระดับที่ 3 ของปัจจัยจะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองและปัจจัยที่ออกแบบ มีแบบจำลองที่มีเทอมกำลังสองในสมการ การออกแบบ 3^k เหมาะสำหรับผู้ทดลองที่จะศึกษาเกี่ยวกับส่วนโค้งในฟังก์ชันผลตอบสนอง อย่างไรก็ตามการออกแบบนี้ก็ไม่ได้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์แบบพหุนามกำลังสอง

2.5.1 การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (2^{k-p} Fractional factorial designs)

การที่จำนวนปัจจัยในการออกแบบการทดลองแบบ 2^k เพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนของการทดลองที่จำเป็นสำหรับการทำซ้ำที่สมบูรณ์เพิ่มมากขึ้นเกินกว่าทรัพยากรของผู้ทดลองที่จะสามารถรองรับได้ ตัวอย่างเช่น การออกแบบ 2^6 จะต้องทำการทดลองทั้งหมด 64 การทดลอง ในการทดลองนี้มีทั้งหมด 63 องศาเสรี ซึ่งมีเพียง 6 องศาเสรีเท่านั้นที่สอดคล้องกับปัจจัยหลัก 15 องศาเสรีสอดคล้องกับอันตรกิริยาระหว่างสองปัจจัย ส่วนที่เหลืออีก 42 องศาเสรีจะเกี่ยวข้องกับอันตรกิริยา 3 ปัจจัยและอันดับที่สูงกว่า หากผู้ทดลองทำการตั้งสมมติฐานได้อย่างมีเหตุผลว่า อันตรกิริยาที่มีอันดับสูงสามารถที่จะละเลยได้ ส่วนผลกระทบหลักและอันตรกิริยาที่มีอันดับต่ำอาจหาได้จากการทดลองเพียงบางส่วนของ การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสมบูรณ์เท่านั้น การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลนี้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ออกแบบกระบวนการ ปรับปรุงกระบวนการและการทดลองในเชิงธุรกิจและอุตสาหกรรม

การใช้งานโดยส่วนใหญ่ของการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียล มักนำไปใช้ในตอนเริ่มแรกของโครงการ เพื่อทำการคัดกรองเอาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้น ซึ่งปัจจัยเหล่านั้นจะถูกนำไปตรวจสอบอย่างละเอียดในการทดลองเพิ่มเติมในภายหลัง การใช้งานการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียลให้ประสบความสำเร็จขึ้นอยู่กับแนวคิดสำคัญ 3 ประการ คือ

1. เมื่อมีหลายปัจจัยที่ถูกนำมาพิจารณา จะมีเพียงบางปัจจัยหลักและอันตรกิริยาอันดับต่ำเท่านั้นที่มีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อระบบหรือกระบวนการ
2. การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียลสามารถฉายไปสู่การทดลองที่ดีกว่า (ใหญ่กว่า) ในส่วนย่อยของปัจจัยที่มีผล
3. การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียลมีความเป็นไปได้ที่จะรวม 2 การทดลองหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ลำดับการทดลองที่ใหญ่กว่าทำให้สามารถประเมินผลกระทบของปัจจัยและอันตรกิริยาที่สนใจได้

ข้อดีประการหนึ่งของการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียลก็คือจำนวนการทดลอง (Run) ที่น้อยลงเมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปที่ระดับของปัจจัยเดียวกัน เช่น กรณีที่ผู้ทดลองมีปัจจัยที่อยู่ในความสนใจ 3 ปัจจัยและมี 2 ระดับ ซึ่งจะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด $2^3 = 8$ การทดลอง (กรณี 2^k แฟคตอเรียล) แต่หากผู้ทดลองมีข้อจำกัดและสามารถทำการทดลองได้เพียง $2^{3-1} = 4$ การทดลอง ซึ่งมีจำนวนครึ่งหนึ่งของการทดลองของการทดลองแบบเต็มรูป จึงเรียกการออกแบบการทดลองนี้ว่า “One-half Fraction of the 2^k Design” ในกรณีนี้จะเรียกการทดลองนี้ว่า “ 2^{3-1} Design”

2.5.1.1 โครงสร้างซ้ำซ้อน (Alias structure)

จากการที่เลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียล ผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม ยังไม่สามารถนำไปศึกษาได้ทันทีเนื่องจากเกิดโครงสร้างซ้ำซ้อน (Alias structure) ขึ้น ทำให้การตีความผลมีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งวิธีการหาโครงสร้างซ้ำซ้อนสามารถทำได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงเครื่องหมายบวกและลบของการออกแบบแบบแฟคตอเรียล 2^3 สำหรับการออกแบบการทดลองแบบ 2^{3-1} นั้นจะเลือกเครื่องหมายที่เป็นบวกในสดมภ์ ABC และจะเห็นว่ากลุ่มที่ถูกเลือกมีจำนวนครึ่งหนึ่งของการทดลองทั้งหมด เราจะเรียก ABC ว่าเป็นตัวก่อกำเนิด (Generator) หรือ “word” ของการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียลนี้และจะเรียกสดมภ์ที่มีเครื่องหมายบวกเสมือนนี้ว่า “Identity; I ”

กำหนดให้ $I = ABC$ และเรียกว่า Defining relation หากต้องการรู้ว่าผลลัพธ์ผลกระทบในแต่ละสดมภ์

มีโครงสร้างซ้ำซ้อนกับรหัสผลกระทบบ้าง หาได้จากผลคูณของ Defining relation กับรหัสผลกระทบนั้นๆ เช่น โครงสร้างซ้ำซ้อนของผลกระทบบ A

$$A \cdot I = A \cdot ABC = A^2BC$$

จากข้อกำหนดที่ว่า การนำรหัสของสดมภ์ (หรือผลกระทบบ) ยกกำลังสอง จะได้รับรหัสที่เท่ากับ “+1” เสมอ ดังนั้น $A = BC$ หมายความว่า ผลกระทบบ A มีโครงสร้างซ้ำซ้อนกับผลกระทบบ BC ในทำนองเดียวกันโครงสร้างซ้ำซ้อนสำหรับผลกระทบบ B และ C หาได้ดังนี้

$$B \cdot I = B \cdot ABC = AB^2C$$

$$B = AC$$

และ

$$C \cdot I = C \cdot ABC = ABC^2$$

$$C = AB$$

ตารางที่ 2.2 แสดงเครื่องหมายบวกและลบสำหรับ 2^2 แฟคตอเรียล

Treatment combination	Factorial Effect							
	I	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
A	+	+	-	-	-	-	+	+
B	+	-	+	-	-	+	-	+
C	+	-	-	+	+	-	-	+
Abc	+	+	+	+	+	+	+	+
Ab	+	+	+	-	+	-	-	-
Ac	+	+	-	+	-	+	-	-
Bc	+	-	+	+	-	-	+	-
(1)	+	-	-	-	+	+	+	-

2.5.1.2 เรโซลูชัน (Resolution)

เรโซลูชันเป็นการบ่งบอกถึงรายละเอียดในการออกแบบการทดลองว่าผลกระทบบหลักและอันตรกิริยาใดบ้างมีโครงสร้างซ้ำซ้อนกัน และจะกำหนดด้วยตัวเลขโรมัน III, IV, V ห้อยไว้เป็นสัญลักษณ์ในการออกแบบ ซึ่งมีนิยามดังนี้

1. Resolution III designs : ผลกระทบหลักไม่ซ้ำซ้อนกันเอง แต่จะซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย และผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยอาจซ้ำซ้อนกันเอง
2. Resolution IV designs : ผลกระทบหลักไม่ซ้ำซ้อนกันเองและไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย แต่ผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยซ้ำซ้อนกันเอง
3. Resolution V designs : ผลกระทบหลักไม่ซ้ำซ้อนกันเองและไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย แต่ผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย

โดยทั่วไป Resolution ของการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียลจะมีค่าเท่ากับ word ที่สั้นที่สุดที่อยู่ใน Defining relation เช่น การออกแบบการทดลองแบบ 2^{3-1} มี Defining relation, I = ABC ดังนั้นจะเรียกการออกแบบนี้ว่า 2^{3-1}_{III}

หลังจากที่ทำการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญแล้ว หากต้องการที่จะหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของผลตอบสนองเหล่านั้น การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสม

2.5.2 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM)

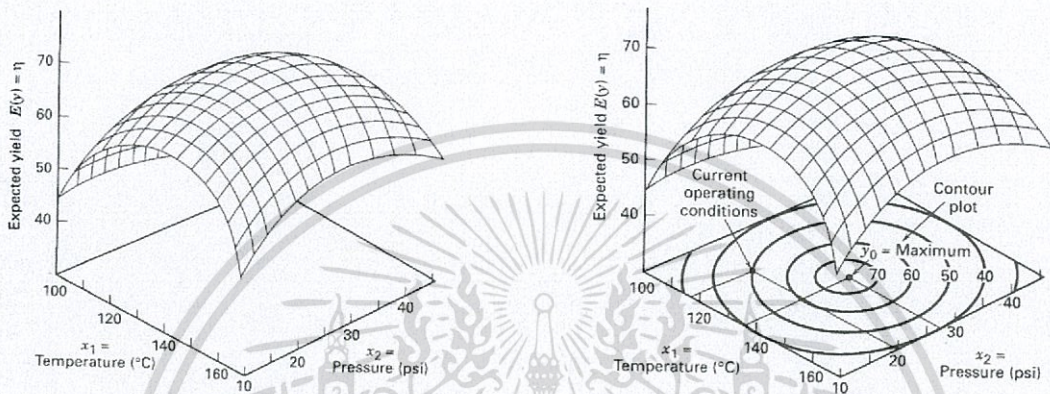
RSM เป็นวิธีการที่รวบรวมเอาเทคนิคด้านคณิตศาสตร์และสถิติ ที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหา ที่ซึ่งผลตอบสนองที่ผู้ทดลองสนใจนั้นได้รับอิทธิพลจากหลายๆปัจจัยและมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของผลตอบสนองนั้น เช่น ต้องการหาระดับของปัจจัย x_1 และ x_2 ที่ทำให้ผลตอบสนอง y มีค่าสูงสุด สามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$y = f(x_1, x_2) + \epsilon$$

เมื่อ ϵ คือค่าความผิดพลาด (Error) จากการทดลอง ถ้ากำหนดให้ผลตอบสนองที่คาดหวัง $E(y) = f(x_1, x_2)$ และกำหนดให้ $E(y) = \eta$ เมื่อ η แทนสัญลักษณ์ของพื้นผิวตอบสนอง เราอาจเขียนรูปแบบสมการพื้นผิวตอบสนองได้อีกแบบหนึ่งคือ $\eta = f(x_1, x_2)$

เรามักจะแสดงพื้นผิวผลตอบสนองแบบกราฟฟิก ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) ซึ่งเป็นการพล็อตค่าของผลตอบสนองที่คาดหวัง η เทียบกับระดับของ x_1, x_2 และยังสามารถพล็อตในแบบเส้นแสดงรูปร่าง (Contour plot) ของผลตอบสนองดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข) ซึ่งแสดงแนวเส้นค่าคงที่ของผลตอบสนองบนระนาบของ x_1, x_2 ในแต่ละแนวเส้นแสดงรูปร่างจะแทนค่าความสูงจำเพาะค่าใดค่าหนึ่งของพื้นผิวผลตอบสนอง

ปัญหาที่เกี่ยวกับ RSM ส่วนใหญ่จะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองและตัวแปรอิสระ ดังนั้นในขั้นแรก จะต้องทำการหาการประมาณค่าที่เหมาะสมเพื่อแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และกลุ่มของตัวแปรอิสระ โดยปกติจะใช้ฟังก์ชันพหุนามอันดับต่ำภายในบริเวณใดบริเวณหนึ่งของตัวแปรอิสระ ถ้าผลตอบสนองถูกจำลองได้ดีด้วยฟังก์ชันแบบเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ



(ก) การพล็อตพื้นผิวผลตอบสนองแบบสามมิติ (ข) การพล็อตเส้นแสดงรูปร่างของพื้นผิวผลตอบสนอง

รูปที่ 2.4 พื้นผิวผลตอบสนองแบบกราฟฟิก

ที่มา : Douglas C. Montgomery, 2013

ฟังก์ชันที่จะใช้ในการประมาณนี้คือ แบบจำลองกำลังหนึ่ง (First-order model) และแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.2

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (2.2)$$

เมื่อ

y คือ ค่าของผลตอบสนอง

β_0 คือ จุดตัดแกน y

β_1, \dots, β_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วนซึ่งเป็นค่าที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของ y เมื่อ x เปลี่ยนไป 1 หน่วย

x_1, x_2, \dots, x_k คือ ตัวแปรอิสระ

ϵ คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ถ้ามีส่วนโค้งในระบบ จะต้องใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้นมาใช้งาน เช่น แบบจำลองกำลังสอง (Second-order model) และแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.3

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \tag{2.3}$$

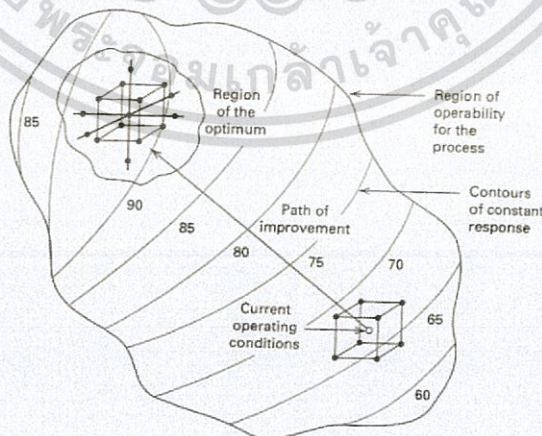
เมื่อ

β_{ii} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบพหุนามเมื่อยกกำลังสอง (Quadratic effect) จากปัจจัยที่ i ที่ระดับ i

β_{ij} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่ 1 ที่ระดับที่ i และปัจจัยที่ 2 ที่ระดับ j

$x_i x_j$ คืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่ 1 ที่ระดับที่ i และปัจจัยที่ 2 ที่ระดับ j

วิธีการ RSM จัดเป็นกระบวนการที่เป็นลำดับขั้น (Sequential procedure) กล่าวคือ เมื่อเราอยู่ ณ จุดๆ หนึ่งบนพื้นผิวผลตอบสนองที่ห่างไกลจากจุดที่เหมาะสมที่สุด เช่น ณ สถานะการผลิตในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เราสามารถใช้แบบจำลองกำลังสองในการประมาณค่าเพื่อที่จะเคลื่อนที่ตามเส้นทาง (Path) ไปยังบริเวณรอบๆ จุดที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และเมื่อพบบริเวณดังกล่าว แบบจำลองกำลังสองจะถูกนำมาใช้เพื่อการประมาณค่าอย่างละเอียด การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนองเปรียบเสมือน “การปีนเขา” ไปที่จุดที่สูงที่สุดซึ่งหมายถึงจุดที่ผลตอบสนองมีค่าสูงสุด และ “การลงหุบเขา” ไปยังจุดที่ต่ำที่สุดซึ่งหมายถึงจุดที่ผลตอบสนองมีค่าต่ำที่สุด (Montgomery, 2013)

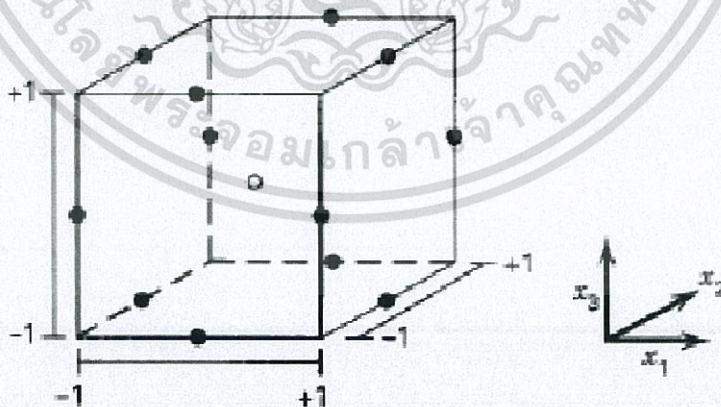


รูปที่ 2.5 ลำดับการทดลองแบบ RSM

ที่มา : Douglas C. Montgomery, 2013

ปัญหาเกี่ยวกับ RSM ส่วนใหญ่จะใช้แบบจำลองอย่างใดอย่างหนึ่งหรืออาจใช้ทั้งแบบจำลองกำลังหนึ่งและกำลังสองร่วมกันในการหาค่าของผลตอบสนอง แต่แบบจำลองทั้งสองแบบนี้ไม่สามารถใช้ประมาณค่าความสัมพันธ์ได้ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ ถ้าพื้นผิวที่สนใจมีขอบเขตขนาดใหญ่ การออกแบบเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบสนองสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีปีนเขาหรือลงเขาทางชัน (Steepest Ascent/Descent) การออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองกำลังหนึ่ง การออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองกำลังสอง ซึ่งการออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองกำลังสอง มีวิธีการที่นิยมใช้กัน ดังนี้

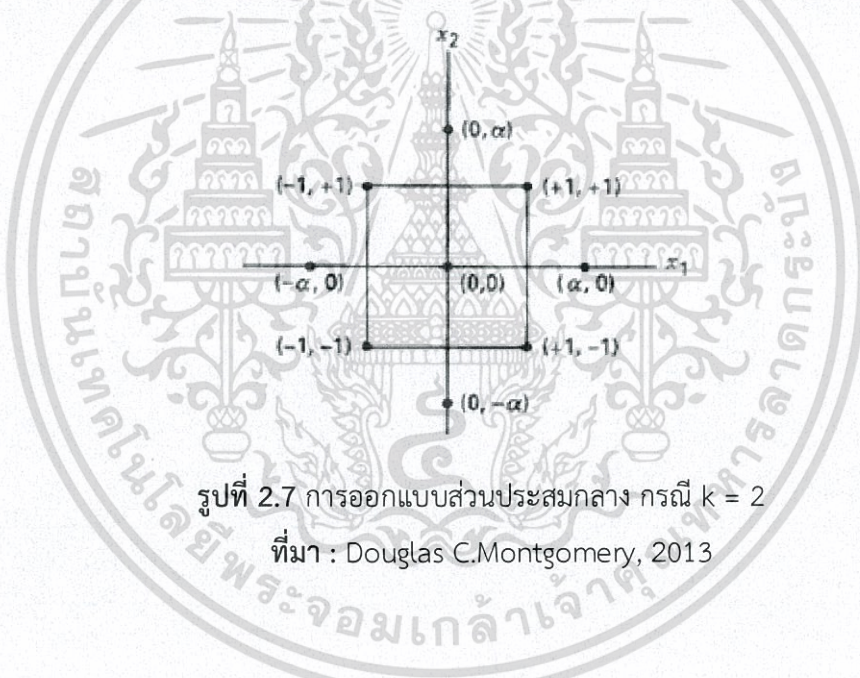
- 1) การออกแบบบ็อกซ์-เบนท์เคน (Box-Behnken Design; BBD) Box and Behnken (1960) ได้นำเสนอการออกแบบสามระดับสำหรับการฟิตพื้นผิวผลตอบสนอง การออกแบบนี้เกิดจากการรวม 2^k แฟคตอเรียลกับการออกแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ (Incompleted block design) ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพมากในแง่ของจำนวนรันและยังมีความสามารถในการหมุนหรือเกือบหมุนได้อีกด้วย เนื่องจากการออกแบบนี้เป็นการออกแบบรูปทรงกลมที่ทุกจุดวางอยู่บนทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ และไม่ได้รวมเอาจุดมุมของรูปลูกบาศก์ที่ถูกสร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของการออกแบบเนื่องจากการทดลองที่ขีดจำกัดบนและล่างอาจมีค่าใช้จ่ายสูงหรืออาจไม่สามารถทดสอบที่จุดดังกล่าวได้เนื่องจากมีข้อจำกัดทางกายภาพของกระบวนการ (Montgomery, 2013) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การออกแบบบ็อกซ์-เบนท์เคน 3 ปัจจัย

ที่มา : Douglas C. Montgomery, 2013

- 2) การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดสำหรับพีดีแบบจำลองกำลังสอง ความน่าสนใจของ CCD คือ การทดลองตามลำดับ (Sequential experimentation) ซึ่งประกอบไปด้วย 2^k แฟคตอเรียล (หรือการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียล) ที่มีจำนวน n_F รัน (เมื่อ F คือจุดมุม, การรันในแนวแกน $2k$ (เมื่อ k คือ จำนวนปัจจัย) และการรันที่จุดศูนย์กลาง (n_C) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ลักษณะการเรียงลำดับของการออกแบบมีความหมายที่ชัดเจน กล่าวคือ การรันที่จุดมุม (Factorial point) แสดงให้เห็นถึงความผันแปร การรันที่จุดศูนย์กลางทำให้รู้ถึงการมียู่ของส่วนโค้ง (Curvature) ในระบบ ถ้าพบว่ามีส่วนโค้งในระบบการเพิ่มการรันในแนวแกนจะทำให้การประมาณค่าของแบบจำลองกำลังสองมีประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งค่า α ที่เหมาะสมอาจกำหนดให้มีค่าเท่ากับ \sqrt{k}



รูปที่ 2.7 การออกแบบส่วนประสมกลาง กรณี $k = 2$
ที่มา : Douglas C.Montgomery, 2013

การกำหนดจำนวนรันที่จุดศูนย์กลางโดยทั่วไปมักกำหนด 3-5 รัน (Montgomery. 2013) ซึ่งเหตุผลที่ CCD เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมาก สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) เนื่องจากเป็นการทดลองตามลำดับ การรันการรันที่จุดมุมและจุดศูนย์กลาง แสดงให้เห็นถึงความผันแปร และการมียู่ของส่วนโค้งในระบบ อย่างไรก็ตามหากพบว่าไม่มีส่วนโค้งในระบบ การรันในแนวแกนก็ไม่จำเป็นต้องทำการทดลอง

- 2) การทดลองแบบ CCD สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยในการทดลองอย่างเพียงพอ และสามารถแสดงข้อมูลค่าความผิดพลาด (Error) จากการทดลองโดยรวม ด้วยจำนวนการรันที่น้อยตามความจำเป็น

2.5.3 ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability functions)

วิธีการฟังก์ชันความพึงพอใจ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ยิยมใช้ในการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในกรณีที่มีผลตอบสนองหลายตัว (Multiple response) ซึ่งจะทำให้การแปลงผลตอบสนองแต่ละตัว y_i ให้เป็นฟังก์ชันความพึงพอใจเดี่ยว (Individual desirability function) d_i ที่มีการแปลงค่าในช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้า $d_i = 1$ หมายถึง ผลตอบสนอง y_i มีค่าเท่ากับเป้าหมายหรือค่าคาดหวังที่กำหนด และ $d_i = 0$ เมื่อผลตอบสนองอยู่นอกช่วงที่ยอมรับได้ จากนั้นทำการหาค่าความพึงพอใจรวมสูงสุด (Maximize overall desirability) ดังสมการที่ 2.4

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_m)^{1/m} \quad (2.4)$$

เมื่อ m คือ จำนวนผลตอบสนอง และค่าความพึงพอใจรวมสูงสุดที่ได้นี้หมายถึงผลตอบสนองทุกตัวที่คาดว่าจะจะเป็นนั้นอยู่ในช่วงหรือขอบเขตตามที่ต้องการ

สำหรับฟังก์ชันความพึงพอใจเดียวนั้นมีนิยามที่แตกต่างกันออกไป โดยขึ้นอยู่กับผลตอบสนอง y ที่ต้องการ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. เมื่อต้องการผลตอบสนอง y ที่มีค่าสูงที่สุดและค่าความพึงพอใจ d หาได้จากสมการ 2.5

$$d = \begin{cases} 0 & , y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^r & , L \leq y \leq T \\ 1 & , y > T \end{cases} \quad (2.5)$$

2. เมื่อต้องการผลตอบสนอง y ที่มีค่าต่ำที่สุดและค่าความพึงพอใจ d หาได้จากสมการ 2.6

$$d = \begin{cases} 1 & , y < T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^r & , T \leq y \leq U \\ 0 & , y > U \end{cases} \quad (2.6)$$

เมื่อ

d คือ ค่าความพึงพอใจของผลตอบสนอง

y คือ ค่าของผลตอบสนอง

T คือ ค่าเป้าหมายของผลตอบสนอง

U คือ ค่าขอบเขตบนของผลตอบสนอง

L คือ ค่าขอบเขตล่างของผลตอบสนอง

r คือ ค่าน้ำหนัก (Weight) ของผลตอบสนอง

3. เมื่อต้องการกำหนดค่าเป้าหมาย (Target-the-best objective) ของผลตอบสนอง y ที่มีค่าอยู่ระหว่างขอบเขตบน U และขอบเขตล่าง L ค่าความพึงพอใจ d หาได้จากสมการ 2.7

$$d = \begin{cases} 0 & , y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^{r_1} & , L \leq y \leq T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^{r_2} & , T \leq y \leq U \\ 0 & , y > U \end{cases} \quad (2.7)$$

2.5.4 ช่วงความเชื่อมั่นของผลตอบสนองเฉลี่ย (Confidence interval on the mean response)

ช่วงความเชื่อมั่น คือ พิสัยของค่าสถิติจากกลุ่มตัวอย่าง โดยทั่วไปมักแสดงผลในรูปแบบของขอบเขตบนและล่าง ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าค่าของผลตอบสนองอยู่ภายใต้ค่าพิสัยนี้ เป็นการประมาณค่าเฉลี่ยของผลตอบสนอง μ_y เมื่อกำหนดให้ค่าของตัวพยากรณ์เป็น $\mathbf{X}_h = (1, X_{h,1}, X_{h,2}, \dots, X_{h,p-1})^T$ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ของค่าพิสัยของ \mathbf{X}_h (Department of Statistics online Programs, 2016) แสดงดังสมการที่ 2.8

$$se(\hat{y}_h) = \sqrt{\text{MSE}(\mathbf{X}_h^T (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}_h)} \quad (2.8)$$

และช่วงความเชื่อมั่น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$\hat{y}_h \pm t_{(\frac{\alpha}{2}, n-p)} \times se(\hat{y}_h) \quad (2.9)$$

เมื่อ

\hat{y}_h คือ ค่าพยากรณ์ (Predicted value) ของผลตอบสนองเมื่อค่าของตัวพยากรณ์คือ \mathbf{X}_h

$t_{(\frac{\alpha}{2}, n-p)}$ คือ ค่าวิกฤติของการทดสอบ t ที่มีองศาอิสระเท่ากับ $n - p$

MSE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสอง (Mean Square Error)

2.5.5 การพยากรณ์ค่าตัวแปรตอบสนองของค่าสังเกตใหม่ (Prediction of new response observations)

กำหนดให้ y_{new} เป็นค่าของผลตอบสนอง ซึ่งเป็นค่าสังเกตตัวใหม่ การหาช่วงการพยากรณ์ (Prediction interval) เมื่อกำหนดค่าของตัวพยากรณ์ที่สนใจเป็น $\mathbf{X}_h = (1, X_{h,1}, X_{h,2}, \dots, X_{h,p-1})^T$ (Department of Statistics online Programs, 2016) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.10

$$\hat{y}_h \pm t_{(\frac{\alpha}{2}, n-p)} \times \sqrt{\text{MSE} + [\text{se}(\hat{y}_h)]^2} \quad (2.10)$$

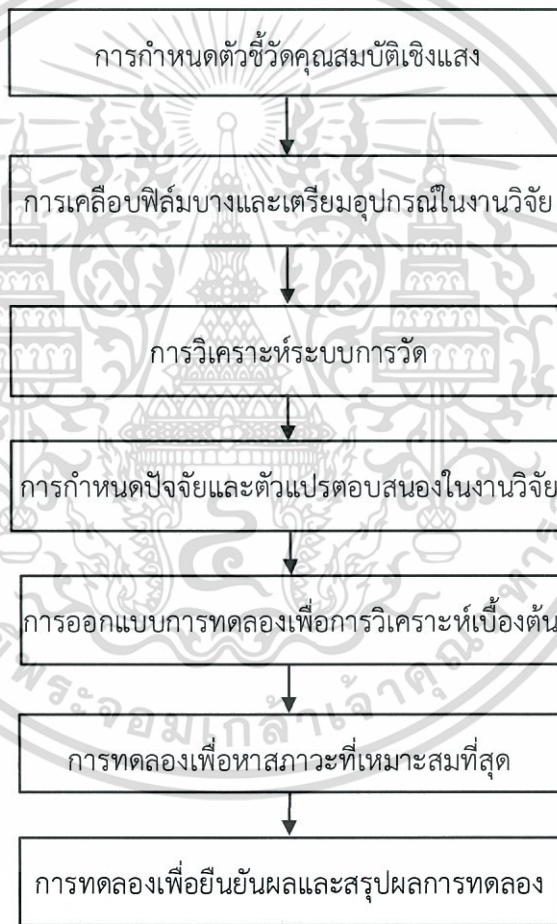
เมื่อ

\hat{y}_h คือ ค่าพยากรณ์ (Predicted value) ของผลตอบสนองเมื่อค่าของตัวพยากรณ์คือ \mathbf{X}_h
 $t_{(\frac{\alpha}{2}, n-p)}$ คือ ค่าวิกฤติของการทดสอบ t ที่มีองศาอิสระเท่ากับ $n - p$
 $\sqrt{\text{MSE} + [\text{se}(\hat{y}_h)]^2}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอตัวชี้วัดคุณภาพเพิ่มเติมของตัวกรองเชิงแสงและศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อลักษณะสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงของการเคลือบแบบ AR ในกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็งด้วยลำอิเล็กตรอนโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ ซึ่งแบ่งออกเป็นขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การกำหนดตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสง

ตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสงที่นำเสนอเพิ่มเติมในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงระหว่างการออกแบบกับการเคลือบจริงและความผันแปรของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงภายในฐานรองรับ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมระหว่างการออกแบบกับการเคลือบจริง

งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการออกแบบการเคลือบแบบ AR ด้านเดียว ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป TFCalc 3.5.14 เส้นโค้งสเปกตรัมที่ได้ แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยที่เส้นโค้งสเปกตรัมนี้จะถูกออกแบบให้สูงกว่าข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งกำหนดไว้ที่ 95% จากนั้นข้อมูลอัตราการทะลุผ่านของแสงในช่วง 420-850 nm จะถูกนำออกไปยังโปรแกรม Notepad เพื่อเตรียมนำไปคำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งด้วยโปรแกรม MATLAB ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 เส้นโค้งสเปกตรัมจากการออกแบบ

ฐานรองรับที่ถูกเคลือบแล้วจะถูกวัดด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่บริเวณจุดศูนย์กลาง ข้อมูลอัตราการทะลุผ่านของแสงในช่วง 420-850 nm ที่ได้จากการวัดจะถูกนำออกไปยังโปรแกรม Microsoft excel เพื่อเตรียมนำไปคำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

การคำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งของข้อมูลจากการออกแบบและการเคลือบจริง จะทำการคำนวณด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal rule) โดยการแบ่งพื้นที่ใต้เส้นโค้งออกเป็นส่วนย่อยๆ n ส่วนเท่าๆ กัน

แล้วสร้างพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูจากช่วงย่อยๆ เหล่านี้ จากนั้นทำการรวมพื้นที่จากสี่เหลี่ยมคางหมวย่อยๆ เข้าด้วยกัน ก็จะทำให้ได้ค่าอินทิกรัลซึ่งก็คือพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่ต้องการ(ปราโมทย์ เดชะอำไพ และ นิพนธ์ วรรณโสภากย์. 2553) ดังรูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการกระจายของฟังก์ชัน $f(x)$ ใดๆ ในช่วง $a \leq x \leq b$ และแบ่งช่วง a ถึง b ออกเป็น n ช่วงดังนั้นความกว้างแต่ละช่วงของ h คือ $\frac{b-a}{n}$

ถ้ากำหนดให้ I คือ ค่าอินทิกรัลที่ต้องการทราบค่า จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

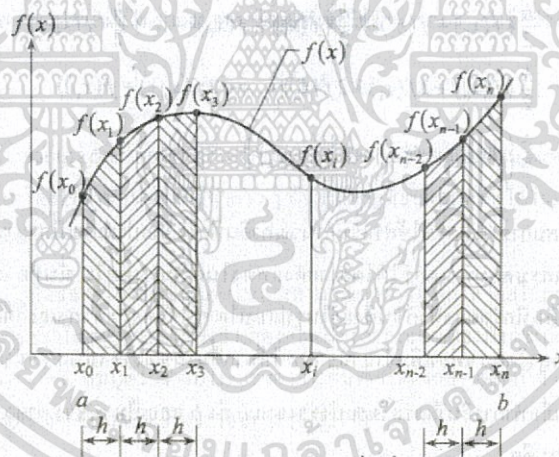
$$I = \frac{1}{2} h [f(x_0) + 2f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)] \quad (3.1)$$

เมื่อ

I คือ ค่าอินทิกรัล (พื้นที่) ที่ต้องการทราบค่า

h คือ ช่วงกว้างในการเก็บข้อมูล (กำหนด 0.5 นาโนเมตร)

$f(x_0), f(x_1), \dots, f(x_n)$ คือ อัตราการทะลุผ่านของแสง ณ จุดที่เก็บข้อมูล



รูปที่ 3.3 การแบ่งพื้นที่ใต้เส้นโค้งเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู

ที่มา :ปราโมทย์ เดชะอำไพ, นิพนธ์ วรรณโสภากย์, 2553

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยคำนวณหาพื้นที่ดังกล่าว (ตัวอย่างคำสั่ง MATLAB แสดงดังตารางภาคผนวก ก.) และนำมาคำนวณหาผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัม ดังสมการที่ 3.2 และตัวอย่างของเส้นโค้งสเปกตรัมที่ได้จากการออกแบบและการเคลือบจริง แสดงดังรูปที่ 3.4

$$Y_A = \sum_{j=1}^n (y'_{1j} - y_{1j}) \quad (3.2)$$

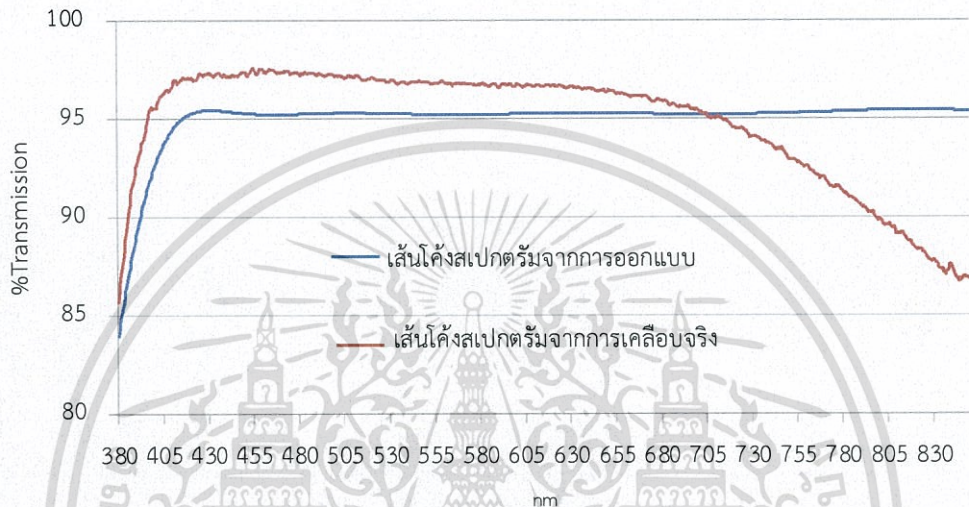
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

y'_{1j} คือ พื้นที่ใต้เส้นโค้งการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบ ($\%T \cdot nm$)

y_{1j} คือ พื้นที่ใต้เส้นโค้งการทะลุผ่านของแสงจากการเคลือบจริง ที่จุดวัดตำแหน่งที่ 1 ($\%T \cdot nm$)

j คือ ช่วงกว้างของการสุ่มตัวอย่าง (420,420.5,...850 nm)



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างของเส้นโค้งสเปกตรัมที่ได้จากการออกแบบและการเคลือบจริง

ซึ่งผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมที่มีค่าใกล้เคียงศูนย์แสดงว่าเส้นโค้งสเปกตรัมใกล้เคียงกับการออกแบบ ทำให้อัตราการทะลุผ่านของแสงสอดคล้องกับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ตามที่ลูกค้ากำหนด

3.1.2 ความผันแปรของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสง

ในการศึกษาเกี่ยวกับความผันแปรระหว่างจุดวัดของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงนั้น งานวิจัยนี้ได้นำเสนอค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสง ซึ่งคำนวณจากค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงจากเส้นโค้งสเปกตรัมที่ได้จากการวัดด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทั้ง 5 จุด ดังแสดงในสมการที่ 3.3 และแสดงตัวอย่างเส้นโค้งสเปกตรัมจากการวัด ดังรูปที่ 3.5

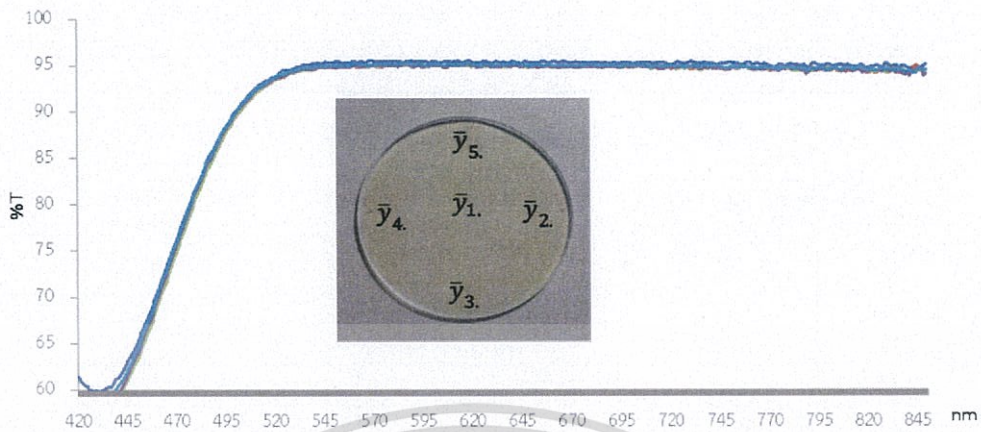
$$Y_B = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum_{i=1}^5 (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2)} \quad (3.3)$$

เมื่อ

\bar{y}_i คือ ค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสง ณ จุดใดๆ ($\%T$)

$\bar{y}_{..}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลอัตราการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยทั้ง 5 จุด ($\%T$)

i คือ ตำแหน่งในการวัด ($i = 1 \dots 5$)

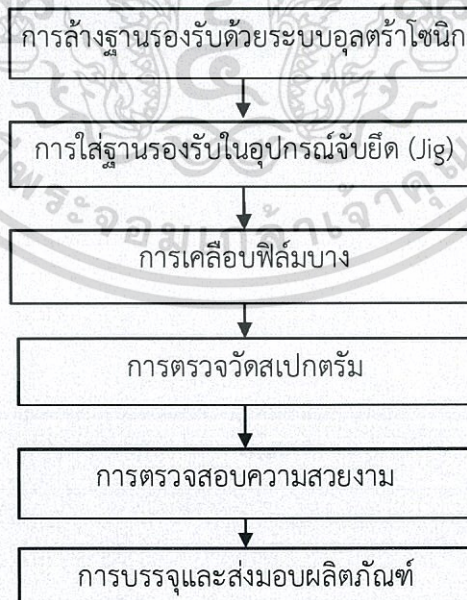


รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างจุดวัดและเส้นโค้งสเปกตรัมสำหรับคำนวณค่าเฉลี่ย

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงที่ใกล้เคียงศูนย์แสดงว่ามีความผันแปรภายในฐานรองรับต่ำ เมื่อถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อเป็นชิ้นส่วนประกอบทำให้สมรรถนะของตัวกรองเชิงแสงแต่ละชิ้นมีความแตกต่างกันน้อยและไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์

3.2 การเคลือบฟิล์มบางและเตรียมอุปกรณ์ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เคลือบผิวฟิล์มบาง ซึ่งสามารถสรุปเป็นกระบวนการผลิตแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เคลือบผิวฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เน้นไปที่ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางและการตรวจวัดสเปกตรัม ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการทำงานและมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน ดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบาง

ขั้นตอน	รายละเอียด
1. การเตรียมห้องเคลือบ	เป็นขั้นตอนการทำความสะอาดบริเวณเข้าหลอมสารเคมี ชัตเตอร์ (Shutter) และบริเวณพื้นห้องเคลือบ
2. การเตรียมฐานรองรับ	เป็นขั้นตอนการนำฐานรองรับที่ล้างเสร็จแล้วใส่ลงในตัวจับยึดและนำไปวางในโดม (Dome) สำหรับเคลือบ
3. การเติมสารเคมี	เติมสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบบริเวณเข้าหลอมทั้งสองข้างและเติมในปริมาณที่กำหนด
4. การเดินระบบสุญญากาศและปรับอุณหภูมิห้องเคลือบ	ปรับสภาพห้องเคลือบให้อยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศและอุณหภูมิที่กำหนด
5. การเคลือบสาร	ทำการเคลือบสารตามค่าควบคุมที่กำหนด เช่น ความหนา จำนวนชั้นของฟิล์ม อัตราความเร็วของสารเคลือบ และปริมาณความดันก๊าซออกซิเจน
6. การวัดสเปกตรัม	เมื่อทำการเคลือบเสร็จแล้ว ทำการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงในช่วงความยาวคลื่นที่กำหนด

สำหรับวัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบางสำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย

1. เครื่องเคลือบฟิล์มบาง

เครื่องเคลือบด้วยระบบระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผลิตโดยบริษัท

Shincron ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.7

2. ฐานรองรับแก้ว (Glass substrate)

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ฐานรองรับแก้วรหัส B270 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร หนา 1.0 มิลลิเมตร แก้วชนิดนี้จัดในกลุ่มแก้วคราวน์ (Crown glass) ซึ่งมีค่าดัชนีการหักเหแสง

(Refractive index) ประมาณ 1.52 (Macleod. 2001) ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 เครื่องเคลือบด้วยระบบประเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน

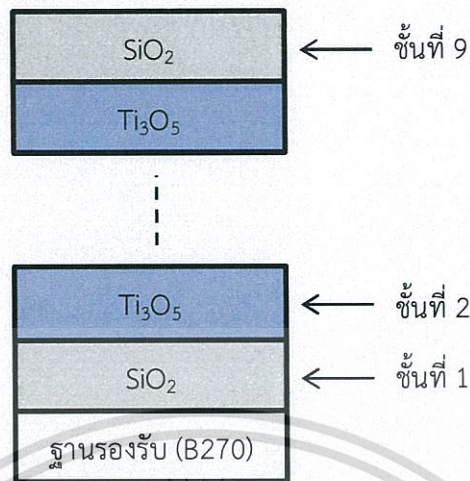
ที่มา : http://www.ocj.co.jp/english/products/p_management/IMAGE_P_MANAGEMENT_4



รูปที่ 3.8 ฐานรองรับแก้วรหัส B270

3. ความหนาและจำนวนชั้นของฟิล์มที่ใช้เคลือบ

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบความหนาและจำนวนชั้นของฟิล์มด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป TFCalc 3.5.14 ได้ความหนารวม 493 นาโนเมตร จำนวนทั้งหมด 9 ชั้น สำหรับการเคลือบนั้นจะทำการเคลือบเพียงหนึ่งด้านโดยสลับกันเป็นชั้นๆ (Stack) ด้วยซิลิกอนไดออกไซด์และไททาเนียมเพนทอกไซด์โครงสร้างของชั้นฟิล์ม แสดงดังรูปที่ 3.9



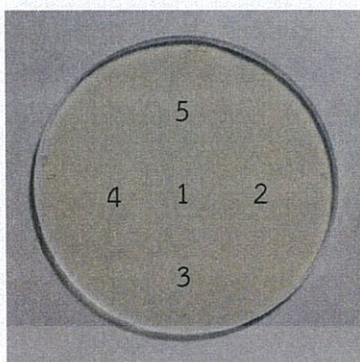
รูปที่ 3.9 โครงสร้างของชั้นฟิล์ม

4. เครื่องมือวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ทำการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสงของฐานรองรับแก้วหลังจากที่ทำการเคลือบฟิล์มบาง โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ของบริษัท Hitachi รุ่น U4000 ทำการวัดที่บริเวณจุดศูนย์กลาง และสุ่มวัดเพิ่มอีก 4 จุด ในบริเวณรอบๆ จุดศูนย์กลางของฐานรองรับ โดยวัดในช่วงความยาวคลื่น 420 – 850 นาโนเมตร มุมตกกระทบของแสง (Incident angle) ศูนย์องศาและช่องแสง (Slit) ขนาด 5 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกนำไปคำนวณหาผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งและความผันแปรต่อไป



รูปที่ 3.10 แสดงการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์



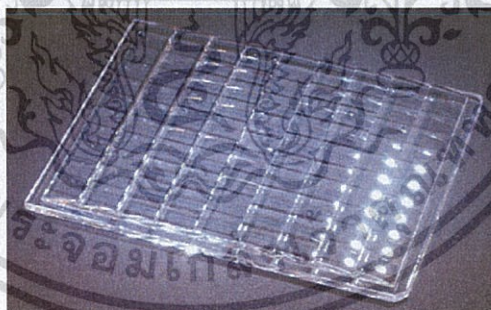
รูปที่ 3.11 ตำแหน่งการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสงบนฐานรองรับ

3.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด

ใช้หลักการความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด และใช้วิธีอาศัยวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับประเมินความสามารถและสร้างความเชื่อมั่นของระบบการวัดสำหรับเครื่องมือวัดอัตราการทะลุผ่านของแสง

3.3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ทำการสุ่มเลือกเลนส์แก้วสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 31 มิลลิเมตร x 32 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกเคลือบผิวแล้วหนึ่งด้านในกระบวนการผลิต จำนวน 10 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 3.12



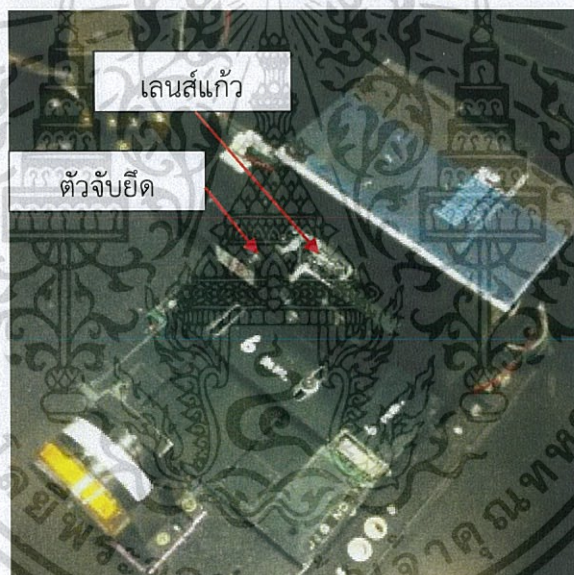
รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ที่มา : <http://www.isuzuglass.com/products/lens-integrated.html>

ขั้นตอนการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสงของเลนส์แก้วด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Hitachi รุ่น U4000 มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทำ Base line เพื่อกำหนดช่วงความยาวคลื่นและอัตราการทะลุผ่านของแสงที่ต้องการแสดงผล ที่ 380 – 850 นาโนเมตร และ 0-100% ตามลำดับ กำหนดมุมตกกระทบของแสง (Incident angle) ศูนย์องศาและช่องแสง (Slit) ขนาด 5 นาโนเมตร
2. ใส่เลนส์ที่ต้องการวัดในตัวจับยึด (Jig) ซึ่งจะถูกวัดบริเวณตรงกลางเลนส์ แสดงดังรูปที่ 3.13
3. เริ่มการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงในช่วง 420 – 680 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงของข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (Specification) ที่นำมาทดสอบ



รูปที่ 3.13 แสดงการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสง

3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิเคราะห์ระบบการวัด

ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อศึกษาความสามารถของระบบการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสง โดยการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของระบบการวัด ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ปัจจัยคือ พนักงานวัด และเลนส์แก้ว โดยใช้เลนส์แก้วจำนวน 10 ชิ้น ทำการวัดซ้ำ 2 ครั้งและทำการวัดด้วยพนักงาน 3 คน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด $10 \times 2 \times 3 = 60$ ข้อมูล

โดยพนักงานแต่ละคนทำการวัดชิ้นงานโดยการสุ่มและให้วัดทีละคน (Randomized run within operators) เนื่องจากทำงานเป็นระบบกะ (Shift) ไม่สามารถทำการวัดในเวลาเดียวกันได้

3.3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB16 โดยใช้ ANOVA จากนั้นทำการศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดว่ามีผลอย่างไรมีผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ กรณีที่อิทธิพลร่วมไม่มีนัยสำคัญให้ทำการตรวจสอบอิทธิพลหลักตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์อัตราของค่าความผันแปรของระบบการวัดต่อข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) ของผลิตภัณฑ์ โดยอ้างอิงเกณฑ์การยอมรับความสามารถระบบการวัดตามตารางที่ 2.1

3.4 การกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลและกำหนดตัวแปรตอบสนอง

3.4.1 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัยที่ทำการศึกษานี้เป็นปัจจัยที่กำหนดให้มีการควบคุมในกระบวนการผลิต ซึ่งมีทั้งหมด 5 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งการกำหนดระดับของปัจจัยนี้ผู้วิจัยได้พิจารณาถึงผลกระทบต่อข้อบกพร่องด้านลักษณะปรากฏ (Appearance defect) ความทนทานของผิวฟิล์ม (Durability) และผลิตภาพ (Productivity) ที่อาจเกิดขึ้นได้หากกำหนดระดับของปัจจัยต่างๆ สูงหรือต่ำเกินไปดังนั้นจึงทำการกำหนดช่วงของปัจจัยที่ศึกษาตามที่กำหนดในกระบวนการผลิตในปัจจุบัน

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น

ปัจจัย	ระดับต่ำ	ระดับสูง	หน่วย
A:ระดับสุญญากาศ	0.004	0.0027	Pa
B:อัตราความเร็วสารเคลือบ Ti_3O_5	2	4	Å/Sec
C:อัตราความเร็วสารเคลือบ SiO_2	7	10	Å/Sec
D:อุณหภูมิห้องเคลือบ	250	290	Celsius
E:ความดันก๊าซออกซิเจน	0.013	0.027	Pa

3.4.2 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลตอบสนองแบบหลายตัว (Multiple responses) ประกอบไปด้วย ผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมระหว่างการออกแบบกับการเคลือบจริง

และความผันแปรของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงภายในชิ้นงานซึ่งได้ใช้เป็นตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสงของตัวกรองและอธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 3.1

3.5 การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น

ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2^{5-2} ด้วยโปรแกรม MINITAB 16 ได้ทั้งหมด 8 การทดลอง ตัวอย่างชิ้นงาน 1 ชิ้นต่อการทดลอง โดยทำการทดลองแบบสุ่มและไม่ทำซ้ำ เนื่องจากมีต้นทุนในการทดสอบสูงและสามารถประมาณการค่าความผิดพลาด (Estimated error) ของการทดลองได้ จากนั้นอาศัยคุณสมบัติการฉาย (The projection property) ของการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 วัน (Blocking) เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านวันและเวลาในการทดลองซึ่งใช้เทคนิคนี้ในการกรองปัจจัยต่างๆ ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อผลตอบสนอง

ในการวิเคราะห์ผลเบื้องต้นนี้จะทำการวิเคราะห์ผลตอบสนอง Y_4 ก่อนเป็นลำดับแรกเนื่องจากการผลิตจริงต้องการให้เส้นโค้งสเปกตรัมของตัวกรองเชิงแสงมีลักษณะใกล้เคียงกับการออกแบบ ซึ่งเป็นสิ่งที่ถูกค่าให้ความสำคัญมากที่สุด

3.6 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย ด้วยวิธีความลาดชันที่สุด (Steepest descent method) และวิธีส่วนประสมกลาง (Central composite design) จากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลต่างของพื้นที่ได้เส้นโค้งอย่างมีนัยสำคัญจากผลการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยมีปัจจัยและระดับของปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย

ปัจจัย	ระดับต่ำ	ระดับสูง	หน่วย
อัตราความเร็วสารเคลือบ Ti_3O_5	2.0	2.4	Å/Sec
ความดันก๊าซออกซิเจน	0.028	0.034	Pa

จากนั้นทำการออกแบบตารางการทดลองด้วยโปรแกรม MINITAB 16 โดยใช้ปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 3.3 และทำการทดลองการเคลือบฟิล์มบาง วัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงเพื่อคำนวณค่าของผลตอบสนองและนำค่าผลตอบสนองที่ได้ไปใส่ในตารางออกแบบการทดลอง

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มวัดอัตราการทะลุผ่านของแสงเพิ่มอีก 4 จุด เพื่อนำไปคำนวณหาผลตอบสนอง Y_B และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนพร้อมกับผลตอบสนอง Y_A จากนั้นทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

1. วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลตอบสนองทั้งสอง Y_A และ Y_B
2. ตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในทางสถิติ
3. หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยจากแบบจำลองพื้นผิวตอบสนอง โดยใช้ Response Optimizer ร่วมกับฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability function)

3.7 การทดลองเพื่อยืนยันผลและสรุปผลการทดลอง

เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยจากการวิเคราะห์ข้างต้นแล้ว ทำการทดลองเคลือบฟิล์มบางอีก 3 ครั้ง เพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้ อย่างไรก็ตามค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จาก Response Optimizer นั้นเป็นการพยากรณ์จากตัวสถิติ ซึ่งจะมีค่าที่ผันแปรเสมอ เนื่องจากสาเหตุด้านความสามารถในการให้ผลซ้ำ (Reproducibility) ของการทดลอง ดังนั้นจึงควรเพิ่มสารสนเทศเกี่ยวกับพารามิเตอร์ด้านการกำหนดค่าประมาณของพารามิเตอร์ให้อยู่ในช่วงที่มีความเชื่อมั่นว่าจะครอบคลุมค่าที่แท้จริงของพารามิเตอร์ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองที่ได้ในแต่ละครั้งว่าอยู่ภายในช่วงการพยากรณ์ (Prediction interval) และค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองว่าอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) 95% หรือไม่

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากผลการทดลองตามขั้นตอนในบทที่ 3 ในบทที่ 4 นี้ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองเป็น 4 ส่วนคือ การวิเคราะห์ระบบการวัด การทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด และการทดลองเพื่อยืนยันผล ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

ผลการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสง (แสดงดังตารางภาคผนวก ข.) ที่ได้จากการทดลองที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 3.3 ผู้วิจัยได้ใช้ฟังก์ชัน Gauge R&R ในโปรแกรม MINITAB 16 เพื่อวิเคราะห์ระบบการวัด และสามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนระบบการวัด

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	219.588	24.3986	8467.19	0.000
Operators	2	0.341	0.1705	59.16	0.000
Parts * Operators	18	0.052	0.0029	0.98	0.501
Repeatability	30	0.088	0.0029		
Total	59	220.068			

Alpha to remove interaction term = 0.05

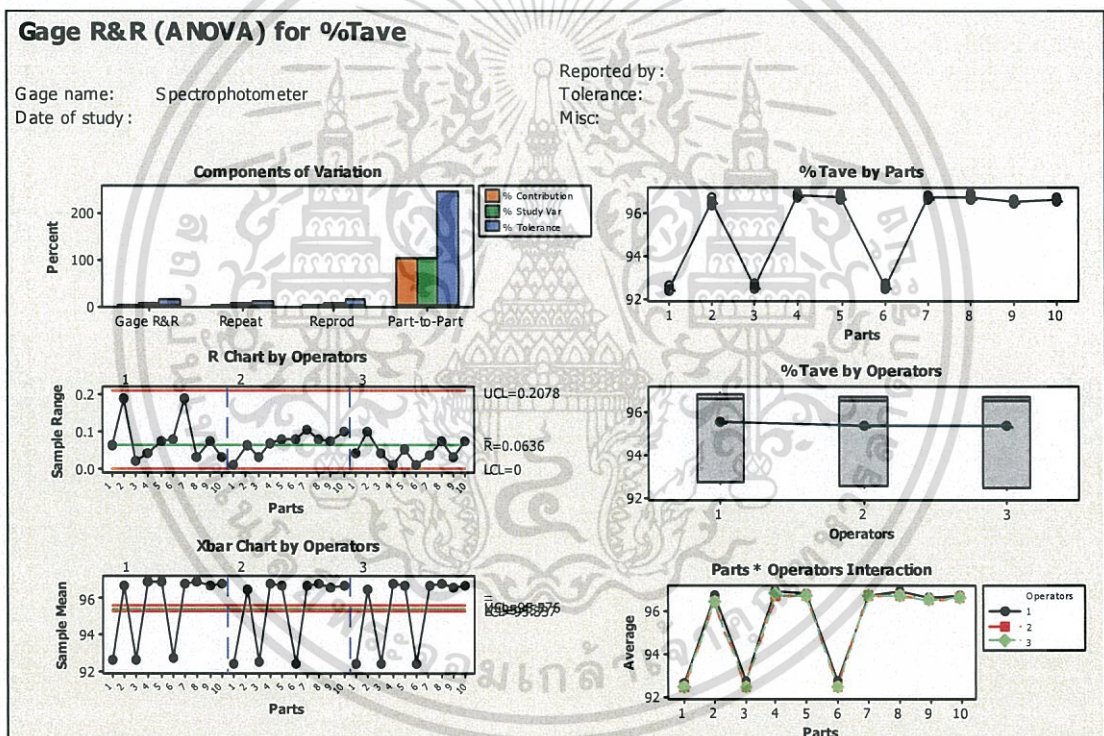
จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 4.1 พบว่าอิทธิพลร่วมของพนักงานวัดกับชิ้นงานไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงทำการรวมความผันแปรของอิทธิพลร่วมของพนักงานวัดกับชิ้นงานเข้ากับความผันแปรจากรีพีทเทเบิลตีในรูปของความแปรปรวนร่วม ดังแสดงในตัวอย่างลดรูป (Reduced model) ของตาราง Anova ดังแสดงผลในตารางที่ 4.2 ซึ่งจะพบว่าชิ้นงานทดสอบและพนักงานวัดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าวัดในระบบการวัดที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนระบบการวัด (ลดรูป)

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	219.588	24.3986	8384.72	0.000
Operators	2	0.341	0.1705	58.58	0.000
Repeatability	48	0.140	0.0029		
Total	59	220.068			

ในการประเมินถึงคุณภาพเบื้องต้นของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบการวัด จะแสดงผลในรูปแบบของกราฟ ดังรูปที่ 4.1 สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB 16

1. พิจารณาแผนภูมิแท่ง ซึ่งแสดงถึงความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ จะพบว่าเป็นความผันแปรที่มีผลมาจากกระบวนการผลิตเป็นส่วนใหญ่
2. พิจารณาแผนภูมิ R ซึ่งแสดงค่าพิสัยจากการวัดซ้ำที่ขึ้นงานแต่ละชิ้นของพนักงานแต่ละคน พบว่าลักษณะความผันแปรของพนักงานแต่ละคนมีความแตกต่างกันซึ่งอาจเกิดจากทักษะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พนักงาน อย่างไรก็ตามค่าพิสัยทุกจุดยังคงอยู่ภายในพิสัยควบคุม แสดงว่าค่าวัดที่ได้จากระบบการวัดมีความคงรูปดี

3. พิจารณาแผนภูมิ Xbar ซึ่งแสดงข้อมูลของค่าเฉลี่ยจากการวัดซ้ำที่ขึ้นงานแต่ละชิ้นของพนักงานแต่ละคน จะพบว่าข้อมูลแต่ละตัวจะอยู่นอกพิสัยควบคุม หมายความว่าข้อมูลแต่ละตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
4. พิจารณาแผนภูมิเส้น “%Tave by Parts” ซึ่งแสดงข้อมูลการวัดทั้งหมดที่ทำการศึกษาของขึ้นงานทดสอบแต่ละตัว จะพบว่าข้อมูลการวัดซ้ำของขึ้นงานแต่ละตัวมีความผันแปรน้อยมาก (จุดที่พล็อตบนแผนภูมิเกือบเป็นจุดเดียวกัน)
5. ในการพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างขึ้นงานและพนักงานวัด จากกราฟ Parts*Operators Interaction พบว่าเส้นกราฟไม่ตัดกันอย่างชัดเจน แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างขึ้นงานและพนักงานวัด

ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัด แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ndc มีค่าเท่ากับ 26 (แสดงในตารางที่ 4.3) แสดงว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติในการแยกข้อมูลออกได้เป็น 26 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้แบ่งแยกความผันแปรของกระบวนการได้
2. ค่า “StdDev” แสดงความผันแปรจากขึ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดลอง ซึ่งจะพบว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ทดลองทั้งหมดมีค่า 2.01922 เป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากขึ้นงานทดสอบเท่ากับ 2.01642 และเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัด 0.10624
3. ค่า “%Study Var” แสดงถึงความผันแปรเมื่อมีการประเมินเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (TV) ซึ่งเทียบเป็นสัดส่วนร้อยละ จะพบว่าความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิตเท่ากับ 99.86% และความผันแปรจากระบบการวัดเท่ากับ 5.26%
4. ค่า “%Tolerance” แสดงถึงความผันแปรเมื่อมีการประเมินเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดที่ 5% จะพบว่าความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิตเท่ากับ 241.97% และความผันแปรจากระบบการวัดเท่ากับ 12.75%
5. ค่า “%Contribution” แสดงถึงความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่ส่งผลต่อความผันแปรโดยรวม จะพบว่าความผันแปรจากกระบวนการผลิตเท่ากับ 99.72% และความผันแปรจากระบบการวัดเท่ากับ 0.28%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.01129	0.28
Repeatability	0.00291	0.07
Reproducibility	0.00838	0.21
Operators	0.00838	0.21
Part-To-Part	4.06595	99.72
Total Variation	4.07724	100.00

Process tolerance = 5

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.10624	0.6375	5.26	12.75
Repeatability	0.05394	0.3237	2.67	6.47
Reproducibility	0.09153	0.5492	4.53	10.98
Operators	0.09153	0.5492	4.53	10.98
Part-To-Part	2.01642	12.0985	99.86	241.97
Total Variation	2.01922	12.1153	100.00	242.31

Number of Distinct Categories = 26

จากข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความผันแปรของระบบการวัดข้างต้น พบว่ามีความผันแปรอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (ดังแสดงในตาราง 2.1) จึงสรุปได้ว่าสามารถยอมรับความสามารถระบบการวัดนี้ได้

4.2 ผลการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น

การทดลองขั้นต้นเป็นการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_A ซึ่งปัจจัยและระดับของปัจจัยได้มีการกำหนดดังแสดงในตารางที่ 3.1 ออกแบบการทดลองโดยใช้การทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียล 2^{5-2} Resolution III โดยใช้ Generator $D=AB$, $E=AC$ และ Block = BC Defining relation $I = ABD = ACE = BCDE$ ซึ่งผลกระทบหลักไม่ซ้ำซ้อนกันเองแต่อาจซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมสองปัจจัย โดยมีโครงสร้างซ้ำซ้อนและรูปแบบการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ ลักษณะเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงที่วัดได้จากแต่ละการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.2 จากนั้นใช้โปรแกรม MATLAB คำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งของสเปกตรัม โดยใช้ข้อมูลอัตราการทะลุผ่านของแสงในตารางภาคผนวก ค.1 จากนั้นคำนวณหาผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมระหว่างการออกแบบกับการเคลือบจริงด้วยสมการ 3.2

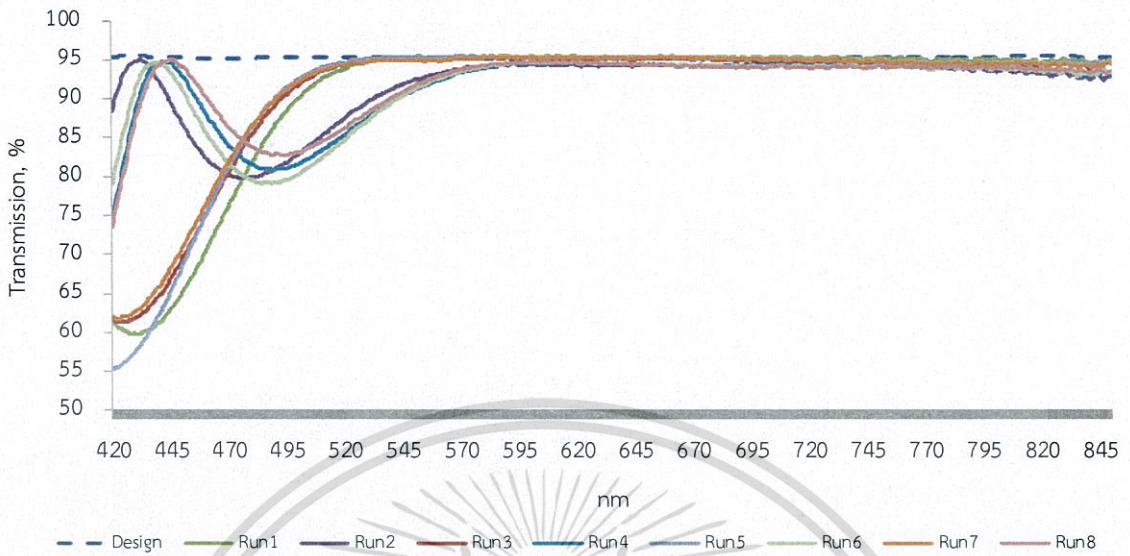
ตารางที่ 4.4 โครงสร้างซ้ำซ้อน

Blk = BC + DE + ABE + ACD
 A + BD + CE + ABCDE
 B + AD + CDE + ABCE
 C + AE + BDE + ABCD
 D + AB + BCE + ACDE
 E + AC + BCD + ABDE
 BE + CD + ABC + ADE

ตารางที่ 4.5 รูปแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น

RunOrder	Blocks	A	B	C	D	E
1	1	1	1	-1	1	-1
2	1	-1	-1	1	1	-1
3	1	-1	1	-1	-1	1
4	1	1	-1	1	-1	1
5	2	-1	1	1	-1	-1
6	2	1	-1	-1	-1	-1
7	2	1	1	1	1	1
8	2	-1	-1	-1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น

4.2.1 ผลการคำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง

จากตัวอย่างคำสั่ง MATLAB ในภาคผนวก ก. ที่ใช้คำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการเคลือบจริง แสดงดังตารางที่ 4.6 และผลต่างของพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมระหว่างการออกแบบกับการเคลือบจริง แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งการทะลุผ่านของแสง

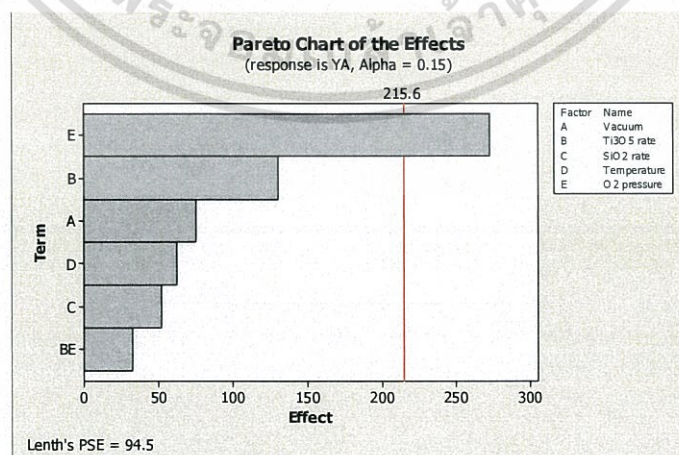
การ	Run	Run	Run	Run	Run	Run	Run	Run
ออกแบบ	Order1	Order2	Order3	Order4	Order5	Order6	Order7	Order8
40977	39170	39310	39338	39564	39006	39193	39451	39422

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น

RunOrder	Blocks	A	B	C	D	E	Y_A
1	1	1	1	-1	1	-1	1807
2	1	-1	-1	1	1	-1	1667
3	1	-1	1	-1	-1	1	1639
4	1	1	-1	1	-1	1	1413
5	2	-1	1	1	-1	-1	1971
6	2	1	-1	-1	-1	-1	1784
7	2	1	1	1	1	1	1526
8	2	-1	-1	-1	1	1	1555

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลกระทบของปัจจัยต่อผลตอบสนอง Y_A จากการวิเคราะห์จะเห็นว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบ คือ ความดันก๊าซออกซิเจน (E) และอัตราความเร็วสารเคลือบ Ti_3O_5 (B)

ในการพิจารณาโครงสร้างซ้ำซ้อนดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าปัจจัย E และ B มีโครงสร้างซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมสองปัจจัยคือ AC และ AD ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากกราฟพารेटโต้ ดังรูปที่ 4.3 พบว่าปัจจัย A, C, D ไม่ส่งผลกระทบต่อผลตอบสนอง Y_A อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงทำการตัดผลกระทบร่วมและปัจจัยเหล่านี้ออกไปได้ จากนั้นทำการฉาย (Project) การทดลองลงเหลือ 2^2 design (ลดรูป) และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.3 กราฟพารेटโต้แสดงผลกระทบของปัจจัยต่อผลตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ลดรูป) ของตัวแปรตอบสนอง Y_A

Factorial Fit: YA versus Ti3O5 rate, O2 pressure

Estimated Effects and Coefficients for YA (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1670.3	33.89	49.28	0.000
Ti3O5 rate	131.0	65.5	33.89	1.93	0.125
O2 pressure	-274.0	-137.0	33.89	-4.04	0.016
Ti3O5 rate*O2 pressure	-32.5	-16.2	33.89	-0.48	0.657

S = 95.8632 PRESS = 147036
R-Sq = 83.54% R-Sq(pred) = 34.17% R-Sq(adj) = 71.20%

Analysis of Variance for YA (coded units)

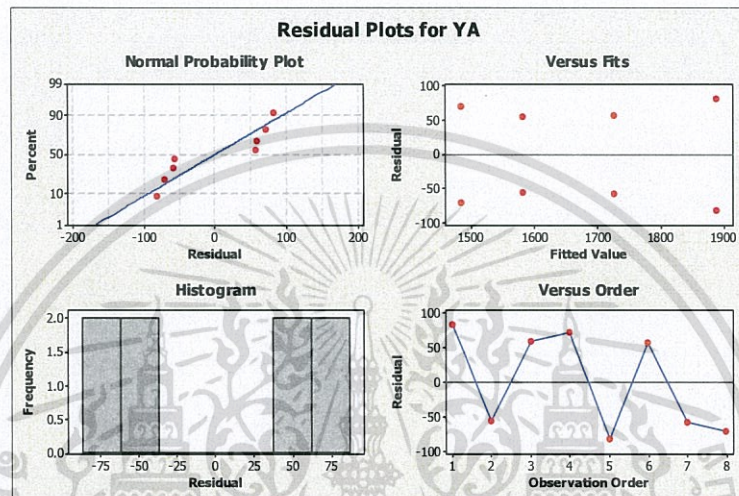
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	184474	184474	92237	10.04	0.028
Ti3O5 rate	1	34322	34322	34322	3.73	0.125
O2 pressure	1	150152	150152	150152	16.34	0.016
2-Way Interactions	1	2112	2112	2112	0.23	0.657
Ti3O5 rate*O2 pressure	1	2112	2112	2112	0.23	0.657
Residual Error	4	36759	36759	9190		
Pure Error	4	36759	36759	9190		
Total	7	223345				

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของตัวแปรตอบสนอง Y_A จะเห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง Y_A ที่ระดับนัยสำคัญ 0.15 คือความดันก๊าซออกซิเจน (E), อัตราความเร็วสารเคลือบ Ti_3O_5 (B)

สำหรับ Ti_3O_5 ซึ่งจัดเป็นวัสดุประเภทออกไซด์ จะมีการสูญเสียออกซิเจนอะตอมในระหว่างที่ทำการเคลือบ ทำให้ต้องมีการเติมออกซิเจนเข้าไปในระหว่างที่เคลือบด้วยปริมาณที่พอเหมาะเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ (Rancourt, 1987) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rao (2002) ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการเคลือบที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์พบว่าความดันก๊าซออกซิเจนและอัตราความเร็วของสารเคลือบส่งผลต่ออัตราการทะลุผ่านของแสงและความผันแปรของสเปกตรัมสูงขึ้นเมื่อมีการลดความดันก๊าซออกซิเจนหรือเพิ่มอัตราความเร็วสารเคลือบอย่างใดอย่างหนึ่ง และจากการศึกษาของ Shen et al. (2008) ศึกษาคุณสมบัติของไททาเนียมไดออกไซด์ฟิล์ม (TiO_2 film) เมื่อถูกเคลือบภายใต้ระดับความดันก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกันด้วยเทคนิคการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน โดยใช้ Ti_3O_5 เป็นวัสดุตั้งต้นยังพบว่าพบว่าการทะลุผ่านของแสงค่อยๆ สูงขึ้น เมื่อความดันของก๊าซออกซิเจนสูงขึ้น

ทดสอบความพอเพียงทางสถิติ จากกราฟส่วนตกค้าง (Residual plot) ดังรูปที่ 4.4 ตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลโดยใช้กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal probability plot) มี

ลักษณะไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากไม่มีการทดลองซ้ำทำให้มีจำนวนข้อมูลน้อย การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับค่า Fitted value พบการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ และการพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับครั้งที่ของการทดลอง (Observation order) พบว่ามีการกระจายตัวแบบสุ่มแสดงว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน จึงสรุปได้ว่ามีความพอเพียงทางสถิติ



รูปที่ 4.4 กราฟส่วนตกค้าง (Residual plot) ของตัวแปรตอบสนอง Y_A

4.3 ผลการทดลองเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมที่สุด

4.3.1 การประมวลผลด้วยวิธีความลาดชันที่ชันที่สุด (Steepest descent method)

จากการลดรูปการทดลองและวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว ทำให้ได้สมการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง Y_A ดังสมการที่ 4.1 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของสมการได้จากตารางที่ 4.8 และจะนำสมการนี้มาใช้ในการประมวลผลด้วยวิธีความลาดชันที่ชันที่สุด (Steepest descent method)

$$\hat{y}_A = 1670.3 + 65.5B - 137.0E \quad (4.1)$$

สำหรับสมการที่นำมาใช้ในการประมวลผลด้วยวิธีลาดชันที่ชันที่สุดผู้วิจัยได้นำสมการที่ (4.1) มาใช้เนื่องจากเป็นข้อกำหนดที่ลูกค้าให้ความสำคัญ การประมวลผลด้วยวิธีลาดชันที่ชันที่สุดใช้สมการในรูปของ coded โดยปัจจัยที่ใช้ในการประมวลผลคือ อัตราความเร็วสารเคลือบ $Ti_3O_5(B)$ และความดันก๊าซออกซิเจน (E) ซึ่งแสดงสมการได้ดังนี้

$$x_B = \frac{\xi-3}{1} \text{ และ } x_E = \frac{\xi-0.02}{0.007}$$

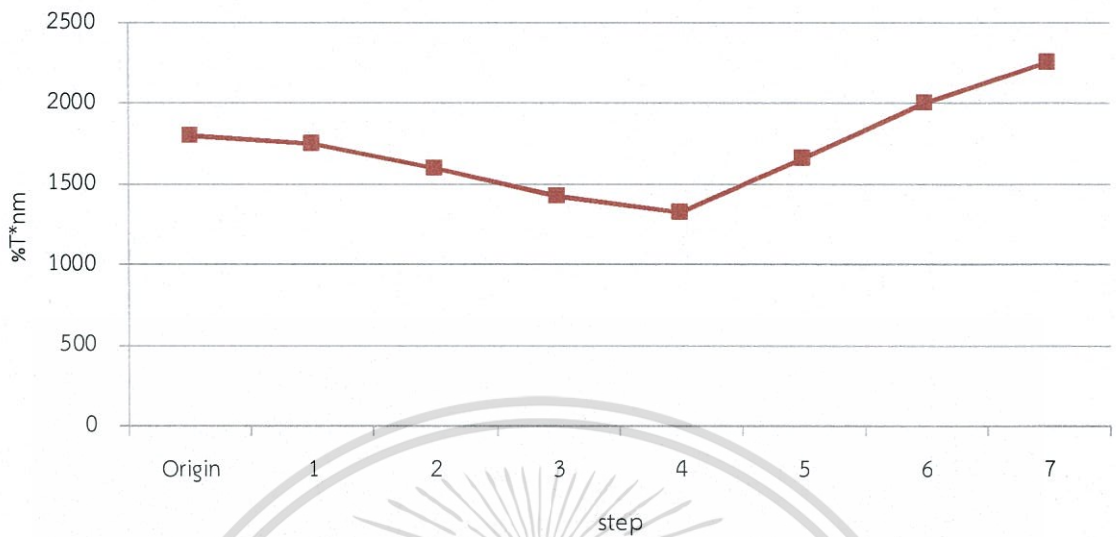
$$\text{slope} = \frac{-137}{65.5} = -2.0916 \approx -2.0$$

ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการกำหนด Coded variables x_E มีระดับ step, $\Delta=0.4$ และจะได้ค่า Δ ของ $x_B = 0.4/-2.0 = -0.2$ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองดังตารางที่ 4.9

ในการทดลองทำการปรับค่าควบคุมของทั้งสองปัจจัยไปที่ละขั้น (Step) ตามที่กำหนด และทำการหาค่าของผลตอบสนอง (ด้วยข้อมูลสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง ดังตารางภาคผนวก ค.2) จะเห็นได้ว่าที่อัตราการความเร็วของสารเคลือบ Ti_3O_5 2.2 Å/sec และความดันก๊าซออกซิเจน 0.031 Pa ให้ค่าผลตอบสนอง Y_A ต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และเพื่อเป็นการพิสูจน์ว่า ณ จุดดังกล่าวจะให้ค่าของผลตอบสนองที่ใกล้เคียงศูนย์หรือไม่ จึงทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดด้วยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

ตารางที่ 4.9 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีความลาดชันที่สุดและผลการทดลอง

Step	Coded variable		Natural variable		Response
	x_E	x_B	x_E	x_B	Y_A
Origin	0	0	0.02	3	1804
Δ	0.4	-0.2	0.003	-0.2	
1	0.4	-0.2	0.023	2.8	1751
2	0.8	-0.4	0.026	2.6	1604
3	1.2	-0.6	0.028	2.4	1431
4	1.6	-0.8	0.031	2.2	1332
5	2.0	-1.0	0.034	2.0	1658
6	2.4	-1.2	0.037	1.8	2009
7	2.8	-1.4	0.040	1.6	2262



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนอง Y_A และ Step ของการทดลองแบบลาดขั้น
ที่สุด

4.3.2 การวิเคราะห์เพื่อหาเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง

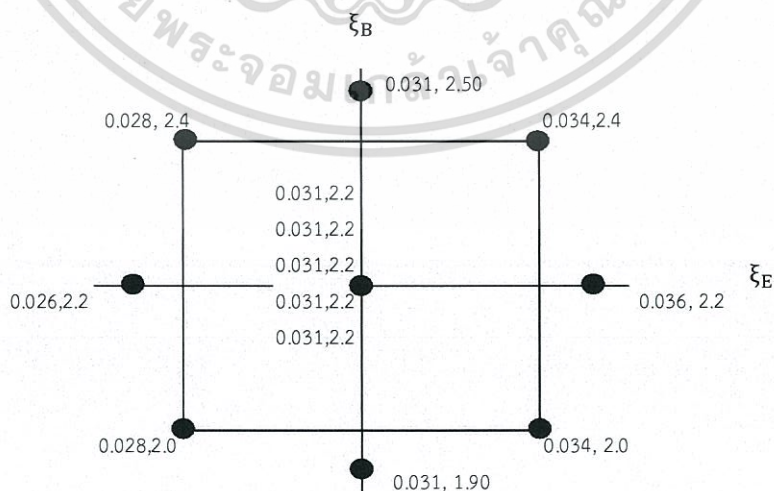
จากผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีความลาดขั้นที่สุด ทำการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมด้วยวิธีส่วนประสมกลาง (Central composite design) และขยายระดับปัจจัยเพื่อตรวจสอบผลตอบสนองที่ใกล้ศูนย์ที่สุด ดังรูปที่ 4.6 ระดับปัจจัยที่นำมาออกแบบแสดงดังตารางที่ 4.10 และทำการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม MINITAB 16 ผลการออกแบบและผลตอบสนองที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11 ซึ่งในขั้นตอนนี้จะทำการสุ่มวัดอัตราการทะลุผ่านของแสงเพิ่มอีก 4 จุด (ข้อมูลการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง แสดงดังตารางภาคผนวก ค.3) เพื่อหาผลตอบสนอง Y_B และนำไปสู่การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับผลตอบสนองทั้งสอง

ตารางที่ 4.10 แสดงระดับปัจจัยในการทดลองด้วยวิธีส่วนประสมกลาง

ปัจจัย	ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง	หน่วย
อัตราความเร็วสารเคลือบ Ti_3O_5	2.0	2.2	2.4	Å/Sec
ความดันก๊าซออกซิเจน	0.028	0.031	0.034	Pa

ตารางที่ 4.11 การออกแบบและผลตอบสนองจากการทดลอง

Coded variables		Natural variable		Response	
x_E	x_B	ξ_E	ξ_B	Y_A	Y_B
0.000	0.000	0.031	2.2	1192	0.1621
1.000	-1.000	0.034	2.0	1141	0.0654
-1.000	1.000	0.028	2.4	1410	0.0961
0.000	0.000	0.031	2.2	1138	0.1401
0.000	0.000	0.031	2.2	1235	0.1609
-1.414	0.000	0.026	2.2	1551	0.0727
1.414	0.000	0.036	2.2	1217	0.0925
0.000	1.414	0.031	2.5	1305	0.0189
0.000	0.000	0.031	2.2	1308	0.0943
-1.000	-1.000	0.028	2.0	1358	0.1434
0.000	-1.414	0.031	1.9	1226	0.1447
1.000	1.000	0.034	2.4	1173	0.0922
0.000	0.000	0.031	2.2	1115	0.3164



รูปที่ 4.6 แบบจำลองการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลการวิเคราะห์ที่พื้นผิวตอบสนองดังแสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13 ค่า P-Value ของความดันก๊าซออกซิเจน (E) มีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง Y_A สำหรับผลตอบสนอง Y_B ค่า P-Value ของอัตราความเร็วสารเคลือบ Ti_3O_5 (B) และ ความดันก๊าซออกซิเจน (E) มีค่ามากกว่า α (0.15)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าค่า P-Value จะมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับระดับการยอมรับโดยทั่วไป (0.05 หรือ 0.10) ระดับการยอมรับนี้ไม่ควรนำไปใช้เป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจโดยอัตโนมัติ โดยปราศจากการตัดสินใจของผู้ทดลอง (Box et al. 2005; Yuangyai et.al. 2009) ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าว ผู้วิจัยเชื่อว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เมื่อรวมเข้ากับความรู้และหลักการเชิงวิทยาศาสตร์ของกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็งของผู้วิจัยแล้ว สามารถนำไปใช้เพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไปได้

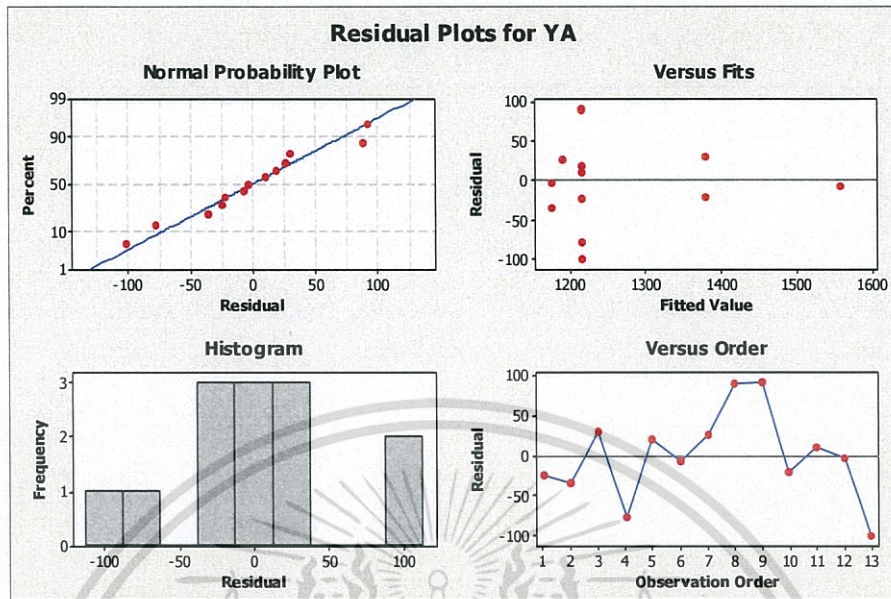
ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ที่พื้นผิวตอบสนอง ผลตอบสนอง Y_A

Estimated Regression Coefficients for Y_A						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	1197.63	26.10	45.880	0.000		
Ti3O5 rate	23.82	20.18	1.181	0.272		
O2 Pressure	-101.41	20.68	-4.905	0.001		
Ti3O5 rate*Ti3O5 rate	23.52	20.43	1.151	0.283		
O2 Pressure*O2 Pressure	66.16	20.20	3.276	0.011		
S = 58.8241 PRESS = 52816.5						
R-Sq = 85.20% R-Sq(pred) = 71.76% R-Sq(adj) = 77.79%						
Analysis of Variance for Y_A						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	159315	159315	39828.9	11.51	0.002
Linear	2	121034	88075	44037.7	12.73	0.003
Ti3O5 rate	1	4824	4824	4824.3	1.39	0.272
O2 Pressure	1	116209	83251	83251.2	24.06	0.001
Square	2	38282	38282	19140.9	5.53	0.031
Ti3O5 rate*Ti3O5 rate	1	1153	4587	4586.5	1.33	0.283
O2 Pressure*O2 Pressure	1	37129	37129	37128.9	10.73	0.011
Residual Error	8	27682	27682	3460.3		
Lack-of-Fit	4	3689	3689	922.3	0.15	0.951
Pure Error	4	23993	23993	5998.3		
Total	12	186998				
Unusual Observations for Y_A						
Obs	StdOrder	YA	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	11	1308.000	1197.631	26.103	110.369	2.09 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Regression Coefficients for Y_A using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	11894.4
Ti3O5 rate	-2468.19
O2 Pressure	-489601
Ti3O5 rate*Ti3O5 rate	588.025
O2 Pressure*O2 Pressure	7351567



รูปที่ 4.7 กราฟส่วนตกค้าง (Residual plot) ของตัวแปรตอบสนอง Y_A

การทดสอบความพอเพียงทางสถิติของผลตอบสนอง Y_A จากกราฟส่วนตกค้าง (Residual plot) ดังรูปที่ 4.7 ตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลโดยใช้กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal probability plot) มีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับค่า Fitted value พบว่าการกระจายตัวสม่ำเสมอแสดงว่ามีความแปรปรวนคงที่ และการพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับครั้งที่ของการทดลอง (Observation order) พบว่าการกระจายตัวแบบสุ่ม จากข้อมูลในตารางที่ 4.12 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของแบบจำลองสามารถอธิบายความผันแปรของผลตอบสนองที่ศึกษาได้ 85.20% ในขณะที่เดียวกันค่า Lack of fit มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งเป็นตัวบอกความพอเพียงของตัวแปรในสมการถดถอย สรุปได้ว่าสมการถดถอยมีความพอเพียงทางสถิติและสามารถนำมาใช้ในการประมวลผลเพื่อกำหนดเงื่อนไขการผลิตได้

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง ผลตอบสนอง Y_B

Estimated Regression Coefficients for YB

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.17598	0.02843	6.190	0.000
Ti3O5 rate	-0.02460	0.02197	-1.119	0.295
O2 Pressure	-0.01332	0.02252	-0.591	0.571
Ti3O5 rate*Ti3O5 rate	-0.04008	0.02225	-1.801	0.109
O2 Pressure*O2 Pressure	-0.04114	0.02200	-1.870	0.098

S = 0.0640665 PRESS = 0.0654825
R-Sq = 46.74% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 20.10%

Analysis of Variance for YB

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	0.028811	0.028811	0.007203	1.75	0.231
Linear	2	0.005318	0.006579	0.003290	0.80	0.482
Ti3O5 rate	1	0.005143	0.005143	0.005143	1.25	0.295
O2 Pressure	1	0.000175	0.001436	0.001436	0.35	0.571
Square	2	0.023493	0.023493	0.011747	2.86	0.115
Ti3O5 rate*Ti3O5 rate	1	0.009139	0.013318	0.013318	3.24	0.109
O2 Pressure*O2 Pressure	1	0.014354	0.014354	0.014354	3.50	0.098
Residual Error	8	0.032836	0.032836	0.004105		
Lack-of-Fit	4	0.004747	0.004747	0.001187	0.17	0.943
Pure Error	4	0.028089	0.028089	0.007022		
Total	12	0.061647				

Unusual Observations for YB

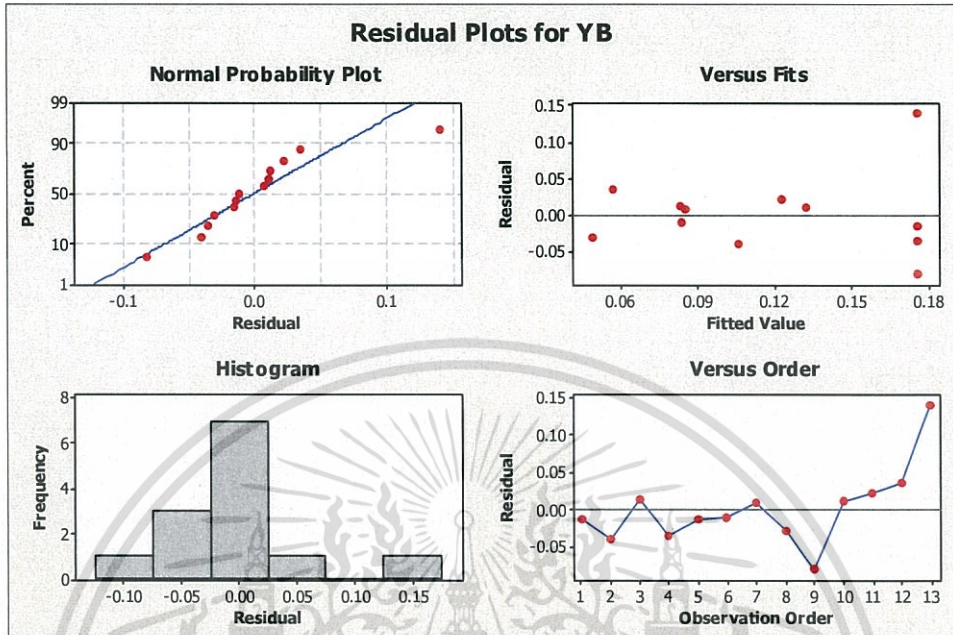
Obs	StdOrder	YB	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
13	9	0.316	0.176	0.028	0.140	2.45 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Regression Coefficients for YB using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-8.65833
Ti3O5 rate	4.28593
O2 Pressure	278.961
Ti3O5 rate*Ti3O5 rate	-1.00203
O2 Pressure*O2 Pressure	-4570.97

การทดสอบความพอเพียงทางสถิติของผลตอบสนอง Y_B จากกราฟส่วนตกค้าง (Residual plot) ดังรูปที่ 4.8 ตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลโดยใช้กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal probability plot) มีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับค่า Fitted value พบว่ามีการกระจายตัวสม่ำเสมอแสดงว่ามีความแปรปรวนคงที่ และการพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับครั้งที่ของการทดลอง (Observation order) พบว่ามีการกระจายตัวไม่เป็นแบบสุ่มเนื่องจากข้อมูลในตารางที่ 4.13 พบว่าค่าของข้อมูลมีความผิดปกติ (Outlier) ในการทดลองครั้งที่ 13 ผู้วิจัยจึงทำการตัดผลการทดลองของผลตอบสนอง Y_B ครั้งที่ 13 ออกไป (ใส่เครื่องหมาย * ในผลการทดลองครั้งที่ 13) และทำการประมวลผลด้วย MINITAB อีกครั้ง ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.14



รูปที่ 4.8 กราฟส่วนตกค้าง (Residual plot) ของตัวแปรตอบสนอง Y_B

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง ผลตอบสนอง Y_B (ตัดข้อมูล Outlier)

Estimated Regression Coefficients for Y_B

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.14156	0.01704	8.305	0.000
Ti305 rate	-0.02460	0.01181	-2.083	0.076
O2 Pressure	-0.01047	0.01211	-0.864	0.416
Ti305 rate*Ti305 rate	-0.02386	0.01247	-1.913	0.097
O2 Pressure*O2 Pressure	-0.02527	0.01232	-2.051	0.079

S = 0.0344214 PRESS = 0.0305732
 R-Sq = 60.80% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 38.39%

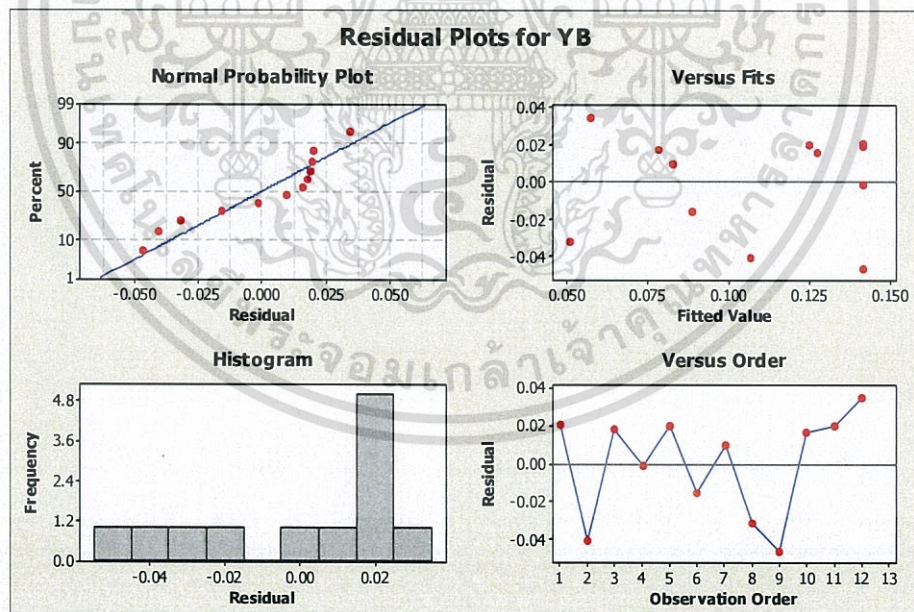
ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

Analysis of Variance for YB

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	0.012862	0.012862	0.003216	2.71	0.118
Linear	2	0.005370	0.006028	0.003014	2.54	0.148
Ti305 rate	1	0.005143	0.005143	0.005143	4.34	0.076
O2 Pressure	1	0.000227	0.000885	0.000885	0.75	0.416
Square	2	0.007492	0.007492	0.003746	3.16	0.105
Ti305 rate*Ti305 rate	1	0.002510	0.004334	0.004334	3.66	0.097
O2 Pressure*O2 Pressure	1	0.004983	0.004983	0.004983	4.21	0.079
Residual Error	7	0.008294	0.008294	0.001185		
Lack-of-Fit	4	0.005279	0.005279	0.001320	1.31	0.428
Pure Error	3	0.003015	0.003015	0.001005		
Total	11	0.021156				

Estimated Regression Coefficients for YB using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-5.06500
Ti305 rate	2.50156
O2 Pressure	170.595
Ti305 rate*Ti305 rate	-0.596489
O2 Pressure*O2 Pressure	-2807.82

รูปที่ 4.9 กราฟส่วนตกค้าง (Residual plot) ของตัวแปรตอบสนอง Y_B (ตัดข้อมูล Outlier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.14 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 60.8% การพิจารณากราฟส่วนตกค้าง ดังรูปที่ 4.9 พบว่าการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลโดยใช้กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal probability plot) มีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับค่า Fitted value พบว่ามีการกระจายตัวสม่ำเสมอแสดงว่ามีความแปรปรวนคงที่ และการพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างเทียบกับครั้งที่ของการทดลอง (Observation order) พบว่ามีการกระจายตัวแบบสุ่มในขณะเดียวกัน ค่า Lack of fit มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งเป็นตัวบอกความพอเพียงของตัวแปรในสมการถดถอย สรุปได้ว่าสมการถดถอยมีความพอเพียงทางสถิติและสามารถนำมาใช้ในการประมวลผลเพื่อกำหนดเงื่อนไขการผลิตได้

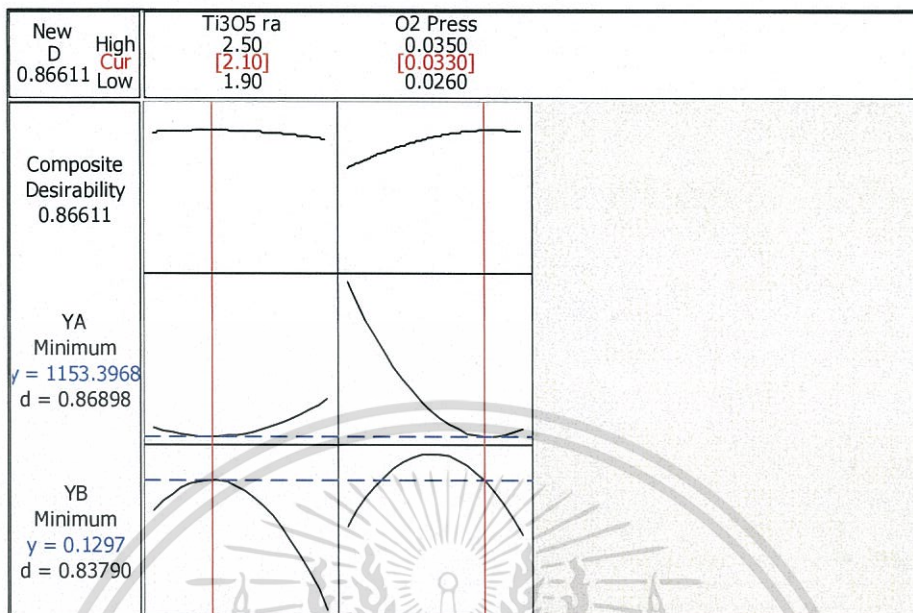
4.3.3 การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับผลตอบสนองทั้งสองแบบ

จากข้อมูลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.12 และ 4.14 สามารถสร้างแบบจำลองผลตอบสนอง Y_A และ Y_B โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ ได้ดังสมการที่ 4.3 และ 4.4

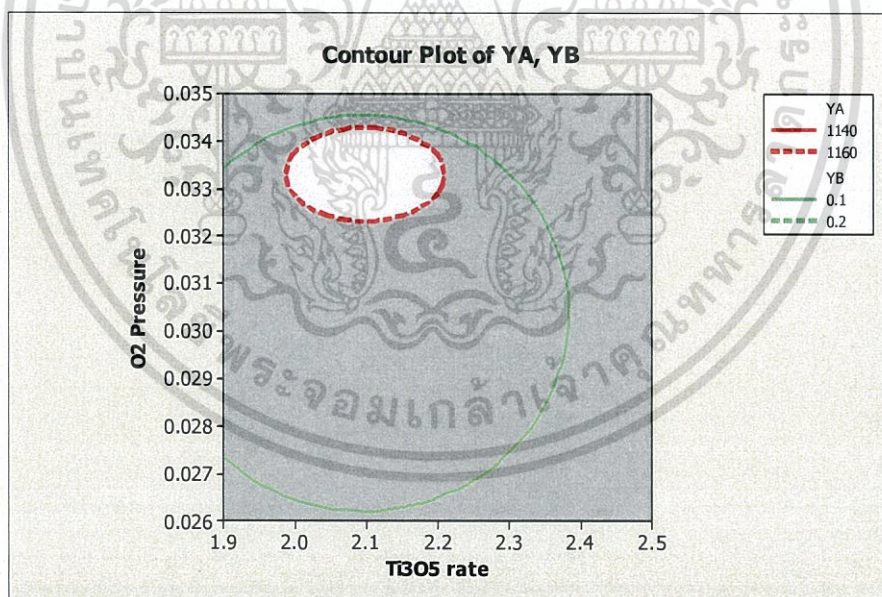
$$\hat{Y}_A = 11894.4 - 489601E + 7351567E^2 \quad (4.3)$$

$$\hat{Y}_B = -5.065 + 2.50156B - 0.596489B^2 - 2807.82E^2 \quad (4.4)$$

เมื่อได้แบบจำลองสำหรับผลตอบสนองทั้งสองแล้ว ผู้วิจัยจึงทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม MINITAB 16 การกำหนดเงื่อนไขนี้ผู้วิจัยให้ความสำคัญกับผลตอบสนอง Y_A โดยการกำหนดค่าน้ำหนัก (weight) และระดับความสำคัญ (Importance) ที่ค่าสูงสุดคือ 10 ส่วนผลตอบสนอง Y_B กำหนดค่าให้เท่ากับ 1 เนื่องจากต้องการให้เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงมีความใกล้เคียงกับการออกแบบมากที่สุด และแสดงผลลัพธ์จากฟังก์ชัน Response Optimizer ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราความเร็วสารเคลือบ Ti_3O_5 2.1 Å/Sec และความดันก๊าซออกซิเจน 0.033 Pa จะให้ค่าพยากรณ์ของผลตอบสนอง Y_A Y_B และค่าความพึงพอใจรวมเท่ากับ 1153.3968 %T·nm, 0.1297 %T และ 0.86611 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยของผลตอบสนอง Y_A และ Y_B



รูปที่ 4.11 Overlaid contour plot แสดงพื้นที่ที่เป็นไปได้ในการกำหนดระดับปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.11 แสดง Overlaid Contour plot เพื่อแสดงพื้นที่ที่เป็นไปได้ในการกำหนดระดับปัจจัย เพื่อให้ผลตอบสนองทั้งสองค่ามีค่าที่เหมาะสมที่สุด จะพบว่าความดันก๊าซออกซิเจนและอัตราการเร็วสารเคลือบ Ti_3O_5 สามารถกำหนดค่าได้ในช่วง 0.032 – 0.034 Pa และ 2.0 – 2.2 Å/Sec ตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดค่าความดันก๊าซออกซิเจนและอัตราการเร็วสารเคลือบ Ti_3O_5 0.033 Pa และ 2.1 Å/Sec สำหรับทำการทดลองเพื่อยืนยันผลจากเงื่อนไขค่าที่เหมาะสม

4.4 การทดลองเพื่อยืนยันผลจากเงื่อนไขค่าที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้กำหนดช่วงการพยากรณ์และช่วงความเชื่อมั่นของผลตอบสนองเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยฟังก์ชัน Regression ในโปรแกรม MINITAB 16 ดังแสดงผลลัพธ์ในตารางที่ 4.15

การทดลองเพื่อยืนยันผล ผู้วิจัยได้กำหนดระดับสัญญาณที่ 0.0027 Pa เพื่อให้ระยะปลอดการชนเฉลี่ย (Mean free path) มีค่าสูง อัตราการเร็วสารเคลือบ SiO_2 ที่ 7.0 Å/Sec ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าและเป็นการลดปัญหาการกระเด็นของสารขณะเคลือบ และอุณหภูมิ 290 Celsius ซึ่งจะทำให้ฟิล์มเคลือบมีความทนทานต่อการหลุดลอกมากกว่าที่ระดับอุณหภูมิต่ำ แสดงดังตารางที่ 4.16 จากนั้นทำการเคลือบฟิล์มบาง 3 ครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.15 ช่วงการพยากรณ์และช่วงความเชื่อมั่นของผลตอบสนองเฉลี่ย Y_A และ Y_B

ผลตอบสนอง	Y_A (%T*nm)	Y_B (%Tave.)
ช่วงการพยากรณ์ (Prediction interval) 95%	971.4 – 1361.6	0.0132 – 0.2181
ช่วงความเชื่อมั่นผลตอบสนองเฉลี่ย (Confidence interval) 95%	1093.6-1239.4	0.0767 – 0.1546

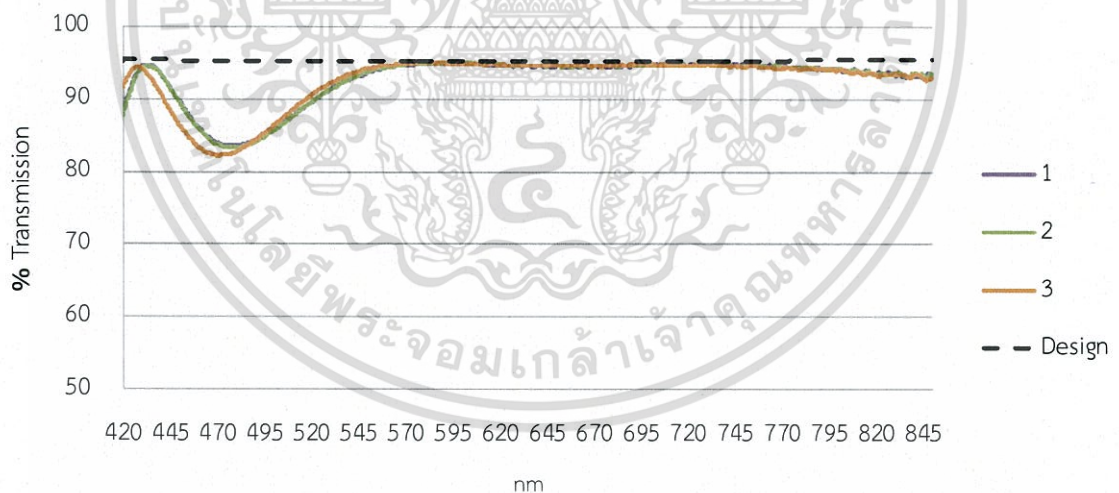
ตารางที่ 4.16 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย

A (Pa)	B (Å/Sec)	C (Å/Sec)	D (Celsius)	E (Pa)
0.0027	2.1	7	290	0.033

ตารางที่ 4.17 ผลตอบสนอง Y_A และ Y_B ที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผล

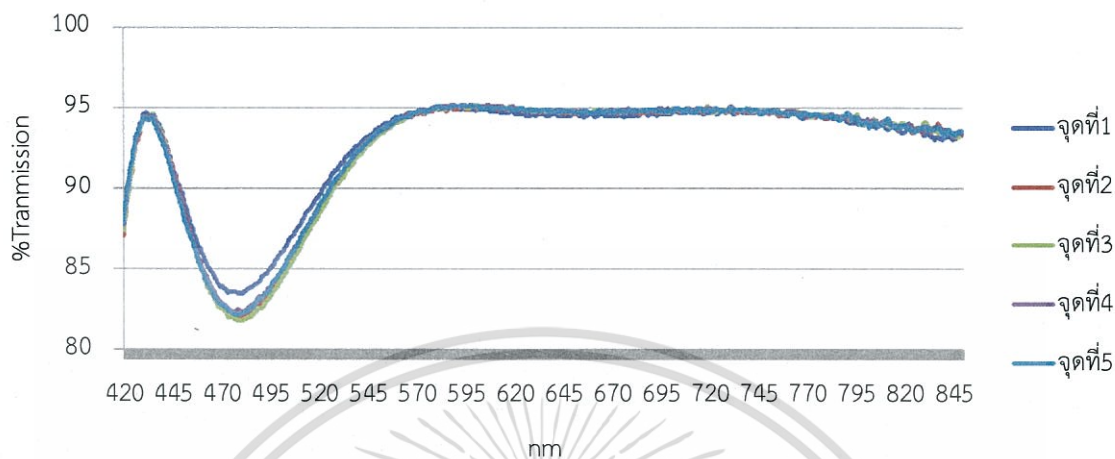
ครั้งที่	Y_A (%T*nm)	Y_B (%Tave.)
1	1112	0.0905
2	1115	0.1619
3	1166	0.0894
เฉลี่ย	1131	0.1139

จากการทดลองเพื่อยืนยันผลพบว่า ผลตอบสนอง Y_A และ Y_B ที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.17 ผลการทดลองแต่ละครั้งอยู่ภายในช่วงการพยากรณ์ (คำนวณด้วยข้อมูลการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง ดังตัวอย่างในตารางภาคผนวก ค.4) และค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง อยู่ภายในช่วงความเชื่อมั่น ผลตอบสนองเฉลี่ย ซึ่งลักษณะเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงที่วัดบริเวณตรงกลางมีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นโค้งสเปกตรัมจากการออกแบบและมีความผันแปรภายในชิ้นงานต่ำ ซึ่งสังเกตได้จากเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการวัด 5 จุด ทับซ้อนกันจนเกือบสนิท ดังแสดงในรูปที่ 4.12

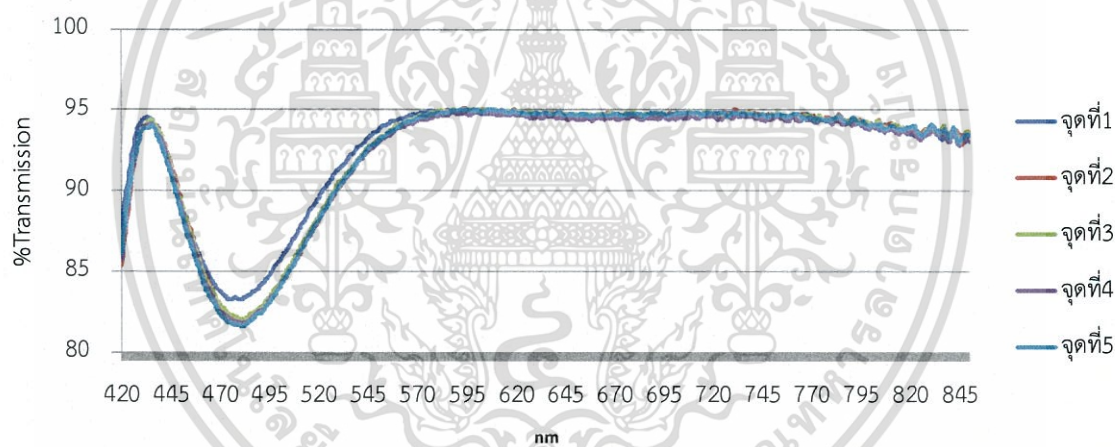


(ก) เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการวัดที่จุดศูนย์กลางของฐานรองรับ

การทดลองครั้งที่ 1



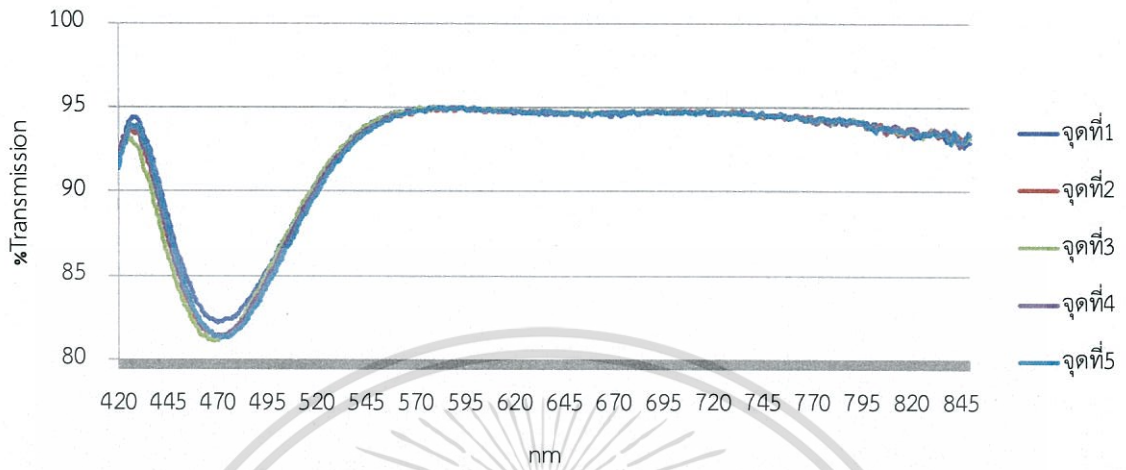
(ข) เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองครั้งที่ 1
การทดลองครั้งที่ 2



(ค) เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 3



(ง) เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองครั้งที่ 3

รูปที่ 4.12 เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวชี้วัดคุณภาพเพิ่มเติมสำหรับตัวกรองเชิงแสงและศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การทะลุผ่านของการเคลือบแบบลดแสงสะท้อนโดยกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็ง ด้วยลำไอเล็กตรอน

ตัวชี้วัดที่เพิ่มเติมนี้ ได้แก่

1. การเปลี่ยนการคำนวณตัวชี้วัดคุณสมบัติเชิงแสงจากข้อมูลเชิงอัตราเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของพื้นที่ได้เส้นโค้งสเปกตรัมระหว่างการออกแบบกับการเคลือบจริง
2. แสดงความผันแปรของค่าเฉลี่ยอัตราการทะลุผ่านของแสงภายในฐานรองรับแก้ว ด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวชี้วัดทั้งสองข้างต้นสามารถนำมาใช้ในการมอนิเตอร์คุณสมบัติเชิงแสงในกระบวนการผลิต ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจระดับความแตกต่างจากการออกแบบและความผันแปรเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดของเสียและได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้าได้

การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคตอเรียลและวิธีพื้นผิวผลตอบสนองได้แสดงให้เห็นว่าเป็นเครื่องมือที่เพียงพอในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองในกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็งและทำให้สามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้ด้วยจำนวนการทดลองที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการทดลองแบบปรับตั้งที่ละปัจจัย

ผลจากการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบสนองและศึกษาผลกระทบต่อผลตอบสนองแบบหลายตัว (Multiple responses) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญคือ ความดันก๊าซออกซิเจนและอัตราความเร็วในการเคลือบสารโททานิยมเพนทอกไซด์ และสามารถกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลตอบสนองทั้งสองมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด คือ ความดันก๊าซออกซิเจน 0.033 ปาสคาล และอัตราความเร็วในการเคลือบสารโททานิยมเพนทอกไซด์ 2.1 อังสตรอมต่อวินาที และจากการทดลองเพื่อยืนยันผลทั้งสามครั้งจะเห็นว่า

ผลตอบสนอง Y_A และ Y_B ที่ได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,131 \%T \cdot nm$ และ $0.1139 \%T$ ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และทำให้อัตราการทะลุผ่านของแสงมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ตามที่ลูกค้ากำหนดเนื่องจากเส้นโค้งสเปกตรัมมีความใกล้เคียงกับการออกแบบ รวมทั้งมีความผันแปรภายในฐานรองรับต่ำ ทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ เมื่อฐานรองรับที่ถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ถูกนำไปเป็นชิ้นส่วนประกอบ

ผลจากการออกแบบการทดลองเชิงสถิติข้างต้น ช่วยทำให้ผู้ควบคุมกระบวนการผลิตสามารถกำหนดระดับของปัจจัยทั้งหมดในกระบวนการได้อย่างเหมาะสมและสามารถตรวจสอบหาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงแสงได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในด้านคุณภาพและการส่งมอบได้เป็นอย่างดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในขั้นตอนนี้ไม่มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ศึกษาผลตอบสนองอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมข้อกำหนดด้านคุณภาพ เช่น ความทนทานต่อการหลุดลอก ความทนทานต่อรอยขีดข่วนของผิวฟิล์มความทนทานต่ออุณหภูมิและความชื้นสูง เป็นต้น
2. ศึกษาผลกระทบต่อคุณลักษณะเชิงแสงเพิ่มเติม เช่น อัตราการสะท้อนแสง โพลาไรเซชันของแสง และสีของแสง เป็นต้น เนื่องจากตัวกรองเชิงแสงบางชนิดอาจมีข้อกำหนดเชิงแสงมากกว่าหนึ่งประเภทภายในตัวเดียวกัน

บรรณานุกรม

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2550. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม (ประมวลผลด้วย MINITAB) เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2553. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB 15. พิมพ์ครั้งที่ 7 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2), กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ, นิพนธ์ วรรณโสภากย์. 2553. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 1. 2557. OIE Share. ปีที่ 3 ฉบับที่ 27. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม
- Angus Macleod. 2001. **Thin Film Optical Filters Third Edition.** Institute of Physics, London
- Box G, GEP., Hunter, JS., Hunter, WG. 2005. **Statistical for Experimenters : Design, Innovation, and Discovery.** New Jersey : John Wiley & Sons
- Carten Schmitz, Henrik Ehlers and Detlev Ristau. 2012. "Advanced error identification in deposition of complex optical layer systems by a multi analyzing approach." **Applied optics.** 51(34) : 8203-8210
- Chen Yang, Huiqing Fan, Yingxue Xi, Jin Chen, and Zhuo Li. 2008. "Effect of depositing temperatures on structure and optical properties of TiO₂ film deposited by ion beam assisted electron beam evaporation." **Applied Surface Science.** 2008 (254) : 2685-2689
- Chuen-Lin Tien, and Shane-Wen Lin. 2006. "Optimization of process parameters of titanium dioxide films by response surfaces methodology." **Optics communication.** 2006 (266) : 574-581
- Donald, M. Mattox.. 1998. **HANDBOOK OF PHYSICAL VAPOR DEPOSITION (PVD) PROCESSING.** New Jersey : Noyes Publication
- Douglas C. Montgomery. 2013. **Design and Analysis of Experiments.** International Student version. Eight Edition. Singapore : John Wiley & Sons Inc.

- Department of Statistics Online Programs. 2016. **The Pennsylvania State University**; [Online]. Available : <https://onlinecourses.science.psu.edu/stat501/node/314>
- Elin Hammarberg, and Arne Roos. 2003. "Antireflection treatment of low-emitting glazing for energy efficient windows with high visible transmittance." **Thin Solid Films**. 2003(442) : 222-226
- James D. Rancourt. 1987. **Optical Thin Films User's Handbook**. USA : McGraw-Hill Publishing Company
- JIS R 3106 : 1998 (E). 1999. "Testing method on transmittance, reflectance and emittance of flat glasses and evaluation of solar heat gain coefficient." First Edition. Tokyo : JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. เอกสารอัดสำเนา
- K. Narasimha Rao. 2002. "Influence of deposition parameters on optical properties of TiO₂ films." **Optical Engineering**. 14(9) : 2357-2364
- K. Narasimha Rao, L. Shivlingappa, and S. Mohan. 2003. "Studies on single layer CeO₂ and SiO₂ films deposited by rotating crucible electron beam evaporation." **Materials Science and Engineering**. 2003(B98) : 38-44
- Yanming Shen, Hua Yu, Jianke Yao, Shuying Shao, Zhengxiu Fan, Hongbo He, and Jianda Shao. 2008. "Investigation on properties of TiO₂ thin films deposited at different oxygen pressures." **Optic & Laser Technology**. 2008(20) : 550-554
- Yuehui Lu, Xianpeng Zhang, Jinhua Huang, Jia Li, Tiefeng Wei, Pinjun Lan, Ye Yang, Hua Xu, and Weijie Song. 2013. "Investigate on antireflection coatings for Al:ZnO in silicon thin-film solar cells." **Optik**. 2013 (124) : 3392-3395
- Yuangyai, C., Nembhard, H.B., Hayes, G., Antolino, N. and Adair, J.H. 2009. "Yield improvement for lost mould rapid infiltration forming process by a multistage fractional factorial split plot design." **NIH Public Access**. 3(4) : 351-367



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างคำสั่ง MATLAB

ตัวอย่างคำสั่ง MATLAB เพื่อคำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบ

1. สร้างอาร์เรย์ (Array) ของข้อมูลอัตราการทะลุผ่านของแสงและช่วงกว้างของความยาวคลื่นที่เก็บข้อมูล (ในงานวิจัยนี้กำหนด 0.5 nm) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง การกำหนดอาร์เรย์ของข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณหาพื้นที่ใต้โค้งจากการออกแบบ

Tran = [95.332 95.353 95.373 ...95.377 95.375 95.372]

nm = [420 420.5 421...849 849.5 850]

เมื่อ Tran คือ อัตราการทะลุผ่านของแสง ณ จุดที่เก็บข้อมูล

nm คือ ช่วงความยาวคลื่นที่กำหนดให้เก็บข้อมูล

2. ใช้คำสั่ง `trapz(x,y)` เพื่อคำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal rule) ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง การคำนวณหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

Area = `trapz(nm,Tran)`

= 4.0977e+004

= 40977 %T*nm

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการวัดอัตราการทะลุผ่านเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบการวัด

ภาคผนวก ข.1 ข้อมูลการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบการวัด

Run Order	Parts	Operators	%Tave	Run Order	Parts	Operators	%Tave
1	1	1	92.61	31	6	1	92.75
2	6	1	92.67	32	8	1	96.91
3	3	1	92.68	33	10	1	96.78
4	4	1	96.96	34	5	1	96.92
5	10	1	96.75	35	1	1	92.67
6	7	1	96.85	36	4	1	96.92
7	2	1	96.61	37	7	1	96.66
8	5	1	96.85	38	3	1	92.70
9	9	1	96.69	39	9	1	96.62
10	8	1	96.88	40	2	1	96.80
11	3	2	92.48	41	3	2	92.51
12	4	2	96.74	42	9	2	96.60
13	9	2	96.53	43	7	2	96.77
14	10	2	96.58	44	5	2	96.76
15	7	2	96.67	45	6	2	92.51
16	8	2	96.71	46	10	2	96.68
17	2	2	96.46	47	4	2	96.80
18	6	2	92.43	48	8	2	96.79
19	1	2	92.43	49	1	2	92.44
20	5	2	96.68	50	2	2	96.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการวัดอัตราการผลิตผ่านของแสงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบการวัด

Run Order	Parts	Operators	%Tave	Run Order	Parts	Operators	%Tave
21	7	3	96.71	51	1	3	92.40
22	3	3	92.51	52	7	3	96.74
23	2	3	96.41	53	6	3	92.48
24	10	3	96.60	54	5	3	96.74
25	8	3	96.70	55	2	3	96.51
26	4	3	96.80	56	8	3	96.77
27	1	3	92.44	57	10	3	96.67
28	9	3	96.55	58	4	3	96.79
29	6	3	92.49	59	3	3	92.47
30	5	3	96.69	60	9	3	96.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการวัดอัตราการทะลุผ่านของแสง

ภาคผนวก ค.1 ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
420	95.33	61.48	88.49	61.66	74.38	55.34	79.02	62.06	73.52
420.5	95.35	61.27	89.10	61.58	75.23	55.39	79.83	62.00	74.25
421	95.37	61.07	89.64	61.47	76.08	55.47	80.56	61.87	74.97
421.5	95.39	60.87	90.16	61.42	76.91	55.49	81.25	61.82	75.70
422	95.41	60.74	90.69	61.40	77.66	55.56	81.94	61.79	76.49
422.5	95.42	60.59	91.15	61.39	78.39	55.64	82.61	61.76	77.23
423	95.44	60.47	91.59	61.37	79.11	55.74	83.30	61.84	77.99
423.5	95.45	60.45	92.06	61.39	79.83	55.87	83.97	61.95	78.76
424	95.46	60.40	92.48	61.36	80.51	55.99	84.56	62.02	79.36
424.5	95.47	60.38	92.88	61.37	81.25	56.16	85.19	62.11	79.93
425	95.48	60.20	93.18	61.34	81.92	56.21	85.71	62.16	80.49
425.5	95.49	60.11	93.45	61.36	82.59	56.32	86.28	62.17	81.07
426	95.40	60.00	93.71	61.38	83.30	56.41	86.89	62.14	81.78
426.5	95.51	59.93	93.96	61.44	84.07	56.54	87.49	62.13	82.53
427	95.51	59.89	94.12	61.51	84.71	56.64	88.07	62.18	83.33
427.5	95.52	59.86	94.26	61.55	85.36	56.82	88.66	62.23	84.10
428	95.52	59.87	94.42	61.62	86.01	57.03	89.26	62.32	84.85
428.5	95.53	59.88	94.53	61.67	86.68	57.18	89.77	62.45	85.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
429	95.53	59.90	94.67	61.76	87.30	57.36	90.31	62.59	86.10
429.5	95.53	59.85	94.74	61.82	87.85	57.55	90.77	62.67	86.59
430	95.54	59.81	94.85	61.91	88.43	57.71	91.26	62.76	87.14
430.5	95.54	59.77	94.89	62.01	88.94	57.88	91.63	62.86	87.67
431	95.54	59.72	94.88	62.06	89.42	58.04	91.93	62.90	88.12
431.5	95.54	59.79	95.00	62.18	89.94	58.25	92.34	62.98	88.64
432	95.54	59.81	94.99	62.25	90.38	58.39	92.60	63.07	89.06
432.5	95.44	59.92	95.04	62.37	90.80	58.61	92.96	63.22	89.47
433	95.44	60.00	94.95	62.48	91.22	58.82	93.21	63.36	89.89
433.5	95.43	60.11	94.87	62.61	91.72	59.02	93.53	63.57	90.29
434	95.43	60.15	94.73	62.71	92.04	59.22	93.74	63.74	90.72
434.5	95.43	60.20	94.56	62.84	92.41	59.49	93.91	63.94	91.10
435	95.43	60.24	94.38	62.98	92.73	59.78	94.06	64.11	91.53
435.5	95.42	60.27	94.17	63.14	93.10	60.04	94.17	64.32	91.97
436	95.42	60.27	93.96	63.28	93.39	60.27	94.28	64.48	92.33
436.5	95.42	60.35	93.76	63.43	93.64	60.54	94.41	64.64	92.67
437	95.41	60.44	93.59	63.61	93.86	60.80	94.50	64.78	92.92
437.5	95.41	60.61	93.45	63.86	94.11	61.09	94.61	65.03	93.29
438	95.40	60.78	93.20	64.09	94.27	61.35	94.64	65.24	93.54
438.5	95.40	60.91	92.98	64.31	94.40	61.64	94.71	65.45	93.78
439	95.40	61.05	92.73	64.49	94.51	61.90	94.69	65.62	94.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
439.5	95.39	61.16	92.56	64.60	94.55	62.14	94.68	65.76	94.18
440	95.39	61.22	92.31	64.73	94.58	62.34	94.59	65.88	94.29
440.5	95.38	61.34	92.11	64.86	94.69	62.60	94.59	66.06	94.36
441	95.38	61.45	91.86	65.00	94.70	62.84	94.55	66.25	94.48
441.5	95.37	61.64	91.63	65.18	94.74	63.12	94.54	66.49	94.57
442	95.37	61.84	91.38	65.35	94.73	63.38	94.41	66.71	94.66
442.5	95.36	62.07	91.09	65.60	94.75	63.68	94.30	66.99	94.73
443	95.36	62.28	90.80	65.82	94.73	63.96	94.15	67.22	94.81
443.5	95.35	62.49	90.52	66.11	94.72	64.27	94.01	67.50	94.89
444	95.35	62.67	90.20	66.40	94.68	64.60	93.85	67.78	94.93
444.5	95.34	62.85	89.90	66.67	94.69	64.92	93.66	68.05	95.02
445	95.34	63.02	89.60	66.96	94.65	65.23	93.48	68.28	95.01
445.5	95.33	63.18	89.29	67.19	94.59	65.58	93.31	68.55	95.00
446	95.33	63.36	89.00	67.44	94.50	65.91	93.12	68.79	94.98
446.5	95.32	63.55	88.75	67.67	94.37	66.22	92.91	69.04	94.96
447	95.32	63.76	88.52	67.87	94.17	66.50	92.69	69.23	94.90
447.5	95.31	63.95	88.30	68.08	93.99	66.80	92.45	69.45	94.79
448	95.31	64.11	88.00	68.26	93.70	67.06	92.15	69.63	94.56
448.5	95.30	64.33	87.76	68.49	93.49	67.39	92.01	69.87	94.44
449	95.30	64.57	87.50	68.78	93.33	67.73	91.83	70.16	94.30
449.5	95.29	64.82	87.24	69.09	93.25	68.07	91.67	70.49	94.23
450	95.29	65.07	86.97	69.35	93.08	68.40	91.42	70.72	94.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
450.5	95.28	65.34	86.72	69.65	92.93	68.76	91.16	71.02	94.08
451	95.28	65.63	86.47	69.94	92.76	69.11	90.86	71.36	94.02
451.5	95.28	65.89	86.19	70.22	92.55	69.43	90.56	71.67	93.90
452	95.27	66.12	85.95	70.50	92.31	69.79	90.28	71.96	93.73
452.5	95.27	66.32	85.69	70.73	92.03	70.13	89.99	72.23	93.55
453	95.27	66.51	85.40	70.96	91.75	70.46	89.69	72.47	93.32
453.5	95.26	66.77	85.15	71.22	91.44	70.81	89.40	72.75	93.08
454	95.26	67.05	84.90	71.51	91.13	71.15	89.13	73.00	92.88
454.5	95.26	67.32	84.70	71.82	90.91	71.48	88.87	73.27	92.75
455	95.25	67.55	84.42	72.09	90.64	71.74	88.48	73.50	92.52
455.5	95.25	67.81	84.22	72.36	90.42	72.05	88.22	73.76	92.38
456	95.25	68.08	84.01	72.62	90.20	72.35	87.99	74.01	92.15
456.5	95.24	68.35	83.82	72.88	90.00	72.64	87.82	74.30	91.97
457	95.24	68.59	83.62	73.15	89.81	72.96	87.62	74.53	91.77
457.5	95.24	68.88	83.45	73.41	89.59	73.35	87.39	74.82	91.57
458	95.24	69.15	83.27	73.69	89.35	73.71	87.09	75.13	91.35
458.5	95.23	69.45	83.08	73.96	89.09	74.06	86.78	75.46	91.12
459	95.23	69.74	82.89	74.28	88.84	74.42	86.48	75.78	90.90
459.5	95.23	70.00	82.72	74.57	88.57	74.74	86.17	76.03	90.65
460	95.23	70.26	82.48	74.88	88.29	75.02	85.87	76.32	90.43
460.5	95.23	70.56	82.34	75.18	88.02	75.31	85.63	76.60	90.19
461	95.23	70.86	82.17	75.46	87.75	75.59	85.43	76.86	89.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
461.5	95.22	71.14	82.01	75.73	87.48	75.89	85.23	77.12	89.81
462	95.22	71.47	81.86	76.02	87.29	76.21	85.00	77.40	89.61
462.5	95.22	71.78	81.72	76.33	87.11	76.55	84.76	77.74	89.42
463	95.22	72.11	81.63	76.61	86.97	76.96	84.53	78.09	89.24
463.5	95.22	72.44	81.57	76.91	86.79	77.33	84.35	78.43	89.07
464	95.22	72.72	81.48	77.17	86.66	77.67	84.19	78.69	88.88
464.5	95.22	73.03	81.38	77.43	86.44	77.97	84.01	78.92	88.63
465	95.22	73.28	81.25	77.70	86.22	78.23	83.79	79.16	88.46
465.5	95.22	73.55	81.12	77.97	85.96	78.51	83.55	79.40	88.28
466	95.22	73.81	81.00	78.30	85.72	78.78	83.38	79.66	88.12
466.5	95.22	74.06	80.91	78.60	85.52	79.08	83.19	79.92	87.89
467	95.22	74.39	80.80	78.93	85.33	79.40	82.96	80.24	87.70
467.5	95.22	74.71	80.70	79.25	85.14	79.74	82.78	80.55	87.47
468	95.22	75.03	80.61	79.50	84.92	80.09	82.55	80.85	87.27
468.5	95.22	75.31	80.49	79.72	84.68	80.40	82.30	81.12	87.03
469	95.22	75.62	80.41	79.93	84.44	80.68	82.06	81.30	86.78
469.5	95.22	75.88	80.26	80.13	84.22	80.92	81.81	81.54	86.57
470	95.22	76.15	80.14	80.36	84.03	81.21	81.61	81.78	86.36
470.5	95.22	76.44	80.08	80.66	83.90	81.51	81.46	82.04	86.25
471	95.22	76.73	80.08	80.91	83.77	81.84	81.40	82.31	86.16
471.5	95.22	76.99	80.08	81.17	83.68	82.10	81.31	82.53	85.99
472	95.22	77.24	80.04	81.39	83.57	82.33	81.19	82.77	85.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
472.5	95.22	77.52	80.01	81.61	83.42	82.55	81.06	83.00	85.73
473	95.22	77.83	79.99	81.85	83.24	82.80	80.93	83.23	85.58
473.5	95.22	78.11	79.94	82.07	83.06	83.03	80.80	83.46	85.42
474	95.23	78.40	79.91	82.35	82.92	83.26	80.67	83.70	85.29
474.5	95.23	78.68	79.87	82.62	82.77	83.51	80.56	83.97	85.16
475	95.23	78.98	79.86	82.93	82.66	83.83	80.49	84.26	85.06
475.5	95.23	79.26	79.83	83.21	82.56	84.11	80.40	84.49	84.93
476	95.23	79.52	79.81	83.49	82.42	84.39	80.29	84.65	84.77
476.5	95.23	79.80	79.78	83.72	82.28	84.66	80.16	84.85	84.66
477	95.23	80.08	79.74	83.96	82.15	84.92	80.04	85.05	84.47
477.5	95.23	80.36	79.72	84.16	82.05	85.11	79.91	85.24	84.31
478	95.24	80.70	79.78	84.42	81.93	85.39	79.86	85.54	84.25
478.5	95.24	80.97	79.82	84.65	81.83	85.61	79.79	85.78	84.15
479	95.24	81.20	79.86	84.86	81.77	85.82	79.73	86.03	84.03
479.5	95.24	81.40	79.88	85.06	81.69	86.01	79.65	86.27	83.97
480	95.24	81.62	79.93	85.27	81.66	86.23	79.59	86.48	83.88
480.5	95.24	81.84	79.95	85.45	81.60	86.41	79.55	86.65	83.80
481	95.25	82.04	79.93	85.60	81.50	86.56	79.47	86.74	83.69
481.5	95.25	82.27	79.92	85.75	81.40	86.76	79.40	86.85	83.59
482	95.25	82.55	79.93	85.95	81.32	86.96	79.32	87.00	83.50
482.5	95.25	82.83	79.98	86.17	81.23	87.14	79.30	87.17	83.41
483	95.25	83.09	80.00	86.41	81.13	87.33	79.23	87.36	83.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
483.5	95.25	83.38	80.08	86.65	81.08	87.56	79.18	87.57	83.24
484	95.26	83.65	80.15	86.91	81.05	87.83	79.15	87.82	83.19
484.5	95.26	83.87	80.20	87.10	81.03	88.02	79.11	88.03	83.13
485	95.26	84.15	80.28	87.34	81.02	88.27	79.14	88.27	83.17
485.5	95.26	84.45	80.37	87.54	81.00	88.50	79.19	88.47	83.19
486	95.26	84.70	80.47	87.71	80.99	88.72	79.23	88.64	83.15
486.5	95.26	84.93	80.50	87.87	80.98	88.92	79.24	88.80	83.11
487	95.27	85.14	80.55	88.06	81.00	89.09	79.22	88.93	83.04
487.5	95.27	85.36	80.61	88.27	81.00	89.21	79.23	89.10	83.00
488	95.27	85.50	80.64	88.40	80.95	89.31	79.19	89.20	82.91
488.5	95.27	85.70	80.68	88.52	80.95	89.42	79.18	89.31	82.87
489	95.27	85.92	80.73	88.67	80.92	89.54	79.16	89.44	82.84
489.5	95.27	86.13	80.80	88.81	80.88	89.67	79.20	89.58	82.84
490	95.27	86.37	80.93	88.96	80.87	89.85	79.21	89.77	82.87
490.5	95.28	86.61	81.04	89.10	80.90	90.01	79.24	89.94	82.91
491	95.28	86.85	81.15	89.27	80.94	90.20	79.25	90.12	82.93
491.5	95.28	87.03	81.23	89.44	80.99	90.35	79.26	90.28	82.90
492	95.28	87.19	81.31	89.66	81.00	90.52	79.29	90.42	82.88
492.5	95.28	87.39	81.40	89.84	81.03	90.68	79.33	90.56	82.84
493	95.28	87.55	81.48	90.00	81.02	90.80	79.37	90.66	82.79
493.5	95.28	87.74	81.52	90.14	81.04	90.94	79.43	90.77	82.75
494	95.29	87.90	81.58	90.30	81.03	91.06	79.50	90.87	82.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
494.5	95.29	88.11	81.66	90.41	81.05	91.23	79.55	91.01	82.73
495	95.29	88.26	81.73	90.50	81.05	91.37	79.58	91.10	82.73
495.5	95.29	88.43	81.80	90.55	81.10	91.46	79.62	91.18	82.76
496	95.29	88.60	81.88	90.64	81.16	91.56	79.66	91.29	82.80
496.5	95.29	88.75	81.96	90.72	81.15	91.58	79.67	91.35	82.83
497	95.29	88.90	82.10	90.87	81.22	91.70	79.74	91.48	82.88
497.5	95.29	89.10	82.24	91.05	81.29	91.80	79.83	91.59	82.93
498	95.29	89.28	82.41	91.21	81.34	91.93	79.91	91.74	83.00
498.5	95.30	89.47	82.52	91.39	81.40	92.03	79.99	91.86	83.04
499	95.30	89.63	82.62	91.55	81.46	92.17	80.07	92.01	83.11
499.5	95.30	89.76	82.69	91.60	81.49	92.27	80.12	92.09	83.10
500	95.30	89.86	82.78	91.65	81.56	92.36	80.20	92.15	83.10
500.5	95.30	89.97	82.86	91.70	81.64	92.43	80.29	92.17	83.12
501	95.30	90.08	82.94	91.80	81.69	92.52	80.40	92.22	83.16
501.5	95.30	90.23	83.09	91.92	81.77	92.65	80.51	92.32	83.23
502	95.30	90.39	83.21	92.08	81.84	92.74	80.59	92.43	83.27
502.5	95.30	90.59	83.33	92.22	81.91	92.82	80.71	92.52	83.30
503	95.30	90.75	83.46	92.37	82.02	92.93	80.83	92.65	83.38
503.5	95.30	90.92	83.61	92.46	82.08	92.99	80.93	92.77	83.45
504	95.30	91.03	83.73	92.54	82.17	93.05	81.02	92.90	83.53
504.5	95.30	91.12	83.83	92.58	82.24	93.12	81.12	92.98	83.60
505	95.30	91.21	83.95	92.60	82.29	93.16	81.21	93.05	83.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
505.5	95.30	91.29	84.04	92.65	82.34	93.24	81.28	93.05	83.71
506	95.30	91.44	84.17	92.74	82.47	93.36	81.41	93.10	83.83
506.5	95.30	91.57	84.26	92.81	82.56	93.46	81.51	93.16	83.88
507	95.30	91.70	84.37	92.92	82.69	93.56	81.63	93.26	83.92
507.5	95.30	91.81	84.46	93.01	82.81	93.58	81.72	93.28	83.96
508	95.30	91.92	84.55	93.09	82.92	93.63	81.81	93.33	84.01
508.5	95.30	92.05	84.71	93.22	83.04	93.72	81.94	93.43	84.14
509	95.30	92.15	84.85	93.34	83.10	93.78	82.02	93.54	84.23
509.5	95.30	92.27	84.97	93.42	83.14	93.84	82.11	93.58	84.32
510	95.30	92.37	85.08	93.49	83.23	93.89	82.19	93.62	84.42
510.5	95.30	92.53	85.20	93.57	83.34	93.97	82.32	93.68	84.54
511	95.30	92.63	85.33	93.62	83.46	94.05	82.46	93.73	84.63
511.5	95.30	92.71	85.45	93.64	83.57	94.12	82.59	93.79	84.70
512	95.30	92.80	85.57	93.70	83.69	94.16	82.75	93.83	84.77
512.5	95.30	92.83	85.63	93.74	83.76	94.18	82.84	93.83	84.81
513	95.30	92.91	85.72	93.78	83.87	94.20	82.95	93.84	84.89
513.5	95.30	92.96	85.85	93.83	83.93	94.23	83.05	93.87	84.96
514	95.30	93.05	85.98	93.90	84.03	94.32	83.18	93.94	85.06
514.5	95.30	93.11	86.11	93.96	84.12	94.35	83.28	94.01	85.14
515	95.30	93.19	86.24	93.98	84.20	94.35	83.40	94.08	85.22
515.5	95.30	93.28	86.39	94.01	84.33	94.38	83.53	94.16	85.33
516	95.30	93.31	86.50	94.06	84.42	94.39	83.66	94.20	85.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
516.5	95.30	93.35	86.59	94.09	84.49	94.41	83.78	94.20	85.51
517	95.30	93.39	86.70	94.12	84.59	94.45	83.89	94.20	85.57
517.5	95.30	93.51	86.81	94.22	84.74	94.52	84.01	94.24	85.68
518	95.30	93.55	86.87	94.23	84.83	94.58	84.11	94.20	85.76
518.5	95.30	93.58	86.96	94.22	84.94	94.59	84.18	94.20	85.82
519	95.30	93.64	87.10	94.27	85.07	94.65	84.30	94.22	85.91
519.5	95.29	93.66	87.23	94.27	85.13	94.65	84.39	94.25	86.00
520	95.29	93.71	87.35	94.30	85.23	94.64	84.51	94.28	86.10
520.5	95.29	93.73	87.47	94.36	85.30	94.65	84.63	94.32	86.19
521	95.29	93.80	87.56	94.41	85.40	94.69	84.78	94.36	86.27
521.5	95.29	93.87	87.69	94.47	85.53	94.72	84.94	94.45	86.39
522	95.29	93.96	87.84	94.56	85.68	94.75	85.12	94.51	86.52
522.5	95.29	94.10	88.01	94.63	85.87	94.82	85.28	94.61	86.64
523	95.29	94.20	88.14	94.67	86.03	94.88	85.46	94.67	86.79
523.5	95.29	94.30	88.27	94.71	86.17	94.93	85.60	94.72	86.94
524	95.29	94.35	88.38	94.70	86.26	94.97	85.71	94.73	87.04
524.5	95.28	94.46	88.51	94.75	86.38	95.02	85.87	94.77	87.18
525	95.28	94.47	88.57	94.75	86.46	95.05	85.98	94.70	87.28
525.5	95.28	94.47	88.61	94.73	86.50	95.03	86.09	94.64	87.34
526	95.28	94.52	88.68	94.75	86.61	95.06	86.26	94.62	87.39
526.5	95.28	94.52	88.75	94.75	86.68	95.05	86.37	94.61	87.44
527	95.28	94.51	88.81	94.76	86.78	95.04	86.47	94.59	87.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
527.5	95.28	94.50	88.89	94.78	86.89	95.02	86.55	94.61	87.54
528	95.28	94.50	88.98	94.79	87.00	95.03	86.60	94.65	87.61
528.5	95.28	94.51	89.07	94.78	87.10	95.04	86.68	94.70	87.74
529	95.27	94.51	89.20	94.83	87.22	95.07	86.77	94.72	87.89
529.5	95.27	94.57	89.34	94.87	87.34	95.08	86.85	94.75	88.03
530	95.27	94.63	89.48	94.92	87.46	95.10	87.01	94.78	88.16
530.5	95.27	94.69	89.62	94.98	87.58	95.15	87.15	94.83	88.32
531	95.27	94.75	89.69	94.98	87.66	95.16	87.29	94.85	88.39
531.5	95.27	94.84	89.79	95.03	87.78	95.17	87.47	94.90	88.49
532	95.27	94.83	89.86	95.06	87.92	95.19	87.61	94.90	88.57
532.5	95.27	94.85	89.93	95.06	88.02	95.18	87.72	94.93	88.66
533	95.27	94.87	90.02	95.05	88.15	95.18	87.86	94.93	88.77
533.5	95.26	94.88	90.10	95.05	88.26	95.17	87.97	94.92	88.86
534	95.26	94.93	90.20	95.04	88.34	95.20	88.09	94.89	88.94
534.5	95.26	94.99	90.31	95.05	88.46	95.22	88.24	94.93	89.02
535	95.26	95.05	90.41	95.08	88.57	95.22	88.36	94.97	89.09
535.5	95.26	95.05	90.46	95.05	88.65	95.20	88.43	94.94	89.15
536	95.26	95.06	90.55	95.08	88.74	95.25	88.52	94.98	89.24
536.5	95.26	95.06	90.59	95.10	88.79	95.25	88.57	94.96	89.29
537	95.26	95.08	90.68	95.12	88.92	95.25	88.69	94.99	89.38
537.5	95.25	95.06	90.75	95.14	89.02	95.26	88.79	95.01	89.47
538	95.25	95.07	90.81	95.13	89.09	95.28	88.88	95.03	89.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
538.5	95.25	95.10	90.89	95.14	89.15	95.30	89.00	95.00	89.67
539	95.25	95.09	90.96	95.13	89.18	95.30	89.09	94.97	89.77
539.5	95.25	95.14	91.04	95.14	89.26	95.31	89.19	95.00	89.87
540	95.25	95.15	91.11	95.17	89.35	95.30	89.31	94.98	89.99
540.5	95.25	95.14	91.17	95.22	89.44	95.30	89.41	94.99	90.09
541	95.25	95.17	91.23	95.24	89.53	95.29	89.50	94.97	90.18
541.5	95.25	95.21	91.33	95.27	89.70	95.33	89.64	95.00	90.29
542	95.24	95.25	91.42	95.30	89.85	95.36	89.79	95.04	90.38
542.5	95.24	95.25	91.48	95.30	89.99	95.37	89.89	95.04	90.45
543	95.24	95.25	91.59	95.31	90.09	95.40	90.00	95.04	90.53
543.5	95.24	95.20	91.61	95.27	90.07	95.40	90.06	94.98	90.58
544	95.24	95.21	91.69	95.23	90.15	95.37	90.10	94.95	90.63
544.5	95.24	95.21	91.72	95.19	90.18	95.30	90.15	94.91	90.67
545	95.24	95.24	91.78	95.20	90.28	95.30	90.22	94.94	90.75
545.5	95.24	95.31	91.87	95.25	90.39	95.33	90.34	94.93	90.86
546	95.24	95.31	91.93	95.25	90.46	95.35	90.42	94.95	90.96
546.5	95.24	95.37	92.00	95.26	90.60	95.36	90.55	95.01	91.06
547	95.23	95.36	92.06	95.25	90.68	95.39	90.65	95.01	91.16
547.5	95.23	95.33	92.09	95.21	90.73	95.39	90.77	95.01	91.22
548	95.23	95.29	92.10	95.18	90.75	95.38	90.84	94.98	91.25
548.5	95.23	95.27	92.13	95.14	90.78	95.35	90.91	94.92	91.31
549	95.23	95.29	92.19	95.14	90.83	95.34	90.98	94.92	91.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
549.5	95.23	95.30	92.25	95.18	90.90	95.32	91.05	94.92	91.50
550	95.23	95.33	92.36	95.23	91.00	95.28	91.14	94.94	91.61
550.5	95.23	95.34	92.43	95.29	91.08	95.29	91.25	94.96	91.69
551	95.23	95.39	92.53	95.35	91.21	95.32	91.34	94.99	91.78
551.5	95.23	95.40	92.55	95.34	91.27	95.31	91.42	95.00	91.84
552	95.23	95.43	92.56	95.33	91.36	95.36	91.49	95.03	91.90
552.5	95.23	95.46	92.60	95.33	91.43	95.39	91.56	94.99	91.95
553	95.22	95.43	92.56	95.27	91.43	95.40	91.58	94.93	91.94
553.5	95.22	95.41	92.58	95.24	91.49	95.37	91.64	94.92	91.97
554	95.22	95.36	92.61	95.23	91.55	95.34	91.68	94.91	92.04
554.5	95.22	95.28	92.66	95.21	91.59	95.25	91.75	94.88	92.10
555	95.22	95.23	92.75	95.21	91.65	95.21	91.82	94.88	92.18
555.5	95.22	95.21	92.80	95.20	91.73	95.16	91.87	94.88	92.23
556	95.22	95.27	92.90	95.22	91.83	95.23	91.97	94.91	92.33
556.5	95.22	95.29	92.93	95.21	91.89	95.26	92.05	94.91	92.43
557	95.22	95.33	92.99	95.22	91.97	95.29	92.17	94.96	92.52
557.5	95.22	95.34	93.00	95.24	92.02	95.31	92.28	94.96	92.56
558	95.22	95.35	93.02	95.25	92.07	95.30	92.35	94.94	92.58
558.5	95.22	95.31	93.00	95.23	92.11	95.25	92.41	94.93	92.57
559	95.22	95.33	93.04	95.26	92.19	95.28	92.49	94.96	92.63
559.5	95.22	95.34	93.11	95.29	92.27	95.30	92.50	94.98	92.72
560	95.22	95.37	93.15	95.33	92.33	95.34	92.50	94.96	92.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
560.5	95.22	95.39	93.20	95.33	92.37	95.35	92.53	94.92	92.85
561	95.22	95.38	93.22	95.32	92.42	95.35	92.56	94.88	92.91
561.5	95.22	95.37	93.24	95.28	92.42	95.31	92.63	94.87	92.95
562	95.22	95.34	93.28	95.24	92.45	95.29	92.70	94.88	92.97
562.5	95.22	95.31	93.30	95.23	92.49	95.23	92.74	94.91	92.99
563	95.22	95.35	93.35	95.23	92.55	95.26	92.82	94.96	93.04
563.5	95.22	95.37	93.37	95.23	92.60	95.24	92.87	94.99	93.08
564	95.22	95.39	93.44	95.25	92.67	95.27	92.92	95.06	93.16
564.5	95.22	95.39	93.50	95.28	92.75	95.31	92.99	95.10	93.23
565	95.21	95.37	93.53	95.29	92.78	95.32	93.02	95.07	93.28
565.5	95.21	95.30	93.51	95.26	92.81	95.29	93.04	95.03	93.29
566	95.21	95.25	93.50	95.24	92.85	95.28	93.10	95.00	93.32
566.5	95.21	95.26	93.54	95.24	92.92	95.27	93.12	95.02	93.39
567	95.21	95.33	93.62	95.30	93.02	95.35	93.17	95.09	93.49
567.5	95.21	95.40	93.66	95.34	93.07	95.40	93.24	95.11	93.54
568	95.21	95.46	93.70	95.39	93.16	95.41	93.31	95.11	93.59
568.5	95.21	95.53	93.74	95.45	93.22	95.44	93.40	95.12	93.64
569	95.21	95.53	93.77	95.45	93.28	95.43	93.44	95.16	93.66
569.5	95.21	95.51	93.80	95.43	93.31	95.38	93.46	95.15	93.67
570	95.21	95.49	93.81	95.36	93.32	95.36	93.47	95.14	93.67
570.5	95.21	95.46	93.81	95.33	93.36	95.35	93.50	95.13	93.67
571	95.22	95.44	93.83	95.30	93.40	95.32	93.50	95.12	93.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
571.5	95.22	95.43	93.88	95.30	93.46	95.33	93.55	95.13	93.75
572	95.22	95.43	93.92	95.28	93.48	95.34	93.59	95.14	93.82
572.5	95.22	95.42	93.96	95.28	93.49	95.38	93.65	95.14	93.85
573	95.22	95.42	94.03	95.28	93.50	95.36	93.72	95.17	93.91
573.5	95.22	95.43	94.09	95.31	93.52	95.33	93.76	95.19	93.96
574	95.22	95.43	94.10	95.32	93.55	95.35	93.79	95.21	94.00
574.5	95.22	95.43	94.09	95.29	93.58	95.37	93.83	95.20	94.03
575	95.22	95.44	94.06	95.28	93.61	95.37	93.83	95.19	94.05
575.5	95.22	95.45	94.05	95.28	93.66	95.43	93.86	95.17	94.09
576	95.22	95.46	94.06	95.27	93.73	95.44	93.87	95.18	94.10
576.5	95.22	95.45	94.07	95.26	93.78	95.40	93.88	95.17	94.13
577	95.22	95.40	94.05	95.22	93.78	95.36	93.89	95.16	94.12
577.5	95.22	95.38	94.05	95.20	93.79	95.35	93.93	95.16	94.13
578	95.22	95.37	94.05	95.22	93.80	95.30	93.95	95.16	94.15
578.5	95.22	95.38	94.06	95.26	93.84	95.32	94.01	95.20	94.16
579	95.22	95.43	94.06	95.28	93.86	95.32	94.07	95.23	94.20
579.5	95.22	95.43	94.02	95.27	93.88	95.34	94.09	95.23	94.20
580	95.22	95.44	94.04	95.28	93.89	95.32	94.08	95.23	94.25
580.5	95.22	95.45	94.09	95.30	93.92	95.32	94.09	95.26	94.26
581	95.22	95.43	94.13	95.31	93.95	95.31	94.09	95.27	94.25
581.5	95.22	95.39	94.17	95.29	94.01	95.29	94.11	95.25	94.25
582	95.22	95.39	94.22	95.31	94.06	95.30	94.14	95.28	94.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
582.5	95.22	95.39	94.23	95.32	94.09	95.36	94.20	95.27	94.35
583	95.22	95.43	94.27	95.38	94.16	95.44	94.29	95.30	94.42
583.5	95.22	95.43	94.33	95.40	94.20	95.49	94.35	95.34	94.48
584	95.23	95.42	94.31	95.39	94.17	95.48	94.38	95.36	94.47
584.5	95.23	95.43	94.29	95.35	94.17	95.46	94.42	95.35	94.46
585	95.23	95.36	94.23	95.30	94.14	95.36	94.38	95.28	94.43
585.5	95.23	95.33	94.22	95.28	94.16	95.33	94.34	95.26	94.40
586	95.23	95.32	94.21	95.26	94.11	95.30	94.30	95.25	94.37
586.5	95.23	95.36	94.23	95.24	94.16	95.30	94.32	95.25	94.38
587	95.23	95.39	94.26	95.24	94.21	95.30	94.28	95.26	94.42
587.5	95.23	95.43	94.29	95.25	94.28	95.33	94.30	95.28	94.46
588	95.23	95.45	94.29	95.25	94.32	95.36	94.31	95.30	94.50
588.5	95.23	95.44	94.30	95.24	94.35	95.33	94.31	95.31	94.52
589	95.23	95.47	94.36	95.25	94.37	95.33	94.37	95.36	94.54
589.5	95.23	95.47	94.34	95.23	94.36	95.33	94.40	95.33	94.53
590	95.23	95.48	94.34	95.27	94.39	95.37	94.47	95.35	94.55
590.5	95.23	95.46	94.37	95.28	94.40	95.38	94.51	95.35	94.56
591	95.23	95.40	94.34	95.29	94.36	95.38	94.51	95.36	94.54
591.5	95.24	95.44	94.40	95.30	94.41	95.42	94.58	95.39	94.59
592	95.24	95.40	94.37	95.27	94.37	95.35	94.56	95.35	94.57
592.5	95.24	95.38	94.39	95.26	94.42	95.35	94.56	95.34	94.60
593	95.24	95.36	94.41	95.27	94.40	95.33	94.52	95.33	94.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
593.5	95.24	95.38	94.42	95.30	94.43	95.33	94.54	95.31	94.66
594	95.24	95.39	94.42	95.34	94.46	95.37	94.55	95.32	94.70
594.5	95.24	95.44	94.41	95.37	94.53	95.41	94.61	95.30	94.72
595	95.24	95.46	94.38	95.36	94.57	95.43	94.63	95.31	94.73
595.5	95.24	95.42	94.32	95.30	94.53	95.38	94.56	95.30	94.72
596	95.24	95.43	94.31	95.24	94.50	95.34	94.57	95.32	94.70
596.5	95.24	95.40	94.30	95.18	94.48	95.30	94.58	95.35	94.69
597	95.24	95.43	94.31	95.14	94.47	95.30	94.58	95.36	94.67
597.5	95.24	95.39	94.32	95.12	94.42	95.25	94.59	95.33	94.64
598	95.24	95.34	94.30	95.16	94.41	95.25	94.60	95.30	94.64
598.5	95.25	95.35	94.36	95.23	94.47	95.30	94.62	95.32	94.69
599	95.25	95.36	94.36	95.26	94.47	95.33	94.66	95.29	94.69
599.5	95.25	95.36	94.40	95.27	94.49	95.37	94.67	95.29	94.70
600	95.25	95.43	94.45	95.28	94.53	95.39	94.66	95.35	94.74
600.5	95.25	95.48	94.51	95.28	94.54	95.39	94.65	95.39	94.75
601	95.25	95.46	94.51	95.23	94.55	95.37	94.63	95.43	94.75
601.5	95.25	95.48	94.48	95.21	94.56	95.37	94.65	95.42	94.76
602	95.25	95.47	94.45	95.22	94.61	95.38	94.69	95.43	94.76
602.5	95.25	95.43	94.40	95.22	94.58	95.39	94.65	95.38	94.75
603	95.25	95.36	94.32	95.20	94.55	95.36	94.62	95.31	94.70
603.5	95.25	95.32	94.31	95.19	94.55	95.34	94.62	95.31	94.70
604	95.25	95.34	94.30	95.15	94.55	95.31	94.60	95.26	94.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
604.5	95.25	95.33	94.30	95.10	94.51	95.24	94.60	95.22	94.64
605	95.25	95.35	94.30	95.09	94.51	95.18	94.59	95.21	94.63
605.5	95.26	95.35	94.33	95.10	94.54	95.18	94.55	95.23	94.64
606	95.26	95.39	94.35	95.11	94.55	95.20	94.55	95.25	94.70
606.5	95.26	95.38	94.37	95.13	94.55	95.23	94.59	95.28	94.72
607	95.26	95.42	94.36	95.15	94.56	95.29	94.60	95.31	94.74
607.5	95.26	95.46	94.40	95.20	94.55	95.34	94.61	95.33	94.75
608	95.26	95.47	94.40	95.19	94.54	95.35	94.62	95.34	94.73
608.5	95.26	95.45	94.38	95.17	94.52	95.33	94.63	95.31	94.71
609	95.26	95.41	94.36	95.16	94.49	95.29	94.64	95.31	94.68
609.5	95.26	95.39	94.35	95.16	94.51	95.28	94.68	95.32	94.68
610	95.26	95.36	94.34	95.16	94.55	95.29	94.68	95.34	94.69
610.5	95.26	95.36	94.32	95.19	94.59	95.30	94.65	95.37	94.70
611	95.26	95.39	94.29	95.21	94.60	95.32	94.61	95.36	94.72
611.5	95.26	95.43	94.31	95.24	94.63	95.34	94.61	95.37	94.75
612	95.26	95.46	94.30	95.24	94.62	95.30	94.61	95.35	94.73
612.5	95.26	95.47	94.31	95.24	94.61	95.31	94.60	95.31	94.69
613	95.26	95.49	94.33	95.23	94.59	95.31	94.61	95.31	94.70
613.5	95.26	95.44	94.34	95.21	94.55	95.30	94.64	95.30	94.68
614	95.26	95.38	94.36	95.18	94.50	95.32	94.66	95.31	94.67
614.5	95.27	95.37	94.39	95.17	94.52	95.34	94.67	95.32	94.72
615	95.27	95.34	94.38	95.15	94.51	95.34	94.66	95.33	94.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
615.5	95.27	95.31	94.35	95.15	94.54	95.34	94.63	95.33	94.73
616	95.27	95.30	94.34	95.16	94.55	95.35	94.57	95.33	94.71
616.5	95.27	95.35	94.34	95.17	94.57	95.35	94.58	95.34	94.71
617	95.27	95.38	94.38	95.22	94.60	95.36	94.61	95.36	94.71
617.5	95.27	95.42	94.37	95.24	94.59	95.33	94.63	95.37	94.72
618	95.27	95.48	94.38	95.27	94.59	95.33	94.65	95.37	94.73
618.5	95.27	95.51	94.38	95.29	94.60	95.37	94.69	95.40	94.74
619	95.27	95.50	94.41	95.28	94.58	95.37	94.72	95.41	94.75
619.5	95.27	95.47	94.40	95.27	94.56	95.36	94.72	95.37	94.74
620	95.27	95.43	94.37	95.24	94.56	95.31	94.71	95.36	94.70
620.5	95.27	95.34	94.30	95.18	94.54	95.25	94.66	95.33	94.63
621	95.27	95.30	94.28	95.13	94.52	95.24	94.64	95.33	94.57
621.5	95.27	95.29	94.25	95.11	94.52	95.21	94.59	95.27	94.54
622	95.27	95.25	94.21	95.11	94.48	95.19	94.57	95.25	94.51
622.5	95.27	95.27	94.19	95.10	94.49	95.20	94.54	95.21	94.53
623	95.27	95.27	94.21	95.09	94.51	95.25	94.52	95.22	94.57
623.5	95.27	95.33	94.27	95.16	94.55	95.31	94.56	95.27	94.62
624	95.27	95.33	94.32	95.16	94.56	95.34	94.60	95.29	94.61
624.5	95.27	95.33	94.36	95.13	94.53	95.33	94.63	95.30	94.62
625	95.27	95.35	94.36	95.12	94.55	95.30	94.63	95.34	94.62
625.5	95.27	95.38	94.32	95.09	94.55	95.32	94.63	95.38	94.59
626	95.27	95.40	94.33	95.10	94.55	95.32	94.65	95.40	94.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
626.5	95.27	95.40	94.29	95.10	94.54	95.31	94.64	95.38	94.56
627	95.27	95.39	94.26	95.09	94.55	95.27	94.60	95.33	94.56
627.5	95.27	95.39	94.25	95.11	94.58	95.27	94.55	95.33	94.58
628	95.27	95.39	94.23	95.11	94.57	95.27	94.54	95.32	94.59
628.5	95.27	95.36	94.21	95.09	94.53	95.21	94.48	95.25	94.56
629	95.27	95.33	94.21	95.11	94.51	95.17	94.51	95.25	94.56
629.5	95.27	95.28	94.17	95.08	94.45	95.15	94.52	95.21	94.50
630	95.27	95.24	94.17	95.05	94.43	95.16	94.50	95.21	94.49
630.5	95.27	95.24	94.21	95.12	94.44	95.15	94.53	95.26	94.52
631	95.27	95.28	94.26	95.13	94.45	95.18	94.56	95.30	94.50
631.5	95.27	95.35	94.30	95.18	94.49	95.22	94.57	95.33	94.52
632	95.27	95.41	94.32	95.24	94.55	95.26	94.57	95.37	94.54
632.5	95.27	95.46	94.33	95.23	94.57	95.31	94.57	95.38	94.56
633	95.27	95.45	94.30	95.21	94.53	95.32	94.52	95.32	94.53
633.5	95.27	95.40	94.23	95.15	94.46	95.29	94.46	95.27	94.49
634	95.27	95.32	94.19	95.11	94.42	95.29	94.44	95.23	94.49
634.5	95.27	95.27	94.21	95.10	94.40	95.29	94.44	95.23	94.48
635	95.27	95.26	94.23	95.10	94.37	95.31	94.47	95.24	94.46
635.5	95.27	95.27	94.28	95.13	94.37	95.29	94.48	95.25	94.47
636	95.27	95.32	94.33	95.16	94.41	95.28	94.53	95.29	94.50
636.5	95.27	95.37	94.33	95.15	94.43	95.28	94.58	95.33	94.51
637	95.27	95.36	94.32	95.12	94.43	95.24	94.55	95.32	94.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
637.5	95.27	95.31	94.30	95.10	94.40	95.16	94.52	95.29	94.48
638	95.27	95.24	94.28	95.05	94.40	95.13	94.49	95.28	94.45
638.5	95.27	95.23	94.25	95.04	94.39	95.10	94.40	95.29	94.43
639	95.27	95.26	94.26	95.09	94.45	95.15	94.39	95.32	94.43
639.5	95.27	95.30	94.29	95.14	94.50	95.21	94.45	95.34	94.40
640	95.27	95.37	94.35	95.22	94.55	95.28	94.55	95.36	94.41
640.5	95.27	95.42	94.39	95.25	94.57	95.31	94.59	95.35	94.41
641	95.27	95.43	94.41	95.24	94.56	95.32	94.63	95.34	94.42
641.5	95.27	95.41	94.39	95.19	94.52	95.30	94.61	95.31	94.41
642	95.27	95.38	94.34	95.10	94.47	95.25	94.57	95.26	94.41
642.5	95.27	95.34	94.32	95.05	94.45	95.21	94.51	95.22	94.42
643	95.27	95.29	94.29	95.03	94.42	95.18	94.43	95.20	94.40
643.5	95.27	95.26	94.25	95.02	94.41	95.17	94.38	95.18	94.39
644	95.27	95.25	94.23	95.01	94.43	95.15	94.35	95.18	94.38
644.5	95.27	95.24	94.19	95.01	94.40	95.14	94.38	95.16	94.36
645	95.27	95.22	94.20	95.04	94.41	95.19	94.44	95.18	94.37
645.5	95.27	95.24	94.19	95.05	94.39	95.20	94.44	95.22	94.38
646	95.27	95.29	94.24	95.11	94.43	95.28	94.45	95.28	94.41
646.5	95.27	95.32	94.24	95.14	94.43	95.28	94.44	95.29	94.40
647	95.27	95.38	94.32	95.20	94.45	95.34	94.52	95.35	94.44
647.5	95.27	95.40	94.35	95.24	94.47	95.38	94.54	95.41	94.45
648	95.27	95.37	94.38	95.24	94.45	95.38	94.60	95.40	94.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
648.5	95.27	95.38	94.38	95.26	94.44	95.41	94.60	95.39	94.39
649	95.27	95.32	94.31	95.20	94.40	95.35	94.55	95.31	94.36
649.5	95.27	95.29	94.27	95.15	94.43	95.30	94.50	95.25	94.34
650	95.27	95.27	94.24	95.13	94.39	95.28	94.41	95.18	94.31
650.5	95.27	95.28	94.23	95.14	94.39	95.24	94.36	95.17	94.26
651	95.27	95.32	94.23	95.16	94.40	95.23	94.32	95.19	94.24
651.5	95.27	95.34	94.19	95.15	94.37	95.22	94.31	95.20	94.22
652	95.27	95.32	94.23	95.15	94.34	95.22	94.33	95.23	94.21
652.5	95.26	95.32	94.22	95.11	94.33	95.24	94.32	95.24	94.24
653	95.26	95.33	94.26	95.12	94.36	95.32	94.35	95.28	94.30
653.5	95.26	95.31	94.23	95.09	94.37	95.31	94.34	95.29	94.31
654	95.26	95.32	94.27	95.13	94.41	95.33	94.36	95.32	94.31
654.5	95.26	95.31	94.26	95.12	94.47	95.32	94.35	95.34	94.34
655	95.26	95.33	94.28	95.15	94.45	95.30	94.41	95.34	94.37
655.5	95.26	95.37	94.31	95.19	94.46	95.33	94.47	95.34	94.39
656	95.26	95.42	94.30	95.21	94.43	95.31	94.51	95.33	94.39
656.5	95.26	95.44	94.33	95.21	94.45	95.31	94.54	95.32	94.41
657	95.26	95.44	94.32	95.22	94.41	95.32	94.49	95.26	94.40
657.5	95.26	95.41	94.35	95.22	94.41	95.31	94.47	95.25	94.40
658	95.26	95.36	94.36	95.23	94.43	95.34	94.43	95.25	94.37
658.5	95.26	95.33	94.32	95.24	94.46	95.34	94.38	95.29	94.33
659	95.26	95.29	94.30	95.23	94.43	95.32	94.39	95.31	94.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
659.5	95.26	95.27	94.28	95.20	94.44	95.32	94.36	95.33	94.29
660	95.26	95.30	94.29	95.20	94.45	95.34	94.37	95.33	94.33
660.5	95.26	95.36	94.26	95.19	94.43	95.34	94.38	95.31	94.34
661	95.26	95.44	94.27	95.21	94.43	95.34	94.41	95.29	94.33
661.5	95.26	95.46	94.24	95.17	94.42	95.30	94.40	95.27	94.29
662	95.26	95.46	94.22	95.17	94.35	95.28	94.39	95.26	94.23
662.5	95.26	95.42	94.23	95.14	94.28	95.25	94.38	95.27	94.20
663	95.26	95.39	94.25	95.13	94.23	95.23	94.36	95.28	94.17
663.5	95.26	95.35	94.28	95.13	94.22	95.23	94.36	95.29	94.15
664	95.26	95.34	94.29	95.13	94.18	95.23	94.35	95.29	94.14
664.5	95.26	95.32	94.31	95.12	94.18	95.28	94.36	95.29	94.15
665	95.25	95.32	94.34	95.13	94.23	95.31	94.39	95.27	94.17
665.5	95.25	95.37	94.36	95.13	94.29	95.34	94.39	95.27	94.19
666	95.25	95.39	94.34	95.12	94.30	95.33	94.40	95.22	94.18
666.5	95.25	95.39	94.37	95.13	94.31	95.35	94.39	95.25	94.21
667	95.25	95.42	94.36	95.17	94.34	95.35	94.39	95.30	94.23
667.5	95.25	95.39	94.34	95.17	94.32	95.31	94.37	95.31	94.23
668	95.25	95.40	94.35	95.19	94.35	95.31	94.36	95.32	94.27
668.5	95.25	95.36	94.34	95.18	94.37	95.27	94.35	95.27	94.24
669	95.25	95.30	94.26	95.13	94.30	95.19	94.31	95.18	94.19
669.5	95.25	95.25	94.21	95.05	94.23	95.13	94.29	95.13	94.14
670	95.25	95.23	94.21	95.01	94.19	95.11	94.27	95.14	94.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
670.5	95.25	95.22	94.23	94.99	94.21	95.10	94.25	95.18	94.10
671	95.25	95.25	94.24	94.98	94.19	95.07	94.22	95.23	94.09
671.5	95.25	95.31	94.28	95.03	94.22	95.11	94.23	95.31	94.11
672	95.25	95.31	94.32	95.11	94.30	95.15	94.28	95.37	94.19
672.5	95.25	95.37	94.35	95.14	94.34	95.19	94.29	95.40	94.26
673	95.25	95.33	94.30	95.10	94.36	95.16	94.28	95.32	94.20
673.5	95.25	95.32	94.30	95.10	94.36	95.20	94.31	95.27	94.21
674	95.25	95.32	94.27	95.11	94.38	95.23	94.33	95.24	94.18
674.5	95.24	95.27	94.24	95.05	94.32	95.19	94.32	95.15	94.14
675	95.24	95.28	94.26	95.04	94.30	95.21	94.29	95.15	94.12
675.5	95.24	95.33	94.31	95.09	94.34	95.25	94.29	95.22	94.14
676	95.24	95.34	94.31	95.12	94.33	95.23	94.28	95.28	94.17
676.5	95.24	95.35	94.34	95.16	94.34	95.23	94.27	95.32	94.20
677	95.24	95.35	94.34	95.18	94.34	95.21	94.30	95.36	94.21
677.5	95.24	95.29	94.31	95.14	94.33	95.19	94.28	95.37	94.18
678	95.24	95.25	94.30	95.08	94.28	95.14	94.26	95.34	94.14
678.5	95.24	95.23	94.28	95.06	94.28	95.14	94.25	95.34	94.12
679	95.24	95.22	94.30	95.07	94.31	95.17	94.29	95.33	94.13
679.5	95.24	95.26	94.34	95.06	94.30	95.18	94.29	95.28	94.15
680	95.24	95.24	94.33	95.03	94.30	95.16	94.25	95.22	94.12
680.5	95.24	95.26	94.29	95.02	94.29	95.15	94.26	95.15	94.10
681	95.24	95.28	94.27	95.03	94.32	95.14	94.27	95.20	94.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
681.5	95.24	95.27	94.25	95.00	94.29	95.11	94.28	95.17	94.08
682	95.24	95.27	94.25	94.99	94.26	95.12	94.26	95.14	94.05
682.5	95.24	95.28	94.24	95.00	94.23	95.12	94.23	95.16	94.05
683	95.24	95.25	94.24	94.98	94.20	95.14	94.21	95.18	94.05
683.5	95.24	95.26	94.30	95.02	94.21	95.18	94.18	95.20	94.08
684	95.24	95.29	94.32	95.04	94.23	95.21	94.16	95.23	94.08
684.5	95.23	95.29	94.32	95.05	94.27	95.22	94.15	95.24	94.09
685	95.23	95.29	94.33	95.02	94.25	95.16	94.13	95.20	94.08
685.5	95.23	95.25	94.30	95.00	94.27	95.11	94.12	95.16	94.08
686	95.23	95.25	94.27	94.96	94.26	95.07	94.11	95.14	94.04
686.5	95.23	95.27	94.28	94.98	94.28	95.07	94.14	95.16	94.04
687	95.23	95.27	94.32	95.02	94.26	95.07	94.15	95.18	94.05
687.5	95.23	95.27	94.34	95.03	94.21	95.10	94.20	95.16	94.05
688	95.23	95.29	94.36	95.06	94.21	95.11	94.21	95.19	94.05
688.5	95.23	95.26	94.37	95.03	94.16	95.12	94.22	95.19	94.02
689	95.23	95.24	94.38	95.01	94.16	95.12	94.19	95.19	94.00
689.5	95.23	95.23	94.38	95.02	94.16	95.13	94.17	95.20	94.02
690	95.23	95.19	94.33	94.99	94.22	95.13	94.16	95.17	94.02
690.5	95.23	95.21	94.34	95.01	94.29	95.12	94.19	95.17	94.07
691	95.23	95.25	94.36	95.01	94.31	95.12	94.20	95.17	94.06
691.5	95.23	95.27	94.37	95.02	94.34	95.15	94.22	95.21	94.06
692	95.23	95.31	94.34	94.99	94.32	95.14	94.18	95.20	94.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
692.5	95.23	95.27	94.33	94.92	94.26	95.14	94.18	95.13	94.06
693	95.23	95.23	94.31	94.84	94.14	95.09	94.12	95.07	94.02
693.5	95.23	95.18	94.26	94.79	94.08	95.08	94.07	95.08	93.98
694	95.23	95.14	94.27	94.79	94.06	95.07	94.05	95.10	93.95
694.5	95.23	95.15	94.28	94.82	94.07	95.07	94.07	95.13	93.98
695	95.23	95.18	94.31	94.92	94.16	95.06	94.10	95.15	94.00
695.5	95.23	95.24	94.36	95.00	94.24	95.08	94.19	95.17	94.03
696	95.23	95.26	94.39	95.03	94.28	95.08	94.24	95.20	94.05
696.5	95.23	95.29	94.40	95.06	94.27	95.10	94.23	95.19	94.06
697	95.23	95.26	94.39	95.05	94.28	95.10	94.20	95.13	94.06
697.5	95.22	95.25	94.39	95.02	94.28	95.10	94.19	95.15	94.10
698	95.22	95.27	94.41	95.02	94.28	95.09	94.17	95.14	94.16
698.5	95.22	95.29	94.44	95.05	94.29	95.09	94.17	95.20	94.18
699	95.22	95.30	94.42	95.00	94.27	95.05	94.08	95.17	94.12
699.5	95.22	95.31	94.45	94.99	94.30	95.05	94.09	95.15	94.10
700	95.22	95.29	94.46	94.96	94.24	94.99	94.06	95.09	94.02
700.5	95.22	95.23	94.39	94.90	94.22	94.97	94.04	95.05	93.97
701	95.22	95.19	94.36	94.84	94.21	94.96	94.06	95.05	93.92
701.5	95.22	95.16	94.34	94.81	94.17	94.97	94.05	95.07	93.93
702	95.22	95.13	94.34	94.80	94.16	94.97	94.04	95.07	93.93
702.5	95.22	95.17	94.38	94.85	94.20	95.00	94.10	95.09	94.01
703	95.22	95.21	94.42	94.93	94.28	95.07	94.17	95.14	94.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
703.5	95.22	95.24	94.43	94.99	94.29	95.13	94.16	95.14	94.17
704	95.22	95.29	94.44	95.08	94.30	95.15	94.17	95.11	94.22
704.5	95.22	95.30	94.44	95.07	94.24	95.14	94.17	95.12	94.22
705	95.22	95.31	94.44	95.06	94.20	95.08	94.13	95.10	94.23
705.5	95.22	95.32	94.44	95.07	94.20	95.05	94.16	95.16	94.23
706	95.22	95.26	94.38	95.02	94.19	95.01	94.14	95.18	94.19
706.5	95.22	95.28	94.40	95.01	94.24	95.00	94.19	95.21	94.21
707	95.22	95.27	94.42	94.98	94.25	95.02	94.21	95.20	94.16
707.5	95.22	95.28	94.46	95.01	94.32	95.08	94.26	95.17	94.19
708	95.22	95.31	94.52	95.04	94.37	95.15	94.34	95.17	94.22
708.5	95.22	95.34	94.56	95.06	94.40	95.21	94.35	95.15	94.25
709	95.22	95.35	94.57	95.04	94.38	95.18	94.30	95.11	94.22
709.5	95.22	95.36	94.57	94.99	94.38	95.16	94.23	95.08	94.20
710	95.22	95.34	94.52	94.95	94.38	95.08	94.12	95.06	94.17
710.5	95.22	95.26	94.47	94.90	94.31	95.00	94.01	95.03	94.11
711	95.22	95.19	94.36	94.89	94.25	94.90	93.93	94.97	94.05
711.5	95.22	95.19	94.31	94.90	94.20	94.93	93.93	94.97	94.07
712	95.22	95.18	94.31	94.88	94.14	94.90	93.93	94.94	94.05
712.5	95.22	95.20	94.38	94.92	94.12	94.96	93.98	95.01	94.10
713	95.22	95.23	94.43	94.93	94.12	95.03	94.04	95.07	94.09
713.5	95.22	95.27	94.51	94.95	94.15	95.11	94.16	95.16	94.12
714	95.22	95.30	94.56	94.99	94.21	95.15	94.22	95.21	94.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
714.5	95.22	95.29	94.58	95.03	94.28	95.13	94.25	95.18	94.13
715	95.22	95.28	94.56	95.07	94.33	95.11	94.26	95.21	94.12
715.5	95.22	95.31	94.56	95.08	94.33	95.09	94.29	95.17	94.15
716	95.22	95.34	94.56	95.10	94.32	95.06	94.28	95.11	94.13
716.5	95.22	95.35	94.57	95.08	94.33	95.09	94.26	95.06	94.12
717	95.22	95.36	94.56	94.99	94.34	95.04	94.18	95.03	94.11
717.5	95.22	95.31	94.54	94.88	94.32	95.03	94.12	95.01	94.10
718	95.22	95.22	94.48	94.80	94.28	94.93	94.05	95.00	94.03
718.5	95.22	95.19	94.43	94.81	94.30	94.98	94.06	95.02	94.05
719	95.23	95.12	94.39	94.75	94.23	94.91	94.06	94.98	94.04
719.5	95.23	95.11	94.40	94.78	94.21	94.88	94.12	94.98	94.10
720	95.23	95.09	94.35	94.78	94.20	94.83	94.10	94.92	94.09
720.5	95.23	95.08	94.35	94.79	94.20	94.86	94.11	94.93	94.00
721	95.23	95.08	94.41	94.78	94.23	94.89	94.13	94.92	93.98
721.5	95.23	95.08	94.41	94.75	94.23	94.87	94.11	94.86	93.92
722	95.23	95.06	94.38	94.72	94.21	94.85	94.06	94.84	93.88
722.5	95.23	95.08	94.39	94.73	94.25	94.89	94.07	94.90	93.91
723	95.23	95.16	94.40	94.79	94.25	94.93	94.13	94.98	93.98
723.5	95.23	95.26	94.44	94.86	94.29	94.96	94.21	95.04	94.06
724	95.23	95.35	94.51	94.93	94.29	94.96	94.31	95.08	94.12
724.5	95.23	95.39	94.50	94.94	94.24	94.94	94.31	95.06	94.14
725	95.23	95.36	94.50	94.98	94.23	94.92	94.28	95.07	94.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
725.5	95.23	95.33	94.46	95.02	94.29	94.91	94.27	95.06	94.12
726	95.23	95.24	94.44	94.97	94.25	94.91	94.19	94.99	94.07
726.5	95.23	95.18	94.45	94.93	94.27	94.92	94.22	94.98	94.08
727	95.23	95.14	94.38	94.89	94.29	94.88	94.21	94.93	94.08
727.5	95.23	95.14	94.37	94.88	94.28	94.86	94.19	94.94	94.01
728	95.23	95.13	94.38	94.80	94.29	94.88	94.18	94.92	93.98
728.5	95.24	95.16	94.35	94.75	94.23	94.84	94.12	94.88	93.92
729	95.24	95.19	94.39	94.74	94.17	94.87	94.12	94.92	93.93
729.5	95.24	95.20	94.46	94.76	94.19	94.91	94.10	95.02	93.94
730	95.24	95.26	94.46	94.81	94.21	94.96	94.10	95.08	94.04
730.5	95.24	95.33	94.48	94.84	94.28	95.02	94.16	95.11	94.14
731	95.24	95.38	94.50	94.87	94.34	95.05	94.24	95.13	94.20
731.5	95.24	95.37	94.50	94.86	94.35	94.97	94.26	95.09	94.22
732	95.24	95.35	94.54	94.89	94.43	94.96	94.29	95.06	94.22
732.5	95.24	95.34	94.51	94.89	94.46	94.90	94.29	95.00	94.15
733	95.24	95.28	94.46	94.92	94.36	94.83	94.25	94.87	94.06
733.5	95.24	95.24	94.49	94.96	94.33	94.85	94.26	94.86	94.06
734	95.24	95.16	94.41	94.92	94.25	94.83	94.19	94.82	94.04
734.5	95.24	95.14	94.36	94.91	94.21	94.85	94.12	94.85	94.02
735	95.25	95.16	94.34	94.85	94.22	94.89	94.08	94.83	94.05
735.5	95.25	95.19	94.31	94.83	94.22	94.87	94.03	94.83	94.07
736	95.25	95.21	94.32	94.81	94.23	94.88	94.07	94.86	94.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
736.5	95.25	95.24	94.38	94.76	94.19	94.82	94.06	94.87	94.09
737	95.25	95.29	94.42	94.78	94.22	94.82	94.14	94.90	94.14
737.5	95.25	95.33	94.52	94.83	94.25	94.89	94.22	94.97	94.16
738	95.25	95.36	94.52	94.84	94.24	94.89	94.26	94.98	94.20
738.5	95.25	95.30	94.54	94.86	94.22	94.89	94.30	95.02	94.20
739	95.25	95.25	94.57	94.82	94.27	94.89	94.28	95.01	94.18
739.5	95.25	95.20	94.51	94.72	94.28	94.92	94.21	94.98	94.14
740	95.26	95.17	94.46	94.68	94.28	94.88	94.20	94.93	94.12
740.5	95.26	95.21	94.51	94.73	94.29	94.86	94.20	94.95	94.15
741	95.26	95.19	94.50	94.73	94.23	94.82	94.19	94.92	94.16
741.5	95.26	95.22	94.43	94.75	94.19	94.78	94.10	94.91	94.15
742	95.26	95.18	94.38	94.71	94.15	94.75	94.06	94.83	94.12
742.5	95.26	95.14	94.37	94.73	94.17	94.81	94.07	94.84	94.10
743	95.26	95.10	94.34	94.74	94.17	94.83	94.08	94.85	94.08
743.5	95.26	95.06	94.33	94.71	94.16	94.79	94.03	94.80	94.01
744	95.26	95.03	94.21	94.61	94.15	94.75	94.03	94.72	93.94
744.5	95.27	95.04	94.23	94.63	94.18	94.77	94.04	94.77	93.89
745	95.27	95.08	94.24	94.67	94.14	94.75	94.03	94.83	93.92
745.5	95.27	95.15	94.33	94.76	94.16	94.79	94.12	94.89	94.00
746	95.27	95.20	94.35	94.80	94.13	94.78	94.12	94.92	94.01
746.5	95.27	95.23	94.37	94.82	94.15	94.80	94.10	94.95	94.03
747	95.27	95.23	94.40	94.77	94.22	94.79	94.18	94.91	94.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
747.5	95.27	95.22	94.40	94.75	94.23	94.78	94.17	94.86	94.00
748	95.27	95.20	94.42	94.69	94.28	94.80	94.15	94.78	94.02
748.5	95.28	95.23	94.45	94.69	94.28	94.77	94.14	94.77	94.08
749	95.28	95.23	94.44	94.69	94.32	94.76	94.12	94.77	94.10
749.5	95.28	95.27	94.44	94.68	94.40	94.80	94.20	94.78	94.14
750	95.28	95.30	94.46	94.71	94.39	94.84	94.23	94.86	94.21
750.5	95.28	95.33	94.52	94.80	94.37	94.93	94.30	94.94	94.28
751	95.28	95.35	94.45	94.76	94.31	94.93	94.30	94.98	94.30
751.5	95.28	95.27	94.42	94.73	94.25	94.90	94.30	95.01	94.21
752	95.28	95.24	94.39	94.73	94.21	94.87	94.25	95.02	94.15
752.5	95.29	95.26	94.40	94.76	94.20	94.86	94.24	94.97	94.16
753	95.29	95.25	94.37	94.74	94.11	94.80	94.14	94.91	94.10
753.5	95.29	95.20	94.37	94.74	94.06	94.75	94.00	94.90	94.10
754	95.29	95.18	94.35	94.69	94.02	94.72	93.95	94.85	94.08
754.5	95.29	95.20	94.32	94.70	94.06	94.75	93.98	94.80	94.10
755	95.29	95.17	94.25	94.61	94.11	94.78	93.99	94.68	94.11
755.5	95.29	95.09	94.28	94.52	94.03	94.74	94.04	94.64	94.11
756	95.30	95.03	94.33	94.50	94.06	94.77	94.10	94.64	94.11
756.5	95.30	95.05	94.38	94.42	94.09	94.76	94.18	94.63	94.08
757	95.30	95.08	94.39	94.40	94.12	94.76	94.16	94.65	94.06
757.5	95.30	95.11	94.42	94.45	94.12	94.77	94.17	94.66	94.06
758	95.30	95.19	94.43	94.51	94.13	94.80	94.15	94.76	94.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
758.5	95.30	95.20	94.42	94.57	94.16	94.78	94.13	94.81	94.13
759	95.30	95.27	94.39	94.67	94.20	94.82	94.13	94.85	94.25
759.5	95.31	95.32	94.33	94.74	94.24	94.85	94.15	94.80	94.32
760	95.31	95.33	94.32	94.78	94.34	94.86	94.20	94.79	94.31
760.5	95.31	95.28	94.34	94.80	94.37	94.89	94.23	94.76	94.31
761	95.31	95.14	94.34	94.74	94.27	94.85	94.20	94.70	94.21
761.5	95.31	95.05	94.35	94.68	94.24	94.85	94.17	94.71	94.10
762	95.31	95.07	94.35	94.72	94.28	94.88	94.20	94.78	94.07
762.5	95.32	95.08	94.32	94.70	94.22	94.85	94.18	94.85	94.09
763	95.32	95.07	94.25	94.66	94.15	94.75	94.12	94.84	94.10
763.5	95.32	95.16	94.24	94.61	94.14	94.68	94.07	94.89	94.14
764	95.32	95.24	94.21	94.58	94.15	94.66	94.03	94.89	94.19
764.5	95.32	95.17	94.15	94.58	94.17	94.63	94.01	94.81	94.18
765	95.32	95.16	94.17	94.56	94.20	94.61	94.02	94.74	94.15
765.5	95.32	95.10	94.23	94.56	94.28	94.61	94.05	94.68	94.15
766	95.33	95.06	94.25	94.57	94.25	94.64	94.09	94.64	94.16
766.5	95.33	95.03	94.25	94.53	94.17	94.61	94.10	94.58	94.15
767	95.33	95.06	94.23	94.50	94.17	94.64	94.11	94.63	94.19
767.5	95.33	95.18	94.17	94.51	94.19	94.69	94.19	94.67	94.28
768	95.33	95.16	94.09	94.51	94.11	94.66	94.19	94.63	94.29
768.5	95.33	95.12	94.01	94.45	94.04	94.67	94.08	94.58	94.18
769	95.34	95.12	94.03	94.51	94.07	94.69	94.09	94.62	94.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
769.5	95.34	95.07	94.08	94.54	94.14	94.76	94.08	94.65	94.13
770	95.34	94.98	94.07	94.53	94.18	94.75	94.04	94.62	94.10
770.5	95.34	94.94	94.09	94.51	94.17	94.69	93.94	94.59	94.07
771	95.34	94.92	94.06	94.48	94.08	94.63	93.88	94.56	94.12
771.5	95.34	94.83	93.98	94.46	94.06	94.60	93.80	94.54	94.10
772	95.35	94.80	93.94	94.42	94.00	94.53	93.79	94.50	94.08
772.5	95.35	94.76	93.94	94.34	93.99	94.46	93.73	94.48	94.05
773	95.35	94.72	93.91	94.27	93.90	94.40	93.73	94.39	93.99
773.5	95.35	94.78	93.98	94.31	93.91	94.41	93.77	94.43	93.99
774	95.35	94.84	94.03	94.38	93.91	94.48	93.83	94.49	94.04
774.5	95.35	94.92	94.07	94.48	94.05	94.54	93.89	94.54	94.13
775	95.36	95.00	94.08	94.49	94.15	94.61	93.99	94.59	94.16
775.5	95.36	95.07	94.10	94.56	94.22	94.68	93.99	94.63	94.18
776	95.36	95.12	94.05	94.56	94.20	94.65	93.98	94.63	94.13
776.5	95.36	95.06	94.09	94.52	94.14	94.59	93.97	94.60	94.08
777	95.36	95.05	94.12	94.48	94.16	94.56	93.99	94.57	94.03
777.5	95.36	95.00	94.12	94.41	94.14	94.47	94.01	94.52	93.95
778	95.36	94.89	94.08	94.32	94.01	94.40	94.05	94.40	93.89
778.5	95.37	94.90	94.07	94.34	94.00	94.50	94.10	94.45	93.93
779	95.37	94.97	94.08	94.45	94.09	94.65	94.22	94.51	94.05
779.5	95.37	94.97	94.04	94.48	94.15	94.68	94.17	94.59	94.12
780	95.37	95.03	93.98	94.44	94.22	94.79	94.18	94.62	94.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
780.5	95.37	95.10	94.00	94.43	94.27	94.86	94.15	94.68	94.22
781	95.37	95.16	93.94	94.44	94.24	94.77	94.17	94.70	94.20
781.5	95.38	95.08	93.85	94.40	94.17	94.63	94.03	94.58	94.14
782	95.38	95.05	93.86	94.34	94.16	94.56	94.04	94.54	94.08
782.5	95.38	95.06	93.84	94.35	94.15	94.55	94.02	94.59	94.05
783	95.38	95.05	93.79	94.30	94.08	94.50	93.99	94.61	94.04
783.5	95.38	95.00	93.85	94.31	94.02	94.55	94.00	94.72	94.02
784	95.38	95.03	93.92	94.35	93.99	94.57	93.97	94.75	94.09
784.5	95.38	95.10	93.99	94.49	94.13	94.62	94.00	94.85	94.23
785	95.39	95.00	94.00	94.53	94.13	94.62	93.97	94.81	94.26
785.5	95.39	94.92	93.93	94.54	94.04	94.55	93.95	94.73	94.24
786	95.39	94.94	93.95	94.51	94.03	94.55	93.98	94.62	94.19
786.5	95.39	94.87	93.87	94.48	93.96	94.43	93.92	94.50	94.12
787	95.39	94.93	93.82	94.47	93.97	94.49	93.93	94.48	94.10
787.5	95.39	94.96	93.86	94.46	93.96	94.59	93.92	94.53	94.10
788	95.39	95.03	93.91	94.45	94.04	94.59	93.98	94.57	94.01
788.5	95.40	94.96	93.87	94.39	93.92	94.59	93.91	94.50	93.93
789	95.40	94.89	93.86	94.35	93.96	94.59	93.89	94.46	93.93
789.5	95.40	94.85	93.82	94.32	93.96	94.60	93.92	94.36	93.93
790	95.40	94.76	93.69	94.25	93.87	94.46	93.86	94.21	93.91
790.5	95.40	94.74	93.64	94.17	93.85	94.41	93.87	94.16	93.89
791	95.40	94.75	93.55	94.07	93.68	94.27	93.83	94.13	93.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
791.5	95.40	94.93	93.61	94.13	93.76	94.33	93.87	94.26	93.96
792	95.41	95.09	93.67	94.21	93.86	94.41	93.88	94.45	94.03
792.5	95.41	95.19	93.79	94.32	93.90	94.51	93.91	94.64	94.07
793	95.41	95.22	93.90	94.34	94.00	94.61	93.92	94.75	94.07
793.5	95.41	95.24	93.96	94.44	94.06	94.73	93.94	94.83	94.12
794	95.41	95.21	93.92	94.50	94.12	94.76	94.00	94.83	94.16
794.5	95.41	95.12	93.87	94.52	94.13	94.73	93.98	94.76	94.20
795	95.41	95.09	93.87	94.54	94.15	94.66	94.09	94.72	94.19
795.5	95.41	94.94	93.85	94.49	94.02	94.56	94.08	94.57	94.15
796	95.42	94.90	93.72	94.43	93.96	94.47	94.09	94.46	94.14
796.5	95.42	94.93	93.67	94.39	93.96	94.51	94.11	94.44	94.10
797	95.42	94.95	93.65	94.36	93.98	94.52	94.02	94.45	93.98
797.5	95.42	94.93	93.64	94.29	94.04	94.55	93.91	94.46	93.94
798	95.42	94.90	93.60	94.26	93.95	94.54	93.76	94.47	93.86
798.5	95.42	94.91	93.64	94.26	93.94	94.55	93.73	94.55	93.85
799	95.42	94.98	93.58	94.23	93.93	94.52	93.71	94.54	93.87
799.5	95.42	95.07	93.64	94.28	93.90	94.57	93.74	94.56	93.92
800	95.42	95.13	93.67	94.33	93.89	94.55	93.86	94.62	93.96
800.5	95.43	95.09	93.67	94.42	93.91	94.55	93.90	94.66	94.00
801	95.43	95.03	93.56	94.40	93.90	94.47	93.94	94.61	93.98
801.5	95.43	94.92	93.43	94.32	93.89	94.38	93.85	94.49	93.94
802	95.43	95.02	93.50	94.42	94.00	94.49	93.92	94.66	94.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
802.5	95.43	94.87	93.51	94.31	93.95	94.50	93.86	94.61	94.01
803	95.43	94.81	93.55	94.30	93.96	94.53	93.89	94.54	94.11
803.5	95.43	94.87	93.68	94.36	93.98	94.65	93.96	94.53	94.12
804	95.43	94.92	93.74	94.29	93.94	94.63	93.90	94.49	94.02
804.5	95.43	94.92	93.72	94.23	93.87	94.62	93.76	94.47	93.93
805	95.43	94.97	93.72	94.30	93.85	94.56	93.67	94.50	93.89
805.5	95.44	94.99	93.71	94.33	93.81	94.51	93.70	94.62	93.84
806	95.44	95.02	93.67	94.39	93.79	94.44	93.71	94.68	93.86
806.5	95.44	95.01	93.56	94.38	93.73	94.45	93.71	94.61	93.86
807	95.44	95.03	93.52	94.40	93.71	94.47	93.78	94.57	93.88
807.5	95.44	94.97	93.49	94.41	93.79	94.51	93.84	94.61	93.95
808	95.44	94.93	93.45	94.42	93.77	94.56	93.87	94.59	94.03
808.5	95.44	94.86	93.39	94.39	93.77	94.52	93.82	94.55	93.99
809	95.44	94.97	93.48	94.49	93.88	94.57	93.84	94.65	94.03
809.5	95.44	94.98	93.43	94.42	93.82	94.57	93.74	94.64	93.99
810	95.44	94.99	93.52	94.51	93.92	94.60	93.81	94.73	94.07
810.5	95.44	95.08	93.66	94.58	94.03	94.72	93.91	94.77	94.14
811	95.44	95.02	93.62	94.51	93.98	94.68	93.95	94.77	94.10
811.5	95.44	94.96	93.58	94.44	93.88	94.75	93.88	94.71	93.95
812	95.44	94.90	93.55	94.41	93.90	94.73	93.79	94.66	93.88
812.5	95.44	94.87	93.47	94.31	93.80	94.70	93.78	94.62	93.76
813	95.44	94.88	93.39	94.32	93.74	94.61	93.78	94.62	93.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
813.5	95.44	94.81	93.30	94.31	93.66	94.54	93.75	94.56	93.65
814	95.45	94.79	93.27	94.33	93.59	94.45	93.73	94.45	93.70
814.5	95.45	94.79	93.29	94.30	93.58	94.38	93.67	94.43	93.79
815	95.45	94.75	93.32	94.30	93.55	94.43	93.63	94.43	94.00
815.5	95.45	94.73	93.34	94.32	93.54	94.51	93.67	94.47	94.03
816	95.45	94.83	93.37	94.32	93.60	94.53	93.67	94.62	94.04
816.5	95.45	94.97	93.40	94.31	93.65	94.64	93.68	94.62	93.95
817	95.45	94.99	93.35	94.34	93.68	94.60	93.70	94.68	93.83
817.5	95.45	95.05	93.35	94.31	93.75	94.61	93.64	94.65	93.72
818	95.45	94.94	93.23	94.31	93.79	94.55	93.71	94.63	93.70
818.5	95.45	94.83	93.15	94.25	93.74	94.51	93.70	94.55	93.63
819	95.45	94.70	93.13	94.31	93.75	94.45	93.67	94.50	93.70
819.5	95.45	94.66	93.15	94.31	93.62	94.38	93.63	94.48	93.78
820	95.45	94.70	93.16	94.35	93.63	94.35	93.55	94.50	93.78
820.5	95.45	94.70	93.21	94.29	93.61	94.32	93.51	94.55	93.85
821	95.45	94.74	93.23	94.21	93.47	94.20	93.45	94.50	93.79
821.5	95.45	94.81	93.20	94.10	93.40	94.10	93.37	94.42	93.72
822	95.45	94.85	93.18	94.04	93.42	94.11	93.40	94.41	93.76
822.5	95.45	94.87	93.21	94.14	93.47	94.22	93.57	94.42	93.77
823	95.45	94.84	93.14	94.11	93.40	94.19	93.59	94.35	93.68
823.5	95.45	94.87	93.07	94.21	93.45	94.27	93.66	94.30	93.66
824	95.45	94.88	92.93	94.30	93.40	94.26	93.58	94.30	93.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
824.5	95.45	94.95	92.93	94.37	93.45	94.35	93.53	94.33	93.53
825	95.45	94.98	92.96	94.51	93.57	94.55	93.60	94.49	93.67
825.5	95.44	94.93	92.95	94.44	93.60	94.60	93.57	94.56	93.73
826	95.44	94.85	93.04	94.42	93.63	94.61	93.51	94.59	93.81
826.5	95.44	94.82	93.11	94.38	93.59	94.62	93.56	94.50	93.78
827	95.44	94.74	93.08	94.38	93.57	94.56	93.58	94.43	93.64
827.5	95.44	94.71	93.14	94.34	93.54	94.55	93.58	94.30	93.73
828	95.44	94.75	93.20	94.26	93.44	94.47	93.40	94.20	93.68
828.5	95.44	94.77	93.21	94.17	93.41	94.42	93.25	94.12	93.66
829	95.44	94.91	93.27	94.21	93.47	94.46	93.22	94.21	93.66
829.5	95.44	95.15	93.53	94.43	93.64	94.67	93.44	94.53	93.79
830	95.44	95.13	93.60	94.47	93.62	94.75	93.60	94.56	93.73
830.5	95.44	95.17	93.61	94.52	93.68	94.82	93.76	94.68	93.80
831	95.44	95.00	93.43	94.48	93.62	94.76	93.74	94.60	93.70
831.5	95.44	94.91	93.21	94.46	93.61	94.75	93.78	94.49	93.62
832	95.44	94.87	93.06	94.41	93.53	94.72	93.80	94.40	93.63
832.5	95.44	94.80	92.90	94.30	93.44	94.63	93.73	94.33	93.71
833	95.43	94.85	92.97	94.25	93.44	94.54	93.58	94.33	93.84
833.5	95.43	94.94	93.00	94.25	93.49	94.54	93.50	94.28	93.84
834	95.43	94.88	93.08	94.35	93.46	94.46	93.36	94.32	93.71
834.5	95.43	94.94	93.25	94.36	93.42	94.44	93.27	94.31	93.56
835	95.43	94.98	93.14	94.33	93.39	94.45	93.20	94.33	93.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
835.5	95.43	94.88	93.01	94.22	93.29	94.38	93.05	94.28	93.49
836	95.43	94.71	92.76	94.06	93.24	94.21	92.92	94.12	93.40
836.5	95.43	94.74	92.66	94.01	93.14	94.23	92.99	94.20	93.53
837	95.42	94.71	92.63	94.11	93.07	94.20	93.07	94.19	93.57
837.5	95.42	94.90	92.67	94.21	93.11	94.29	93.17	94.30	93.72
838	95.42	94.91	92.76	94.31	92.95	94.38	93.18	94.28	93.63
838.5	95.42	94.89	92.82	94.36	92.99	94.54	93.22	94.24	93.53
839	95.42	94.91	92.88	94.35	93.04	94.57	93.25	94.30	93.51
839.5	95.42	94.83	92.79	94.24	92.95	94.57	93.19	94.31	93.36
840	95.42	94.76	92.76	94.04	92.92	94.45	93.19	94.26	93.33
840.5	95.41	94.72	92.63	93.98	92.97	94.38	93.28	94.31	93.39
841	95.41	94.62	92.51	93.93	93.02	94.31	93.19	94.20	93.41
841.5	95.41	94.57	92.56	94.01	93.00	94.21	93.13	94.08	93.27
842	95.41	94.57	92.49	94.24	93.17	94.23	93.16	94.08	93.44
842.5	95.41	94.64	92.68	94.53	93.22	94.39	93.21	94.17	93.52
843	95.40	94.71	92.77	94.60	93.22	94.46	93.18	94.16	93.48
843.5	95.40	94.78	93.00	94.61	93.18	94.62	93.24	94.31	93.56
844	95.40	94.67	93.11	94.50	93.27	94.64	93.19	94.38	93.57
844.5	95.40	94.59	93.04	94.26	93.17	94.42	93.11	94.38	93.66
845	95.40	94.65	93.08	94.31	93.10	94.33	93.24	94.44	93.67
845.5	95.39	94.78	92.98	94.30	93.13	94.40	93.43	94.48	93.79
846	95.39	94.86	92.85	94.26	93.31	94.57	93.60	94.46	93.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการออกแบบและการทดลองเพื่อ
การวิเคราะห์เบื้องต้น

nm	Design	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8
846.5	95.39	94.78	92.55	94.18	93.35	94.55	93.52	94.40	93.59
847	95.39	94.66	92.41	94.20	93.38	94.55	93.54	94.36	93.41
847.5	95.38	94.69	92.49	94.42	93.47	94.70	93.65	94.58	93.40
848	95.38	94.81	92.60	94.49	93.52	94.87	93.69	94.71	93.38
848.5	95.38	94.86	92.74	94.57	93.39	94.87	93.62	94.74	93.29
849	95.38	94.89	92.81	94.61	93.35	94.75	93.51	94.75	93.37
849.5	95.37	94.92	92.89	94.66	93.27	94.65	93.47	94.74	93.46
850	95.37	95.05	92.86	94.64	93.13	94.53	93.44	94.68	93.49

ภาคผนวก ค.2 ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชันที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
420	70.92	81.32	94.03	87.92	68.45	57.50	59.70	66.06
420.5	70.74	80.99	94.02	88.39	69.14	57.86	59.56	65.67
421	70.51	80.62	93.94	88.84	69.83	58.19	59.43	65.28
421.5	70.27	80.22	93.80	89.27	70.47	58.51	59.30	64.95
422	70.03	79.84	93.67	89.72	71.14	58.79	59.20	64.61
422.5	69.77	79.45	93.48	90.15	71.74	59.03	59.11	64.29
423	69.54	79.10	93.24	90.48	72.40	59.33	59.05	63.97
423.5	69.34	78.75	92.93	90.82	73.00	59.66	59.00	63.62
424	69.19	78.43	92.61	91.18	73.66	60.08	58.97	63.35
424.5	69.03	78.12	92.37	91.53	74.33	60.47	58.96	63.04
425	68.87	77.82	92.16	91.92	75.09	60.93	58.99	62.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
425.5	68.72	77.51	91.87	92.25	75.81	61.39	59.01	62.45
426	68.57	77.20	91.60	92.56	76.55	61.85	59.05	62.23
426.5	68.43	76.87	91.37	92.79	77.24	62.29	59.09	62.05
427	68.32	76.57	91.11	92.98	77.90	62.71	59.17	61.82
427.5	68.23	76.27	90.80	93.10	78.48	63.13	59.19	61.63
428	68.14	76.05	90.46	93.24	79.13	63.54	59.23	61.43
428.5	68.04	75.80	90.13	93.30	79.69	63.96	59.28	61.26
429	68.00	75.57	89.82	93.44	80.25	64.38	59.37	61.12
429.5	67.91	75.32	89.48	93.57	80.85	64.78	59.50	60.98
430	67.80	75.09	89.16	93.63	81.46	65.19	59.62	60.84
430.5	67.73	74.82	88.79	93.68	82.03	65.62	59.75	60.72
431	67.67	74.62	88.48	93.71	82.62	66.11	59.90	60.65
431.5	67.60	74.44	88.21	93.72	83.18	66.59	60.04	60.55
432	67.59	74.29	87.93	93.77	83.79	67.12	60.22	60.49
432.5	67.59	74.17	87.62	93.79	84.38	67.69	60.38	60.46
433	67.63	74.04	87.29	93.79	85.01	68.28	60.59	60.42
433.5	67.66	73.93	86.95	93.79	85.58	68.86	60.80	60.42
434	67.69	73.77	86.59	93.73	86.14	69.40	61.04	60.41
434.5	67.77	73.56	86.27	93.66	86.65	69.93	61.27	60.44
435	67.78	73.41	85.97	93.58	87.17	70.42	61.53	60.44
435.5	67.75	73.25	85.69	93.39	87.62	70.86	61.75	60.43
436	67.78	73.13	85.38	93.19	88.00	71.31	61.96	60.40
436.5	67.81	73.00	85.14	93.03	88.42	71.80	62.18	60.39
437	67.83	72.93	84.87	92.89	88.84	72.29	62.41	60.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
437.5	67.85	72.85	84.57	92.73	89.21	72.79	62.68	60.46
438	67.88	72.81	84.24	92.57	89.57	73.30	62.92	60.52
438.5	67.88	72.77	83.91	92.38	89.93	73.84	63.16	60.60
439	67.94	72.70	83.58	92.17	90.29	74.37	63.45	60.69
439.5	68.03	72.61	83.33	91.98	90.65	74.92	63.73	60.79
440	68.10	72.48	83.04	91.73	91.01	75.45	64.04	60.87
440.5	68.20	72.42	82.79	91.54	91.35	76.03	64.38	60.99
441	68.33	72.38	82.53	91.36	91.72	76.64	64.72	61.17
441.5	68.47	72.35	82.33	91.23	92.03	77.22	65.08	61.37
442	68.59	72.37	82.14	91.13	92.34	77.79	65.47	61.58
442.5	68.73	72.37	81.93	90.97	92.54	78.30	65.82	61.76
443	68.84	72.35	81.65	90.76	92.70	78.78	66.16	61.89
443.5	68.96	72.33	81.39	90.52	92.93	79.27	66.46	62.06
444	69.11	72.34	81.17	90.29	93.14	79.74	66.79	62.23
444.5	69.25	72.35	81.01	90.07	93.37	80.21	67.21	62.39
445	69.41	72.36	80.84	89.81	93.54	80.67	67.57	62.55
445.5	69.51	72.37	80.67	89.58	93.65	81.15	67.94	62.76
446	69.64	72.42	80.51	89.39	93.78	81.64	68.36	63.02
446.5	69.76	72.43	80.38	89.20	93.87	82.09	68.71	63.26
447	69.78	72.39	80.14	88.95	93.82	82.49	69.00	63.42
447.5	69.88	72.38	79.91	88.71	93.82	82.91	69.31	63.63
448	70.02	72.37	79.70	88.48	93.90	83.37	69.65	63.86
448.5	70.17	72.40	79.47	88.23	93.99	83.82	70.02	64.12
449	70.34	72.51	79.31	87.98	94.15	84.30	70.46	64.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
449.5	70.58	72.62	79.20	87.74	94.27	84.77	70.93	64.73
450	70.79	72.69	79.10	87.45	94.29	85.23	71.40	65.00
450.5	71.00	72.75	78.98	87.24	94.34	85.69	71.88	65.33
451	71.21	72.83	78.90	87.08	94.36	86.08	72.33	65.64
451.5	71.39	72.90	78.79	86.95	94.36	86.45	72.76	65.95
452	71.59	72.97	78.63	86.74	94.31	86.81	73.12	66.19
452.5	71.70	73.01	78.44	86.46	94.20	87.11	73.48	66.41
453	71.86	73.10	78.30	86.26	94.16	87.47	73.89	66.70
453.5	72.03	73.19	78.24	86.04	94.15	87.79	74.33	67.03
454	72.16	73.28	78.16	85.82	94.07	88.12	74.74	67.32
454.5	72.34	73.40	78.11	85.60	94.02	88.44	75.17	67.66
455	72.54	73.54	78.07	85.42	94.00	88.78	75.63	68.01
455.5	72.76	73.66	78.00	85.28	93.97	89.13	76.10	68.40
456	72.99	73.80	77.96	85.15	93.95	89.50	76.64	68.77
456.5	73.28	73.99	77.92	85.05	93.97	89.87	77.15	69.22
457	73.49	74.13	77.83	84.85	93.88	90.17	77.57	69.57
457.5	73.69	74.25	77.73	84.64	93.74	90.47	77.97	69.94
458	73.88	74.36	77.71	84.51	93.60	90.73	78.43	70.30
458.5	74.08	74.44	77.69	84.36	93.43	90.99	78.84	70.68
459	74.31	74.54	77.65	84.19	93.27	91.22	79.23	71.02
459.5	74.50	74.70	77.62	83.99	93.11	91.44	79.65	71.32
460	74.73	74.86	77.61	83.82	93.01	91.68	80.03	71.67
460.5	74.97	75.01	77.64	83.70	92.94	91.91	80.45	72.03
461	75.23	75.18	77.63	83.58	92.83	92.14	80.87	72.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
461.5	75.43	75.32	77.62	83.44	92.74	92.35	81.23	72.89
462	75.61	75.46	77.56	83.32	92.63	92.50	81.55	73.30
462.5	75.77	75.60	77.50	83.21	92.48	92.62	81.91	73.66
463	75.88	75.68	77.46	83.06	92.26	92.73	82.31	74.00
463.5	76.10	75.81	77.44	82.95	92.13	92.85	82.71	74.39
464	76.29	75.96	77.44	82.81	91.98	92.97	83.10	74.76
464.5	76.56	76.16	77.48	82.71	91.88	93.13	83.52	75.16
465	76.81	76.37	77.56	82.65	91.76	93.26	83.94	75.57
465.5	77.06	76.56	77.62	82.57	91.58	93.38	84.34	75.98
466	77.35	76.74	77.67	82.53	91.43	93.52	84.74	76.43
466.5	77.58	76.92	77.69	82.45	91.25	93.66	85.12	76.87
467	77.76	77.08	77.72	82.33	91.09	93.72	85.43	77.25
467.5	77.95	77.22	77.78	82.23	90.98	93.77	85.80	77.59
468	78.20	77.40	77.84	82.17	90.85	93.83	86.16	77.97
468.5	78.43	77.53	77.92	82.11	90.74	93.88	86.49	78.37
469	78.66	77.71	78.01	82.03	90.69	93.97	86.81	78.78
469.5	78.88	77.92	78.10	81.99	90.62	94.05	87.19	79.16
470	79.07	78.11	78.16	81.95	90.46	94.14	87.52	79.53
470.5	79.28	78.25	78.17	81.92	90.31	94.19	87.81	79.92
471	79.46	78.43	78.18	81.87	90.13	94.20	88.08	80.29
471.5	79.68	78.64	78.25	81.84	89.98	94.24	88.38	80.70
472	79.95	78.86	78.34	81.83	89.90	94.26	88.68	81.11
472.5	80.16	79.06	78.41	81.78	89.75	94.20	88.96	81.50
473	80.44	79.29	78.52	81.76	89.67	94.21	89.29	81.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
473.5	80.72	79.49	78.60	81.70	89.53	94.23	89.60	82.31
474	80.94	79.68	78.70	81.69	89.39	94.25	89.88	82.67
474.5	81.14	79.85	78.74	81.61	89.26	94.21	90.16	83.03
475	81.36	80.02	78.79	81.59	89.12	94.23	90.41	83.37
475.5	81.59	80.14	78.85	81.60	88.96	94.24	90.65	83.76
476	81.77	80.30	78.96	81.56	88.83	94.21	90.82	84.08
476.5	82.01	80.49	79.10	81.57	88.73	94.19	91.05	84.47
477	82.22	80.68	79.25	81.59	88.63	94.14	91.26	84.81
477.5	82.41	80.88	79.35	81.61	88.56	94.10	91.48	85.16
478	82.59	81.06	79.43	81.62	88.47	94.03	91.71	85.46
478.5	82.74	81.25	79.53	81.60	88.34	93.99	91.90	85.73
479	82.90	81.42	79.59	81.61	88.22	93.95	92.09	86.00
479.5	83.06	81.55	79.65	81.61	88.09	93.89	92.23	86.29
480	83.27	81.72	79.72	81.61	88.01	93.83	92.39	86.62
480.5	83.49	81.92	79.83	81.64	87.90	93.78	92.56	86.97
481	83.74	82.13	79.97	81.68	87.80	93.72	92.73	87.33
481.5	84.01	82.38	80.15	81.73	87.73	93.62	92.91	87.72
482	84.26	82.63	80.33	81.79	87.70	93.56	93.09	88.08
482.5	84.47	82.84	80.48	81.83	87.65	93.52	93.26	88.42
483	84.59	83.01	80.61	81.84	87.58	93.45	93.35	88.64
483.5	84.77	83.16	80.74	81.85	87.50	93.43	93.47	88.89
484	84.92	83.30	80.85	81.88	87.40	93.38	93.58	89.09
484.5	85.06	83.43	80.92	81.88	87.31	93.30	93.66	89.27
485	85.28	83.59	81.06	81.97	87.26	93.22	93.81	89.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
485.5	85.47	83.76	81.20	82.05	87.21	93.17	93.95	89.79
486	85.65	83.93	81.30	82.11	87.18	93.11	94.08	90.03
486.5	85.84	84.08	81.42	82.19	87.16	92.98	94.18	90.27
487	86.01	84.21	81.53	82.24	87.13	92.89	94.18	90.47
487.5	86.15	84.39	81.64	82.34	87.07	92.81	94.20	90.73
488	86.29	84.52	81.73	82.38	86.97	92.69	94.17	90.91
488.5	86.51	84.72	81.90	82.46	86.91	92.63	94.24	91.12
489	86.72	84.95	82.05	82.51	86.86	92.58	94.27	91.33
489.5	86.91	85.12	82.16	82.52	86.79	92.48	94.30	91.51
490	87.04	85.31	82.29	82.55	86.72	92.38	94.36	91.67
490.5	87.20	85.48	82.42	82.58	86.68	92.32	94.42	91.85
491	87.34	85.70	82.56	82.63	86.65	92.26	94.47	92.07
491.5	87.43	85.84	82.70	82.66	86.63	92.17	94.44	92.20
492	87.56	85.99	82.84	82.74	86.61	92.09	94.44	92.38
492.5	87.70	86.12	82.99	82.84	86.57	91.99	94.44	92.55
493	87.87	86.27	83.13	82.94	86.57	91.96	94.49	92.75
493.5	88.06	86.42	83.31	83.11	86.57	91.92	94.56	92.94
494	88.25	86.55	83.43	83.23	86.56	91.86	94.60	93.08
494.5	88.42	86.75	83.54	83.36	86.54	91.81	94.67	93.24
495	88.54	86.90	83.67	83.44	86.49	91.71	94.68	93.34
495.5	88.67	87.08	83.81	83.51	86.50	91.67	94.70	93.43
496	88.79	87.23	83.96	83.57	86.51	91.58	94.67	93.56
496.5	88.91	87.35	84.09	83.61	86.55	91.45	94.63	93.65
497	89.04	87.45	84.23	83.67	86.57	91.31	94.57	93.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
497.5	89.19	87.58	84.37	83.78	86.61	91.25	94.56	93.86
498	89.38	87.76	84.51	83.91	86.63	91.20	94.55	94.02
498.5	89.52	87.92	84.68	84.03	86.66	91.20	94.53	94.11
499	89.64	88.07	84.81	84.14	86.63	91.18	94.47	94.18
499.5	89.77	88.25	84.95	84.23	86.62	91.14	94.43	94.25
500	89.88	88.41	85.06	84.27	86.61	91.10	94.38	94.29
500.5	89.96	88.55	85.19	84.28	86.58	91.05	94.30	94.29
501	90.05	88.64	85.28	84.33	86.57	90.97	94.24	94.32
501.5	90.16	88.76	85.37	84.43	86.57	90.84	94.20	94.36
502	90.30	88.85	85.50	84.52	86.55	90.72	94.15	94.40
502.5	90.42	88.97	85.63	84.65	86.58	90.67	94.13	94.46
503	90.55	89.09	85.77	84.78	86.59	90.61	94.12	94.53
503.5	90.68	89.23	85.92	84.92	86.64	90.58	94.12	94.57
504	90.80	89.37	86.11	85.05	86.71	90.54	94.12	94.63
504.5	90.89	89.53	86.29	85.18	86.79	90.56	94.10	94.69
505	90.97	89.64	86.42	85.28	86.78	90.53	94.03	94.68
505.5	91.03	89.76	86.55	85.37	86.83	90.50	93.98	94.68
506	91.13	89.83	86.63	85.44	86.83	90.42	93.89	94.69
506.5	91.22	89.92	86.72	85.53	86.82	90.35	93.83	94.73
507	91.33	90.03	86.79	85.62	86.85	90.30	93.76	94.75
507.5	91.46	90.15	86.93	85.70	86.86	90.26	93.69	94.75
508	91.54	90.28	87.08	85.76	86.90	90.26	93.65	94.77
508.5	91.61	90.41	87.19	85.84	86.95	90.22	93.61	94.74
509	91.68	90.51	87.33	85.92	86.99	90.17	93.54	94.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
509.5	91.75	90.61	87.46	86.04	87.04	90.15	93.48	94.70
510	91.80	90.70	87.59	86.16	87.08	90.11	93.44	94.70
510.5	91.89	90.77	87.69	86.28	87.12	90.09	93.37	94.69
511	92.02	90.88	87.80	86.44	87.22	90.09	93.39	94.73
511.5	92.12	90.94	87.90	86.53	87.29	90.07	93.34	94.79
512	92.22	90.99	88.00	86.62	87.28	90.06	93.27	94.78
512.5	92.29	91.08	88.09	86.70	87.32	90.03	93.22	94.75
513	92.36	91.16	88.20	86.76	87.31	89.96	93.14	94.70
513.5	92.41	91.27	88.34	86.86	87.35	89.92	93.08	94.65
514	92.45	91.42	88.44	86.96	87.38	89.86	93.00	94.61
514.5	92.52	91.55	88.56	87.10	87.45	89.86	92.92	94.56
515	92.61	91.71	88.72	87.24	87.52	89.86	92.91	94.58
515.5	92.65	91.83	88.81	87.35	87.61	89.86	92.86	94.56
516	92.70	91.88	88.90	87.42	87.68	89.85	92.79	94.53
516.5	92.76	91.91	88.99	87.51	87.71	89.84	92.72	94.50
517	92.82	91.95	89.10	87.59	87.77	89.84	92.69	94.49
517.5	92.85	91.98	89.21	87.64	87.79	89.81	92.61	94.43
518	92.90	92.06	89.31	87.76	87.85	89.82	92.59	94.38
518.5	92.96	92.12	89.45	87.84	87.92	89.83	92.54	94.36
519	92.99	92.19	89.55	87.90	87.96	89.84	92.48	94.32
519.5	93.07	92.28	89.62	88.00	88.04	89.83	92.44	94.26
520	93.12	92.36	89.71	88.09	88.07	89.81	92.39	94.22
520.5	93.19	92.44	89.81	88.22	88.17	89.82	92.37	94.18
521	93.23	92.52	89.88	88.30	88.22	89.79	92.30	94.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
521.5	93.27	92.60	89.96	88.41	88.30	89.78	92.22	94.08
522	93.33	92.66	90.05	88.52	88.37	89.75	92.16	94.04
522.5	93.39	92.74	90.16	88.64	88.46	89.75	92.10	94.05
523	93.45	92.78	90.24	88.76	88.53	89.74	92.08	94.05
523.5	93.50	92.85	90.34	88.88	88.55	89.77	92.06	94.03
524	93.59	92.91	90.45	88.96	88.57	89.81	92.05	94.00
524.5	93.63	92.98	90.56	89.04	88.60	89.83	92.00	93.93
525	93.64	93.03	90.63	89.14	88.66	89.87	91.97	93.88
525.5	93.71	93.08	90.75	89.24	88.76	89.91	91.93	93.83
526	93.73	93.11	90.82	89.28	88.83	89.91	91.86	93.74
526.5	93.78	93.12	90.87	89.33	88.91	89.87	91.77	93.63
527	93.81	93.15	90.97	89.42	88.98	89.86	91.72	93.58
527.5	93.83	93.20	91.06	89.51	89.05	89.86	91.71	93.53
528	93.86	93.31	91.13	89.63	89.13	89.90	91.74	93.54
528.5	93.91	93.43	91.25	89.76	89.23	89.97	91.75	93.53
529	93.96	93.53	91.34	89.86	89.30	90.03	91.76	93.52
529.5	94.00	93.62	91.40	89.96	89.36	90.07	91.75	93.51
530	94.00	93.65	91.43	90.03	89.40	90.11	91.70	93.47
530.5	93.98	93.65	91.47	90.09	89.46	90.13	91.65	93.41
531	94.00	93.63	91.52	90.12	89.49	90.10	91.58	93.36
531.5	94.02	93.63	91.58	90.16	89.53	90.09	91.51	93.26
532	94.05	93.62	91.63	90.21	89.59	90.10	91.46	93.21
532.5	94.08	93.62	91.70	90.27	89.64	90.13	91.42	93.16
533	94.13	93.66	91.78	90.37	89.72	90.17	91.42	93.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
533.5	94.20	93.72	91.86	90.45	89.78	90.21	91.41	93.16
534	94.24	93.76	91.96	90.56	89.84	90.26	91.40	93.18
534.5	94.26	93.81	92.01	90.63	89.90	90.30	91.42	93.14
535	94.25	93.85	92.09	90.70	89.96	90.35	91.43	93.12
535.5	94.28	93.90	92.17	90.76	90.08	90.37	91.40	93.09
536	94.31	93.93	92.25	90.83	90.16	90.42	91.37	93.05
536.5	94.36	93.99	92.31	90.89	90.23	90.41	91.36	92.97
537	94.36	94.02	92.32	90.93	90.25	90.41	91.30	92.86
537.5	94.33	94.04	92.34	90.97	90.30	90.44	91.29	92.78
538	94.31	94.05	92.35	91.02	90.34	90.45	91.29	92.75
538.5	94.25	94.07	92.37	91.08	90.37	90.47	91.26	92.71
539	94.25	94.09	92.43	91.18	90.47	90.53	91.27	92.71
539.5	94.28	94.10	92.50	91.26	90.54	90.61	91.28	92.71
540	94.38	94.16	92.61	91.40	90.67	90.70	91.33	92.74
540.5	94.48	94.22	92.72	91.50	90.78	90.79	91.37	92.77
541	94.58	94.28	92.82	91.58	90.86	90.82	91.36	92.81
541.5	94.62	94.34	92.85	91.64	90.90	90.83	91.38	92.76
542	94.57	94.34	92.88	91.64	90.88	90.81	91.35	92.67
542.5	94.54	94.34	92.89	91.63	90.89	90.78	91.31	92.60
543	94.50	94.34	92.93	91.66	90.93	90.79	91.28	92.54
543.5	94.50	94.40	92.96	91.73	90.97	90.82	91.28	92.49
544	94.52	94.42	93.02	91.78	91.05	90.86	91.25	92.47
544.5	94.59	94.47	93.10	91.88	91.15	90.95	91.26	92.46
545	94.70	94.56	93.19	92.01	91.29	91.06	91.32	92.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
545.5	94.75	94.61	93.24	92.10	91.39	91.14	91.33	92.53
546	94.77	94.62	93.27	92.16	91.45	91.19	91.34	92.53
546.5	94.73	94.60	93.27	92.12	91.44	91.19	91.32	92.50
547	94.71	94.57	93.25	92.15	91.43	91.19	91.31	92.43
547.5	94.67	94.55	93.26	92.18	91.44	91.22	91.32	92.39
548	94.69	94.58	93.32	92.24	91.53	91.24	91.36	92.42
548.5	94.67	94.60	93.36	92.29	91.60	91.27	91.38	92.41
549	94.63	94.61	93.41	92.36	91.68	91.33	91.40	92.40
549.5	94.62	94.59	93.46	92.41	91.73	91.39	91.38	92.37
550	94.56	94.56	93.49	92.43	91.78	91.43	91.35	92.32
550.5	94.53	94.56	93.49	92.50	91.82	91.47	91.35	92.28
551	94.58	94.57	93.53	92.51	91.88	91.50	91.40	92.29
551.5	94.61	94.57	93.54	92.52	91.89	91.51	91.41	92.25
552	94.72	94.65	93.60	92.62	91.95	91.57	91.50	92.28
552.5	94.77	94.68	93.63	92.71	92.02	91.60	91.50	92.28
553	94.81	94.73	93.67	92.77	92.09	91.63	91.52	92.31
553.5	94.80	94.70	93.66	92.72	92.09	91.65	91.49	92.32
554	94.77	94.66	93.66	92.73	92.09	91.67	91.46	92.29
554.5	94.74	94.64	93.67	92.73	92.09	91.69	91.42	92.28
555	94.74	94.68	93.73	92.79	92.15	91.77	91.43	92.29
555.5	94.70	94.67	93.73	92.82	92.17	91.82	91.46	92.27
556	94.68	94.73	93.78	92.90	92.27	91.90	91.55	92.30
556.5	94.68	94.74	93.83	92.95	92.32	91.93	91.59	92.29
557	94.67	94.74	93.84	92.97	92.37	91.96	91.60	92.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
557.5	94.64	94.72	93.82	92.99	92.40	91.96	91.61	92.23
558	94.66	94.73	93.83	93.01	92.43	91.99	91.64	92.24
558.5	94.70	94.72	93.84	93.00	92.44	92.02	91.68	92.23
559	94.75	94.71	93.85	93.02	92.47	92.06	91.74	92.23
559.5	94.77	94.75	93.87	93.07	92.52	92.13	91.75	92.25
560	94.77	94.78	93.93	93.14	92.57	92.20	91.77	92.27
560.5	94.77	94.80	93.94	93.16	92.61	92.25	91.81	92.27
561	94.78	94.84	93.99	93.21	92.69	92.30	91.85	92.29
561.5	94.78	94.86	94.01	93.23	92.73	92.32	91.84	92.30
562	94.80	94.88	94.04	93.25	92.81	92.39	91.86	92.29
562.5	94.84	94.86	94.06	93.27	92.87	92.43	91.92	92.30
563	94.85	94.84	94.09	93.30	92.91	92.48	91.95	92.30
563.5	94.83	94.80	94.10	93.32	92.88	92.47	91.98	92.27
564	94.84	94.81	94.13	93.36	92.91	92.53	92.02	92.28
564.5	94.83	94.79	94.12	93.36	92.94	92.55	92.01	92.27
565	94.83	94.84	94.14	93.39	92.94	92.57	92.02	92.32
565.5	94.88	94.91	94.19	93.44	92.99	92.64	92.08	92.38
566	94.87	94.95	94.20	93.47	93.01	92.65	92.10	92.40
566.5	94.87	94.99	94.21	93.50	93.10	92.69	92.13	92.44
567	94.84	94.96	94.19	93.48	93.15	92.72	92.14	92.47
567.5	94.78	94.87	94.16	93.42	93.16	92.72	92.15	92.41
568	94.77	94.79	94.16	93.43	93.20	92.75	92.18	92.38
568.5	94.75	94.75	94.16	93.46	93.20	92.79	92.16	92.36
569	94.75	94.76	94.16	93.49	93.22	92.85	92.19	92.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
569.5	94.83	94.84	94.21	93.57	93.28	92.92	92.27	92.45
570	94.86	94.88	94.23	93.60	93.28	92.95	92.26	92.48
570.5	94.87	94.93	94.26	93.64	93.28	92.97	92.32	92.50
571	94.87	94.97	94.31	93.69	93.33	92.98	92.37	92.55
571.5	94.84	94.96	94.29	93.69	93.35	92.99	92.38	92.53
572	94.83	94.95	94.31	93.69	93.40	93.02	92.41	92.54
572.5	94.85	94.93	94.34	93.68	93.44	93.10	92.45	92.56
573	94.83	94.93	94.33	93.70	93.45	93.14	92.48	92.58
573.5	94.85	94.96	94.39	93.79	93.50	93.20	92.55	92.62
574	94.85	94.99	94.40	93.84	93.54	93.25	92.58	92.69
574.5	94.86	95.02	94.44	93.86	93.57	93.28	92.64	92.76
575	94.86	94.99	94.43	93.87	93.58	93.32	92.70	92.77
575.5	94.85	94.96	94.38	93.88	93.59	93.35	92.67	92.75
576	94.83	94.93	94.36	93.87	93.61	93.36	92.68	92.76
576.5	94.86	94.93	94.34	93.88	93.66	93.40	92.72	92.77
577	94.86	94.92	94.32	93.85	93.63	93.42	92.73	92.79
577.5	94.84	94.88	94.32	93.83	93.60	93.42	92.74	92.76
578	94.81	94.85	94.33	93.79	93.62	93.41	92.76	92.76
578.5	94.82	94.87	94.36	93.82	93.65	93.43	92.82	92.76
579	94.81	94.87	94.39	93.86	93.69	93.44	92.88	92.78
579.5	94.85	94.90	94.43	93.89	93.73	93.49	92.91	92.82
580	94.84	94.89	94.41	93.88	93.73	93.50	92.94	92.83
580.5	94.85	94.91	94.41	93.91	93.75	93.56	92.99	92.85
581	94.82	94.89	94.39	93.91	93.72	93.57	92.96	92.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
581.5	94.86	94.91	94.40	93.94	93.72	93.59	92.99	92.88
582	94.85	94.87	94.38	93.91	93.68	93.60	93.01	92.91
582.5	94.82	94.87	94.36	93.90	93.68	93.61	93.03	92.92
583	94.82	94.89	94.38	93.89	93.73	93.60	93.08	92.94
583.5	94.84	94.90	94.43	93.93	93.83	93.64	93.14	93.00
584	94.87	94.95	94.48	93.96	93.87	93.70	93.22	93.09
584.5	94.83	94.90	94.45	93.94	93.83	93.67	93.21	93.08
585	94.77	94.85	94.41	93.87	93.79	93.65	93.18	93.08
585.5	94.77	94.81	94.40	93.88	93.80	93.68	93.21	93.10
586	94.76	94.79	94.42	93.89	93.82	93.70	93.22	93.12
586.5	94.81	94.82	94.43	93.95	93.86	93.78	93.26	93.18
587	94.82	94.85	94.43	93.96	93.90	93.80	93.31	93.20
587.5	94.82	94.86	94.41	93.96	93.96	93.83	93.37	93.25
588	94.82	94.86	94.41	93.96	93.99	93.84	93.41	93.26
588.5	94.82	94.88	94.39	93.96	93.99	93.86	93.43	93.27
589	94.83	94.83	94.37	93.95	93.95	93.87	93.43	93.28
589.5	94.83	94.84	94.37	93.96	93.90	93.86	93.44	93.31
590	94.81	94.85	94.37	93.95	93.90	93.88	93.45	93.32
590.5	94.80	94.86	94.39	93.95	93.91	93.91	93.47	93.36
591	94.82	94.92	94.43	94.00	93.96	93.94	93.56	93.43
591.5	94.81	94.93	94.43	94.00	93.98	93.96	93.59	93.45
592	94.79	94.96	94.45	94.03	94.01	93.98	93.65	93.49
592.5	94.79	94.92	94.43	94.02	93.99	93.95	93.68	93.50
593	94.80	94.91	94.45	94.01	94.02	93.96	93.73	93.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
593.5	94.80	94.88	94.42	94.00	94.01	93.98	93.74	93.53
594	94.85	94.87	94.43	93.99	94.01	93.97	93.77	93.53
594.5	94.85	94.82	94.42	93.94	93.98	93.95	93.75	93.52
595	94.88	94.85	94.46	93.93	94.02	93.98	93.77	93.57
595.5	94.89	94.91	94.47	93.95	94.04	94.04	93.83	93.61
596	94.89	94.91	94.46	93.94	94.02	94.09	93.85	93.64
596.5	94.90	94.94	94.48	93.96	94.03	94.09	93.89	93.71
597	94.91	94.98	94.53	93.99	94.05	94.13	93.92	93.74
597.5	94.91	94.98	94.53	94.00	94.05	94.16	93.94	93.79
598	94.89	94.95	94.51	94.01	94.05	94.13	93.96	93.81
598.5	94.87	94.88	94.45	93.99	94.03	94.12	93.93	93.80
599	94.83	94.84	94.41	93.98	94.01	94.10	93.95	93.79
599.5	94.81	94.78	94.36	93.96	93.98	94.06	93.91	93.76
600	94.83	94.80	94.37	93.99	94.01	94.10	93.98	93.79
600.5	94.81	94.83	94.37	93.99	94.03	94.12	94.02	93.81
601	94.84	94.88	94.41	94.05	94.08	94.15	94.11	93.86
601.5	94.85	94.90	94.43	94.06	94.06	94.19	94.15	93.88
602	94.85	94.92	94.44	94.07	94.10	94.20	94.17	93.92
602.5	94.86	94.95	94.45	94.10	94.11	94.23	94.21	93.98
603	94.82	94.94	94.41	94.09	94.07	94.23	94.21	94.00
603.5	94.78	94.87	94.35	94.05	94.03	94.21	94.17	94.01
604	94.79	94.85	94.34	94.03	93.99	94.18	94.16	94.03
604.5	94.80	94.84	94.32	93.98	93.98	94.17	94.15	94.04
605	94.82	94.84	94.36	93.96	94.00	94.16	94.19	94.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
605.5	94.88	94.85	94.40	93.99	94.04	94.20	94.24	94.12
606	94.92	94.88	94.47	93.99	94.08	94.24	94.30	94.17
606.5	94.93	94.84	94.47	93.97	94.08	94.23	94.29	94.17
607	94.94	94.82	94.45	93.97	94.07	94.24	94.31	94.15
607.5	94.90	94.79	94.41	93.94	94.03	94.21	94.29	94.13
608	94.85	94.77	94.38	93.96	93.99	94.18	94.29	94.12
608.5	94.83	94.77	94.37	93.96	93.94	94.18	94.32	94.09
609	94.83	94.76	94.35	93.98	93.91	94.17	94.34	94.09
609.5	94.81	94.79	94.36	93.99	93.93	94.19	94.37	94.16
610	94.80	94.83	94.39	94.01	93.95	94.21	94.40	94.20
610.5	94.78	94.84	94.39	94.00	93.97	94.22	94.42	94.24
611	94.82	94.88	94.43	94.00	93.98	94.24	94.46	94.29
611.5	94.82	94.84	94.40	93.91	93.96	94.19	94.41	94.29
612	94.82	94.80	94.38	93.85	93.94	94.16	94.42	94.29
612.5	94.84	94.77	94.36	93.86	93.96	94.16	94.43	94.29
613	94.87	94.77	94.36	93.89	93.96	94.15	94.42	94.31
613.5	94.89	94.76	94.35	93.92	93.96	94.16	94.43	94.34
614	94.90	94.80	94.37	93.97	93.99	94.19	94.46	94.35
614.5	94.90	94.82	94.37	94.01	94.02	94.20	94.45	94.37
615	94.90	94.87	94.40	94.04	94.05	94.22	94.46	94.42
615.5	94.90	94.88	94.39	94.03	94.04	94.21	94.47	94.39
616	94.92	94.90	94.37	94.01	94.03	94.21	94.48	94.40
616.5	94.92	94.90	94.36	93.99	94.03	94.24	94.49	94.41
617	94.94	94.93	94.37	93.98	94.00	94.24	94.53	94.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
617.5	94.94	94.93	94.37	93.98	93.99	94.21	94.58	94.51
618	94.93	94.93	94.40	93.95	93.93	94.22	94.60	94.55
618.5	94.91	94.89	94.42	93.91	93.88	94.19	94.59	94.60
619	94.93	94.87	94.40	93.87	93.88	94.17	94.60	94.61
619.5	94.93	94.85	94.42	93.87	93.88	94.15	94.61	94.59
620	94.92	94.82	94.40	93.87	93.85	94.14	94.59	94.56
620.5	94.92	94.80	94.38	93.89	93.87	94.15	94.59	94.58
621	94.95	94.86	94.39	93.96	93.90	94.16	94.63	94.63
621.5	94.95	94.88	94.39	93.99	93.92	94.16	94.66	94.64
622	94.98	94.95	94.43	94.01	93.97	94.14	94.69	94.68
622.5	94.99	94.92	94.45	94.00	93.98	94.10	94.69	94.68
623	94.97	94.87	94.44	93.94	93.95	94.05	94.64	94.67
623.5	94.92	94.80	94.38	93.86	93.93	94.02	94.57	94.62
624	94.89	94.75	94.33	93.77	93.87	94.00	94.54	94.58
624.5	94.89	94.72	94.28	93.77	93.85	94.00	94.51	94.57
625	94.86	94.72	94.26	93.79	93.80	94.01	94.51	94.60
625.5	94.80	94.72	94.25	93.83	93.74	94.01	94.51	94.65
626	94.81	94.75	94.26	93.86	93.74	94.00	94.52	94.69
626.5	94.85	94.79	94.29	93.91	93.77	93.99	94.58	94.70
627	94.87	94.77	94.33	93.95	93.76	94.02	94.61	94.66
627.5	94.88	94.73	94.34	93.93	93.77	94.01	94.62	94.62
628	94.89	94.74	94.35	93.93	93.79	94.00	94.63	94.60
628.5	94.91	94.78	94.37	93.91	93.82	94.03	94.66	94.60
629	94.92	94.83	94.36	93.89	93.84	94.04	94.68	94.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
629.5	94.91	94.83	94.34	93.89	93.85	94.03	94.65	94.66
630	94.89	94.82	94.37	93.91	93.86	94.02	94.62	94.70
630.5	94.84	94.80	94.34	93.91	93.84	93.95	94.58	94.71
631	94.85	94.79	94.32	93.89	93.82	93.93	94.61	94.70
631.5	94.90	94.79	94.32	93.91	93.79	93.93	94.62	94.71
632	94.97	94.82	94.32	93.93	93.80	93.98	94.67	94.74
632.5	94.99	94.85	94.34	93.95	93.80	94.00	94.71	94.76
633	95.01	94.87	94.33	93.94	93.79	94.01	94.74	94.80
633.5	95.03	94.91	94.37	93.97	93.82	94.02	94.79	94.85
634	95.02	94.90	94.39	93.99	93.83	94.01	94.80	94.83
634.5	94.99	94.84	94.38	93.94	93.79	93.94	94.74	94.81
635	94.95	94.77	94.36	93.90	93.76	93.88	94.70	94.78
635.5	94.94	94.76	94.37	93.85	93.73	93.82	94.67	94.74
636	94.95	94.77	94.34	93.83	93.72	93.80	94.66	94.73
636.5	94.96	94.79	94.28	93.82	93.67	93.79	94.63	94.69
637	94.98	94.84	94.33	93.84	93.69	93.82	94.62	94.73
637.5	94.96	94.87	94.35	93.87	93.70	93.83	94.63	94.76
638	94.91	94.90	94.35	93.86	93.69	93.85	94.65	94.77
638.5	94.89	94.90	94.36	93.85	93.66	93.82	94.62	94.79
639	94.89	94.91	94.33	93.85	93.65	93.81	94.61	94.81
639.5	94.90	94.90	94.35	93.85	93.67	93.78	94.59	94.84
640	94.93	94.85	94.31	93.83	93.64	93.73	94.53	94.84
640.5	94.94	94.82	94.31	93.84	93.66	93.71	94.51	94.82
641	95.01	94.82	94.31	93.88	93.68	93.70	94.51	94.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
641.5	95.06	94.83	94.34	93.93	93.75	93.73	94.50	94.80
642	95.09	94.84	94.36	93.96	93.78	93.75	94.51	94.81
642.5	95.13	94.88	94.40	93.95	93.77	93.77	94.54	94.82
643	95.10	94.84	94.39	93.92	93.73	93.74	94.52	94.81
643.5	95.06	94.83	94.35	93.90	93.70	93.72	94.52	94.80
644	95.03	94.85	94.36	93.90	93.67	93.67	94.51	94.82
644.5	95.01	94.83	94.36	93.91	93.66	93.65	94.52	94.82
645	94.95	94.81	94.33	93.89	93.64	93.59	94.47	94.80
645.5	94.94	94.80	94.33	93.88	93.63	93.56	94.42	94.74
646	94.99	94.81	94.33	93.89	93.66	93.57	94.42	94.74
646.5	95.01	94.83	94.36	93.91	93.66	93.61	94.43	94.79
647	95.00	94.83	94.35	93.90	93.66	93.62	94.42	94.80
647.5	94.99	94.82	94.35	93.88	93.64	93.60	94.46	94.80
648	94.99	94.84	94.37	93.89	93.61	93.60	94.50	94.81
648.5	94.97	94.88	94.43	93.93	93.63	93.60	94.56	94.83
649	94.91	94.88	94.44	93.94	93.62	93.56	94.55	94.80
649.5	94.93	94.93	94.44	93.97	93.65	93.55	94.58	94.78
650	94.93	94.88	94.43	93.94	93.65	93.47	94.50	94.70
650.5	94.95	94.87	94.42	93.95	93.68	93.44	94.48	94.67
651	94.99	94.88	94.45	93.97	93.72	93.44	94.45	94.69
651.5	95.03	94.88	94.47	93.98	93.76	93.50	94.44	94.72
652	95.02	94.87	94.44	93.97	93.71	93.46	94.42	94.75
652.5	95.02	94.83	94.43	93.97	93.69	93.45	94.40	94.73
653	95.07	94.86	94.46	93.97	93.67	93.49	94.40	94.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
653.5	95.05	94.82	94.45	93.97	93.64	93.49	94.36	94.72
654	95.01	94.84	94.42	93.96	93.61	93.48	94.32	94.66
654.5	94.99	94.85	94.44	93.93	93.60	93.45	94.28	94.62
655	95.01	94.88	94.47	93.93	93.63	93.48	94.24	94.62
655.5	95.03	94.92	94.52	93.95	93.68	93.46	94.25	94.62
656	95.04	94.95	94.56	93.97	93.70	93.46	94.27	94.66
656.5	95.05	94.96	94.55	94.00	93.72	93.43	94.29	94.67
657	95.08	94.96	94.56	94.04	93.72	93.42	94.32	94.70
657.5	95.11	94.96	94.53	94.04	93.72	93.38	94.35	94.70
658	95.13	94.94	94.51	94.05	93.70	93.34	94.35	94.69
658.5	95.16	94.95	94.55	94.05	93.68	93.38	94.33	94.69
659	95.18	94.95	94.57	94.05	93.66	93.35	94.31	94.66
659.5	95.14	94.96	94.58	94.05	93.67	93.34	94.31	94.66
660	95.18	95.00	94.62	94.08	93.68	93.37	94.32	94.67
660.5	95.14	94.93	94.58	94.07	93.69	93.35	94.29	94.67
661	95.14	94.92	94.57	94.12	93.69	93.36	94.31	94.66
661.5	95.11	94.94	94.56	94.14	93.69	93.34	94.30	94.66
662	95.11	94.92	94.56	94.13	93.69	93.34	94.28	94.66
662.5	95.14	94.92	94.58	94.15	93.71	93.33	94.27	94.64
663	95.19	94.95	94.61	94.16	93.71	93.35	94.28	94.66
663.5	95.21	94.96	94.64	94.15	93.71	93.35	94.24	94.63
664	95.25	95.00	94.67	94.18	93.72	93.37	94.23	94.67
664.5	95.26	95.05	94.66	94.16	93.73	93.36	94.23	94.67
665	95.22	95.05	94.56	94.15	93.70	93.32	94.18	94.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
665.5	95.20	95.04	94.49	94.10	93.67	93.29	94.12	94.58
666	95.18	95.04	94.49	94.11	93.69	93.27	94.11	94.53
666.5	95.13	95.04	94.47	94.14	93.68	93.24	94.08	94.50
667	95.16	95.04	94.51	94.17	93.72	93.24	94.10	94.49
667.5	95.16	95.00	94.55	94.16	93.72	93.21	94.07	94.50
668	95.17	94.98	94.59	94.18	93.72	93.21	94.06	94.49
668.5	95.18	94.99	94.63	94.18	93.73	93.23	94.06	94.47
669	95.20	94.99	94.64	94.17	93.74	93.22	94.05	94.49
669.5	95.21	95.00	94.63	94.18	93.72	93.19	94.03	94.45
670	95.20	95.00	94.63	94.16	93.69	93.17	94.00	94.42
670.5	95.17	94.96	94.63	94.11	93.68	93.16	93.96	94.38
671	95.19	94.97	94.65	94.14	93.70	93.18	93.96	94.39
671.5	95.19	94.97	94.68	94.16	93.72	93.21	93.97	94.41
672	95.15	94.93	94.65	94.17	93.70	93.19	93.94	94.40
672.5	95.13	94.90	94.60	94.12	93.65	93.17	93.91	94.36
673	95.12	94.94	94.62	94.12	93.69	93.18	93.91	94.35
673.5	95.10	94.95	94.59	94.13	93.69	93.16	93.88	94.32
674	95.12	94.97	94.59	94.15	93.72	93.17	93.89	94.31
674.5	95.11	94.95	94.56	94.15	93.73	93.12	93.87	94.32
675	95.12	94.97	94.56	94.14	93.73	93.11	93.82	94.33
675.5	95.12	94.97	94.59	94.13	93.72	93.08	93.81	94.30
676	95.14	94.98	94.62	94.14	93.75	93.06	93.82	94.33
676.5	95.17	95.01	94.62	94.17	93.74	93.04	93.84	94.34
677	95.19	95.04	94.62	94.19	93.75	93.03	93.87	94.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
677.5	95.16	95.01	94.63	94.14	93.74	93.01	93.88	94.32
678	95.19	95.04	94.65	94.19	93.75	93.05	93.89	94.32
678.5	95.24	95.06	94.69	94.24	93.80	93.10	93.88	94.31
679	95.22	95.03	94.68	94.26	93.79	93.08	93.83	94.28
679.5	95.19	94.99	94.67	94.26	93.76	93.05	93.77	94.24
680	95.12	94.97	94.66	94.28	93.77	92.99	93.70	94.21
680.5	95.11	94.94	94.64	94.27	93.78	92.96	93.67	94.18
681	95.14	94.95	94.66	94.26	93.80	92.97	93.69	94.17
681.5	95.16	94.93	94.62	94.26	93.81	92.95	93.67	94.14
682	95.16	94.94	94.60	94.24	93.80	93.00	93.68	94.13
682.5	95.22	94.94	94.63	94.26	93.82	93.07	93.70	94.12
683	95.22	94.94	94.63	94.25	93.80	93.07	93.70	94.07
683.5	95.24	94.92	94.65	94.27	93.72	93.06	93.64	94.02
684	95.25	94.92	94.66	94.31	93.69	93.04	93.62	93.99
684.5	95.21	94.90	94.66	94.26	93.69	92.99	93.59	93.95
685	95.21	94.93	94.67	94.29	93.72	93.00	93.64	93.97
685.5	95.18	94.92	94.66	94.26	93.76	92.99	93.61	93.95
686	95.15	94.94	94.64	94.23	93.75	92.99	93.59	93.92
686.5	95.15	94.93	94.64	94.24	93.76	93.01	93.58	93.94
687	95.12	94.93	94.62	94.27	93.78	93.02	93.57	93.95
687.5	95.12	94.94	94.62	94.29	93.80	93.05	93.62	93.97
688	95.13	94.94	94.65	94.30	93.83	93.04	93.67	93.98
688.5	95.16	94.96	94.67	94.30	93.83	93.01	93.67	93.96
689	95.15	94.95	94.67	94.27	93.79	92.99	93.63	93.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
689.5	95.24	94.94	94.70	94.28	93.80	93.00	93.63	93.89
690	95.24	94.93	94.71	94.26	93.78	93.01	93.60	93.86
690.5	95.21	94.90	94.67	94.27	93.75	92.99	93.51	93.84
691	95.21	94.87	94.67	94.30	93.75	92.99	93.46	93.81
691.5	95.18	94.86	94.63	94.28	93.77	92.98	93.40	93.77
692	95.20	94.86	94.60	94.30	93.83	92.98	93.42	93.81
692.5	95.23	94.88	94.63	94.33	93.89	92.98	93.44	93.83
693	95.27	94.96	94.68	94.35	93.92	93.00	93.47	93.84
693.5	95.26	94.99	94.72	94.38	93.93	93.03	93.49	93.84
694	95.27	95.00	94.74	94.37	93.89	93.04	93.48	93.82
694.5	95.28	94.99	94.78	94.42	93.87	93.08	93.51	93.86
695	95.24	94.96	94.78	94.42	93.85	93.04	93.51	93.86
695.5	95.18	94.96	94.77	94.43	93.85	93.02	93.49	93.85
696	95.14	94.97	94.77	94.41	93.87	93.01	93.45	93.82
696.5	95.17	95.00	94.80	94.42	93.91	93.01	93.43	93.79
697	95.17	95.00	94.80	94.43	93.93	93.03	93.43	93.73
697.5	95.13	94.95	94.74	94.42	93.90	93.01	93.36	93.66
698	95.15	94.92	94.75	94.47	93.92	93.04	93.38	93.65
698.5	95.15	94.91	94.78	94.48	93.93	93.02	93.38	93.63
699	95.12	94.85	94.76	94.47	93.94	93.00	93.34	93.62
699.5	95.11	94.78	94.76	94.43	93.91	92.93	93.34	93.64
700	95.13	94.79	94.78	94.46	93.92	92.94	93.36	93.71
700.5	95.13	94.83	94.83	94.46	93.95	92.97	93.36	93.74
701	95.13	94.86	94.85	94.44	93.91	92.98	93.35	93.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
701.5	95.18	94.91	94.89	94.49	93.96	93.05	93.39	93.69
702	95.16	94.94	94.85	94.52	93.98	93.05	93.42	93.64
702.5	95.17	94.94	94.80	94.57	93.99	93.03	93.40	93.57
703	95.15	94.90	94.77	94.58	93.98	92.98	93.38	93.53
703.5	95.13	94.93	94.78	94.63	94.02	92.95	93.39	93.54
704	95.14	94.94	94.83	94.67	94.08	92.94	93.45	93.55
704.5	95.17	94.95	94.86	94.66	94.10	92.96	93.43	93.56
705	95.19	94.96	94.86	94.62	94.12	93.01	93.44	93.61
705.5	95.19	94.96	94.85	94.59	94.12	93.03	93.43	93.63
706	95.19	94.97	94.83	94.53	94.09	93.05	93.38	93.60
706.5	95.14	94.91	94.77	94.46	94.01	93.00	93.32	93.54
707	95.12	94.92	94.76	94.53	94.02	93.07	93.32	93.57
707.5	95.12	94.95	94.74	94.56	94.02	93.08	93.30	93.56
708	95.09	94.86	94.68	94.52	93.97	93.03	93.25	93.50
708.5	95.07	94.86	94.67	94.48	93.99	93.01	93.24	93.46
709	95.08	94.84	94.66	94.48	94.02	92.99	93.27	93.44
709.5	95.13	94.86	94.69	94.51	94.06	93.00	93.28	93.42
710	95.13	94.84	94.71	94.46	94.04	92.99	93.22	93.37
710.5	95.10	94.86	94.74	94.47	94.06	92.99	93.20	93.38
711	95.09	94.87	94.79	94.50	94.07	93.03	93.20	93.39
711.5	95.08	94.89	94.83	94.56	94.08	93.06	93.21	93.41
712	95.06	94.90	94.88	94.61	94.10	93.08	93.24	93.42
712.5	95.04	94.88	94.93	94.64	94.12	93.12	93.29	93.44
713	95.04	94.84	94.91	94.61	94.13	93.11	93.27	93.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
713.5	95.05	94.81	94.89	94.59	94.13	93.06	93.27	93.37
714	95.05	94.82	94.89	94.63	94.16	93.08	93.25	93.37
714.5	95.11	94.89	94.90	94.71	94.21	93.11	93.29	93.38
715	95.17	94.93	94.89	94.75	94.25	93.11	93.29	93.37
715.5	95.17	95.01	94.86	94.73	94.25	93.10	93.27	93.39
716	95.19	95.06	94.87	94.74	94.31	93.15	93.28	93.44
716.5	95.19	95.05	94.88	94.78	94.32	93.17	93.29	93.41
717	95.13	95.01	94.85	94.74	94.27	93.16	93.24	93.36
717.5	95.07	94.92	94.86	94.69	94.22	93.12	93.19	93.28
718	94.99	94.82	94.83	94.60	94.15	93.11	93.10	93.19
718.5	94.93	94.76	94.75	94.53	94.04	93.04	93.04	93.13
719	94.91	94.77	94.70	94.52	94.04	93.02	93.02	93.11
719.5	94.96	94.83	94.73	94.56	94.09	93.05	93.01	93.16
720	94.95	94.83	94.71	94.54	94.13	93.02	92.98	93.17
720.5	94.98	94.86	94.70	94.55	94.18	93.01	93.03	93.19
721	94.92	94.83	94.72	94.57	94.17	93.03	92.99	93.16
721.5	94.93	94.78	94.75	94.58	94.17	93.06	93.02	93.16
722	94.96	94.76	94.82	94.62	94.18	93.13	93.03	93.12
722.5	94.95	94.72	94.81	94.61	94.12	93.13	93.03	93.11
723	94.96	94.70	94.83	94.64	94.12	93.16	93.04	93.13
723.5	94.92	94.70	94.82	94.64	94.09	93.11	93.04	93.09
724	94.94	94.74	94.79	94.65	94.11	93.08	93.05	93.14
724.5	94.97	94.75	94.81	94.70	94.17	93.08	93.11	93.16
725	94.99	94.69	94.76	94.63	94.20	93.03	93.08	93.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
725.5	94.94	94.63	94.69	94.57	94.14	92.95	93.08	93.08
726	94.91	94.59	94.64	94.52	94.16	92.96	93.09	93.08
726.5	94.98	94.65	94.66	94.58	94.18	93.02	93.08	93.08
727	95.00	94.68	94.67	94.57	94.22	93.01	93.03	93.08
727.5	95.10	94.73	94.70	94.64	94.24	93.08	93.06	93.18
728	95.11	94.75	94.72	94.67	94.24	93.13	93.04	93.20
728.5	95.09	94.72	94.73	94.68	94.21	93.14	93.03	93.19
729	95.08	94.73	94.78	94.75	94.19	93.20	93.08	93.19
729.5	95.03	94.69	94.81	94.69	94.18	93.19	93.10	93.11
730	95.02	94.67	94.84	94.71	94.22	93.26	93.17	93.04
730.5	94.93	94.68	94.83	94.71	94.27	93.28	93.16	93.01
731	94.90	94.64	94.71	94.67	94.28	93.20	93.12	92.93
731.5	94.88	94.68	94.69	94.69	94.33	93.24	93.12	92.95
732	94.89	94.68	94.70	94.65	94.32	93.24	93.08	92.95
732.5	94.88	94.68	94.69	94.66	94.30	93.24	93.10	92.98
733	94.89	94.66	94.69	94.64	94.32	93.24	93.10	93.07
733.5	94.90	94.64	94.68	94.66	94.31	93.25	93.12	93.08
734	94.86	94.68	94.70	94.66	94.35	93.26	93.09	93.08
734.5	94.90	94.72	94.75	94.72	94.36	93.31	93.10	93.10
735	94.92	94.75	94.75	94.71	94.40	93.38	93.11	93.03
735.5	94.96	94.77	94.75	94.70	94.43	93.46	93.08	92.99
736	95.04	94.81	94.76	94.78	94.47	93.56	93.14	93.05
736.5	95.05	94.82	94.74	94.73	94.44	93.57	93.13	93.01
737	95.03	94.80	94.72	94.73	94.38	93.51	93.15	92.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
737.5	94.99	94.78	94.74	94.77	94.39	93.52	93.21	93.02
738	94.96	94.70	94.67	94.79	94.36	93.41	93.21	93.01
738.5	94.93	94.62	94.59	94.76	94.36	93.38	93.13	93.01
739	94.92	94.63	94.63	94.76	94.34	93.41	93.08	92.98
739.5	94.91	94.63	94.66	94.76	94.33	93.45	93.09	92.96
740	94.90	94.68	94.70	94.75	94.32	93.47	93.07	92.96
740.5	94.92	94.67	94.72	94.74	94.33	93.45	93.10	92.95
741	94.81	94.70	94.75	94.72	94.32	93.42	93.08	93.00
741.5	94.74	94.68	94.73	94.68	94.30	93.37	93.03	93.00
742	94.75	94.67	94.73	94.60	94.29	93.31	93.04	92.99
742.5	94.73	94.62	94.64	94.55	94.30	93.28	93.04	92.94
743	94.74	94.58	94.61	94.54	94.38	93.29	93.05	92.96
743.5	94.77	94.55	94.58	94.48	94.40	93.35	93.01	92.91
744	94.78	94.57	94.53	94.49	94.41	93.40	93.00	92.89
744.5	94.82	94.61	94.56	94.54	94.45	93.50	93.10	92.92
745	94.81	94.64	94.64	94.67	94.49	93.55	93.19	92.99
745.5	94.77	94.59	94.66	94.72	94.45	93.53	93.18	93.00
746	94.77	94.59	94.70	94.81	94.47	93.56	93.25	93.05
746.5	94.77	94.56	94.72	94.81	94.48	93.55	93.28	93.08
747	94.75	94.57	94.72	94.76	94.47	93.51	93.26	93.10
747.5	94.81	94.57	94.74	94.71	94.49	93.54	93.29	93.10
748	94.79	94.59	94.75	94.71	94.49	93.53	93.29	93.10
748.5	94.75	94.55	94.67	94.63	94.40	93.54	93.21	93.01
749	94.82	94.57	94.67	94.57	94.34	93.56	93.23	93.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
749.5	94.80	94.53	94.57	94.58	94.28	93.55	93.23	92.96
750	94.78	94.48	94.60	94.60	94.27	93.51	93.23	92.97
750.5	94.77	94.45	94.66	94.64	94.30	93.51	93.24	93.00
751	94.75	94.42	94.64	94.65	94.35	93.53	93.26	93.01
751.5	94.75	94.46	94.62	94.69	94.40	93.56	93.33	93.06
752	94.72	94.51	94.70	94.72	94.51	93.64	93.37	93.05
752.5	94.71	94.51	94.76	94.71	94.51	93.69	93.35	93.02
753	94.70	94.51	94.75	94.68	94.47	93.67	93.34	92.97
753.5	94.70	94.49	94.68	94.61	94.43	93.68	93.33	92.97
754	94.71	94.49	94.60	94.55	94.41	93.61	93.28	92.93
754.5	94.69	94.50	94.57	94.52	94.41	93.58	93.33	92.98
755	94.70	94.49	94.58	94.59	94.44	93.57	93.36	92.99
755.5	94.65	94.41	94.58	94.60	94.43	93.57	93.30	92.94
756	94.69	94.41	94.59	94.63	94.50	93.62	93.37	92.95
756.5	94.67	94.37	94.56	94.64	94.51	93.63	93.34	92.93
757	94.64	94.37	94.55	94.61	94.49	93.60	93.30	92.88
757.5	94.62	94.39	94.58	94.60	94.44	93.62	93.25	92.85
758	94.56	94.36	94.56	94.52	94.38	93.59	93.19	92.84
758.5	94.54	94.38	94.55	94.46	94.31	93.57	93.12	92.86
759	94.54	94.46	94.55	94.48	94.37	93.66	93.16	92.93
759.5	94.54	94.44	94.57	94.48	94.38	93.76	93.13	92.96
760	94.55	94.45	94.60	94.48	94.36	93.80	93.13	92.91
760.5	94.58	94.42	94.63	94.53	94.42	93.89	93.23	92.97
761	94.60	94.41	94.57	94.55	94.44	93.93	93.26	92.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
761.5	94.60	94.41	94.55	94.53	94.46	93.87	93.39	92.98
762	94.66	94.45	94.54	94.57	94.41	93.84	93.45	93.01
762.5	94.61	94.46	94.50	94.53	94.31	93.74	93.40	92.89
763	94.59	94.45	94.46	94.49	94.24	93.67	93.40	92.81
763.5	94.57	94.45	94.50	94.51	94.23	93.65	93.36	92.84
764	94.51	94.40	94.45	94.48	94.28	93.63	93.30	92.84
764.5	94.48	94.29	94.38	94.48	94.31	93.63	93.26	92.80
765	94.46	94.22	94.33	94.47	94.41	93.63	93.31	92.82
765.5	94.44	94.23	94.36	94.48	94.51	93.64	93.32	92.84
766	94.52	94.27	94.39	94.57	94.68	93.75	93.40	92.95
766.5	94.51	94.28	94.41	94.56	94.73	93.79	93.45	93.00
767	94.51	94.33	94.42	94.53	94.67	93.84	93.46	92.98
767.5	94.55	94.34	94.45	94.60	94.67	93.88	93.47	93.04
768	94.54	94.36	94.42	94.55	94.57	93.89	93.45	92.98
768.5	94.54	94.30	94.33	94.55	94.49	93.84	93.39	92.96
769	94.55	94.26	94.33	94.57	94.47	93.88	93.41	93.04
769.5	94.47	94.21	94.29	94.53	94.42	93.83	93.37	92.99
770	94.44	94.18	94.30	94.49	94.38	93.82	93.36	92.97
770.5	94.53	94.30	94.40	94.56	94.48	93.91	93.53	93.07
771	94.47	94.33	94.40	94.47	94.54	93.92	93.59	93.07
771.5	94.47	94.25	94.37	94.42	94.53	93.91	93.62	93.08
772	94.45	94.22	94.35	94.37	94.53	93.94	93.64	93.09
772.5	94.38	94.15	94.28	94.33	94.45	93.88	93.58	93.04
773	94.39	94.12	94.25	94.33	94.43	93.84	93.45	92.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
773.5	94.48	94.15	94.29	94.37	94.44	93.84	93.41	92.96
774	94.50	94.21	94.31	94.39	94.46	93.90	93.39	92.97
774.5	94.54	94.21	94.35	94.47	94.51	93.95	93.40	93.00
775	94.50	94.24	94.43	94.46	94.53	94.01	93.45	92.97
775.5	94.54	94.24	94.42	94.47	94.56	94.03	93.45	92.98
776	94.54	94.26	94.41	94.44	94.63	94.08	93.56	93.04
776.5	94.42	94.21	94.30	94.39	94.64	94.07	93.54	93.03
777	94.34	94.14	94.30	94.35	94.60	94.05	93.51	93.07
777.5	94.37	94.15	94.28	94.38	94.59	94.04	93.56	93.09
778	94.31	94.14	94.24	94.32	94.53	93.95	93.60	93.06
778.5	94.33	94.11	94.21	94.29	94.50	93.87	93.61	93.06
779	94.33	94.17	94.25	94.28	94.48	93.90	93.64	93.11
779.5	94.31	94.16	94.23	94.29	94.42	93.91	93.69	93.09
780	94.23	94.11	94.20	94.28	94.34	93.86	93.65	93.02
780.5	94.18	94.05	94.17	94.22	94.25	93.82	93.57	92.99
781	94.13	94.11	94.14	94.22	94.25	93.82	93.57	93.04
781.5	94.19	94.12	94.10	94.24	94.34	93.86	93.61	93.12
782	94.21	94.16	94.08	94.25	94.34	93.89	93.63	93.14
782.5	94.22	94.11	94.07	94.24	94.35	93.88	93.62	93.13
783	94.26	94.13	94.08	94.26	94.34	93.89	93.65	93.14
783.5	94.31	94.18	94.08	94.28	94.41	93.92	93.71	93.18
784	94.36	94.19	94.20	94.30	94.50	94.01	93.73	93.21
784.5	94.34	94.16	94.17	94.28	94.48	94.04	93.70	93.13
785	94.31	94.19	94.15	94.33	94.51	94.07	93.72	93.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
785.5	94.27	94.15	94.04	94.26	94.45	94.05	93.66	93.06
786	94.26	94.18	94.00	94.19	94.42	94.10	93.64	93.11
786.5	94.26	94.17	93.95	94.16	94.36	94.17	93.66	93.11
787	94.24	94.06	93.83	94.15	94.29	94.12	93.58	93.05
787.5	94.23	94.01	93.85	94.11	94.30	94.05	93.54	93.05
788	94.17	94.05	93.97	94.14	94.28	94.02	93.52	93.04
788.5	94.18	93.99	94.09	94.13	94.40	94.02	93.57	93.09
789	94.21	94.08	94.23	94.16	94.42	94.05	93.64	93.14
789.5	94.09	93.95	94.21	94.14	94.40	94.00	93.64	93.11
790	94.04	93.96	94.13	94.18	94.33	93.99	93.67	93.14
790.5	94.20	93.98	94.04	94.12	94.28	93.96	93.74	93.22
791	94.23	93.93	94.01	94.05	94.25	93.97	93.73	93.24
791.5	94.21	93.82	93.96	93.99	94.19	93.96	93.71	93.18
792	94.24	93.88	93.99	94.08	94.31	94.03	93.74	93.19
792.5	94.20	93.90	94.02	94.12	94.40	94.04	93.71	93.17
793	94.16	94.02	94.02	94.15	94.47	94.07	93.75	93.23
793.5	94.07	94.09	94.03	94.16	94.50	94.17	93.75	93.29
794	93.95	94.06	93.91	94.15	94.46	94.17	93.73	93.36
794.5	93.98	94.04	93.89	94.22	94.48	94.21	93.77	93.47
795	94.00	94.05	93.91	94.24	94.40	94.26	93.79	93.46
795.5	94.00	93.90	93.89	94.10	94.34	94.30	93.78	93.40
796	94.06	93.89	93.95	94.01	94.31	94.34	93.84	93.36
796.5	94.01	93.75	93.91	93.93	94.29	94.29	93.82	93.25
797	94.00	93.72	93.89	93.92	94.29	94.29	93.81	93.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
797.5	94.17	93.74	93.87	93.85	94.26	94.28	93.88	93.17
798	94.21	93.74	93.78	93.83	94.22	94.24	93.89	93.23
798.5	94.22	93.79	93.73	93.95	94.22	94.25	93.99	93.33
799	94.28	93.88	93.80	94.07	94.29	94.35	94.09	93.46
799.5	94.28	93.94	93.94	94.17	94.43	94.40	94.12	93.56
800	94.24	93.90	93.95	94.18	94.44	94.35	94.09	93.50
800.5	94.22	93.92	94.05	94.18	94.44	94.37	94.06	93.45
801	94.24	93.98	94.12	94.15	94.50	94.38	94.01	93.44
801.5	94.22	93.93	94.04	94.12	94.44	94.35	93.97	93.38
802	94.14	93.87	93.94	94.01	94.38	94.31	93.93	93.28
802.5	94.08	93.83	93.82	93.91	94.26	94.34	93.90	93.24
803	94.06	93.81	93.76	93.91	94.21	94.34	93.99	93.29
803.5	94.05	93.82	93.71	94.01	94.18	94.38	94.08	93.33
804	94.02	93.90	93.72	94.09	94.26	94.40	94.10	93.34
804.5	94.07	93.91	93.78	94.09	94.23	94.36	94.14	93.34
805	94.02	93.84	93.78	94.03	94.17	94.31	94.04	93.33
805.5	94.05	93.85	93.81	94.03	94.14	94.26	94.02	93.32
806	94.06	93.80	93.93	94.03	94.16	94.23	93.99	93.36
806.5	94.16	93.86	94.04	94.08	94.21	94.28	94.04	93.46
807	94.15	93.81	93.98	93.91	94.14	94.16	93.94	93.41
807.5	94.11	93.83	93.97	93.87	94.11	94.15	93.99	93.46
808	94.23	93.92	94.04	93.88	94.21	94.20	94.04	93.57
808.5	94.25	93.90	93.96	93.88	94.17	94.23	94.01	93.53
809	94.12	93.82	93.83	93.73	94.12	94.21	93.97	93.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
809.5	93.98	93.74	93.66	93.66	94.04	94.15	93.88	93.34
810	93.91	93.64	93.52	93.66	93.97	94.08	93.80	93.30
810.5	93.80	93.53	93.41	93.71	93.88	93.95	93.73	93.30
811	93.73	93.55	93.35	93.77	93.91	93.92	93.71	93.27
811.5	93.82	93.58	93.40	93.82	93.90	93.94	93.79	93.34
812	93.81	93.64	93.43	93.77	93.90	94.00	93.88	93.36
812.5	93.79	93.68	93.41	93.65	93.87	94.00	93.95	93.35
813	93.63	93.58	93.41	93.45	93.89	93.98	93.96	93.30
813.5	93.71	93.58	93.48	93.42	93.96	94.14	94.06	93.40
814	93.76	93.57	93.55	93.34	93.93	94.14	93.95	93.34
814.5	93.78	93.54	93.60	93.32	93.87	94.19	93.96	93.35
815	93.83	93.55	93.60	93.33	93.91	94.18	93.93	93.36
815.5	93.85	93.47	93.57	93.38	93.93	94.19	93.83	93.41
816	93.83	93.47	93.55	93.40	93.93	94.19	93.75	93.41
816.5	93.92	93.52	93.60	93.50	93.96	94.27	93.77	93.53
817	94.04	93.53	93.60	93.57	93.95	94.29	93.79	93.56
817.5	94.04	93.49	93.56	93.60	93.91	94.20	93.83	93.64
818	94.03	93.54	93.52	93.61	93.93	94.20	93.93	93.67
818.5	94.06	93.59	93.47	93.59	93.88	94.16	94.03	93.69
819	94.02	93.67	93.47	93.57	93.88	94.14	94.14	93.66
819.5	93.92	93.66	93.43	93.54	93.84	94.09	94.20	93.54
820	93.70	93.56	93.32	93.45	93.79	94.02	94.18	93.39
820.5	93.58	93.52	93.20	93.36	93.78	94.01	94.13	93.26
821	93.50	93.44	93.17	93.35	93.74	93.82	93.99	93.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
821.5	93.61	93.52	93.28	93.42	93.76	93.87	94.05	93.22
822	93.73	93.58	93.35	93.46	93.83	93.92	94.03	93.18
822.5	93.83	93.52	93.43	93.46	93.91	94.03	94.04	93.31
823	93.84	93.54	93.43	93.48	93.95	94.12	94.07	93.36
823.5	93.89	93.58	93.46	93.44	94.02	94.28	94.12	93.43
824	93.88	93.56	93.37	93.40	94.00	94.31	94.04	93.48
824.5	93.84	93.55	93.35	93.41	93.99	94.32	94.01	93.59
825	93.82	93.53	93.32	93.38	93.92	94.41	93.97	93.67
825.5	93.76	93.48	93.22	93.31	93.71	94.30	93.88	93.66
826	93.70	93.44	93.22	93.33	93.61	94.20	93.89	93.63
826.5	93.75	93.43	93.30	93.35	93.58	94.14	94.01	93.64
827	93.71	93.44	93.30	93.40	93.58	94.05	94.05	93.64
827.5	93.76	93.50	93.36	93.42	93.59	94.09	94.07	93.65
828	93.74	93.38	93.28	93.31	93.52	93.98	94.08	93.62
828.5	93.83	93.48	93.30	93.37	93.63	94.00	94.23	93.68
829	93.96	93.56	93.37	93.43	93.77	94.09	94.30	93.67
829.5	94.04	93.59	93.53	93.43	93.90	94.27	94.42	93.70
830	94.12	93.66	93.60	93.56	94.01	94.36	94.53	93.76
830.5	94.11	93.73	93.71	93.57	94.06	94.46	94.51	93.71
831	94.06	93.63	93.54	93.46	93.94	94.41	94.37	93.60
831.5	94.05	93.60	93.51	93.51	93.93	94.32	94.32	93.64
832	94.06	93.54	93.38	93.58	93.88	94.30	94.29	93.73
832.5	93.86	93.40	93.21	93.47	93.65	94.13	94.13	93.66
833	93.81	93.30	93.19	93.43	93.52	94.07	94.06	93.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
833.5	93.93	93.25	93.35	93.46	93.56	94.16	94.17	93.68
834	93.85	93.29	93.29	93.35	93.53	94.18	94.21	93.59
834.5	93.89	93.37	93.39	93.30	93.56	94.24	94.25	93.52
835	93.85	93.39	93.39	93.18	93.57	94.28	94.26	93.46
835.5	93.83	93.53	93.36	93.19	93.58	94.28	94.18	93.48
836	93.92	93.66	93.42	93.27	93.68	94.41	94.16	93.70
836.5	93.85	93.61	93.37	93.19	93.67	94.39	94.10	93.67
837	93.84	93.55	93.31	93.31	93.71	94.35	94.06	93.82
837.5	93.72	93.51	93.33	93.33	93.59	94.34	94.01	93.91
838	93.61	93.49	93.09	93.20	93.49	94.16	94.05	93.87
838.5	93.66	93.55	93.10	93.18	93.41	94.07	94.01	93.85
839	93.70	93.59	93.09	93.18	93.48	94.12	94.11	93.78
839.5	93.60	93.65	93.00	93.08	93.37	94.01	94.04	93.64
840	93.67	93.58	92.97	92.96	93.24	93.90	93.98	93.63
840.5	93.76	93.46	93.03	92.95	93.16	93.92	93.98	93.56
841	93.70	93.53	93.10	92.85	93.14	93.89	93.91	93.62
841.5	93.69	93.41	93.04	92.70	93.00	93.93	93.97	93.53
842	93.86	93.34	93.06	92.73	92.96	94.03	94.11	93.65
842.5	93.88	93.33	93.05	92.85	92.86	94.10	94.19	93.64
843	94.02	93.44	93.22	93.19	93.26	94.39	94.40	93.99
843.5	94.01	93.52	93.27	93.40	93.46	94.35	94.45	93.93
844	93.89	93.57	93.28	93.49	93.62	94.44	94.42	93.97
844.5	93.83	93.37	93.29	93.41	93.58	94.38	94.34	93.88
845	93.78	93.39	93.05	93.27	93.57	94.18	94.32	93.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 (ต่อ) ข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีความลาดชัน
ที่สุด

nm	Origin	Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7
845.5	93.75	93.39	92.86	93.06	93.40	93.80	94.03	93.60
846	93.74	93.30	92.76	92.86	93.34	93.69	93.94	93.41
846.5	93.67	93.49	92.81	92.84	93.27	93.59	93.89	93.32
847	93.76	93.47	92.86	92.75	93.19	93.53	93.87	93.29
847.5	93.85	93.36	92.89	92.75	93.14	93.58	93.88	93.31
848	93.80	93.37	93.07	92.81	93.24	93.59	93.79	93.43
848.5	93.68	93.26	93.07	92.76	93.23	93.64	93.79	93.44
849	93.68	93.18	93.12	92.74	93.16	93.69	93.80	93.54
849.5	93.61	93.11	93.09	92.69	92.99	93.72	93.81	93.48
850	93.65	93.11	93.12	92.79	93.12	93.81	93.83	93.58

ภาคผนวก ค.3 ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วนประสม
กลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
420	91.87	92.16	92.54	92.48	92.19
420.5	92.35	92.31	92.79	92.65	92.27
421	92.69	92.45	93.05	92.79	92.29
421.5	93.00	92.43	93.14	92.84	92.17
422	93.28	92.45	93.29	92.99	92.17
422.5	93.46	92.35	93.36	93.07	92.16
423	93.60	92.41	93.49	93.18	92.24
423.5	93.78	92.43	93.59	93.15	92.27
424	94.03	92.53	93.72	93.17	92.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน

ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
424.5	94.27	92.54	93.75	93.10	92.25
425	94.52	92.51	93.73	93.05	92.10
425.5	94.58	92.42	93.63	92.92	91.90
426	94.64	92.29	93.55	92.81	91.72
426.5	94.67	92.11	93.46	92.68	91.55
427	94.68	91.92	93.32	92.53	91.38
427.5	94.65	91.74	93.28	92.47	91.31
428	94.65	91.56	93.16	92.32	91.22
428.5	94.65	91.34	93.03	92.13	91.05
429	94.66	91.25	92.92	91.99	90.90
429.5	94.57	91.13	92.81	91.77	90.73
430	94.52	91.03	92.65	91.61	90.53
430.5	94.38	90.92	92.48	91.40	90.26
431	94.30	90.77	92.31	91.20	90.07
431.5	94.19	90.56	92.15	90.98	89.89
432	94.14	90.39	91.96	90.81	89.70
432.5	93.97	90.16	91.71	90.63	89.50
433	93.75	89.84	91.47	90.41	89.29
433.5	93.56	89.55	91.24	90.18	89.12
434	93.34	89.33	91.02	89.93	88.86
434.5	93.12	89.15	90.86	89.71	88.63
435	92.93	88.97	90.62	89.49	88.43
435.5	92.79	88.76	90.38	89.25	88.23
436	92.69	88.50	90.04	88.98	88.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน

ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
436.5	92.52	88.27	89.79	88.70	87.88
437	92.39	88.08	89.53	88.44	87.73
437.5	92.14	87.90	89.30	88.14	87.50
438	91.87	87.63	89.06	87.89	87.26
438.5	91.54	87.44	88.83	87.64	86.97
439	91.30	87.25	88.63	87.46	86.71
439.5	91.02	87.09	88.37	87.25	86.45
440	90.71	86.79	88.11	86.97	86.20
440.5	90.45	86.55	87.81	86.70	86.04
441	90.13	86.30	87.57	86.44	85.88
441.5	89.91	86.06	87.31	86.14	85.71
442	89.70	85.87	87.04	85.86	85.52
442.5	89.43	85.67	86.83	85.64	85.31
443	89.22	85.48	86.55	85.46	85.11
443.5	89.01	85.30	86.37	85.36	84.95
444	88.78	85.10	86.13	85.19	84.80
444.5	88.48	84.88	85.95	84.97	84.66
445	88.21	84.65	85.76	84.72	84.50
445.5	87.92	84.43	85.49	84.45	84.29
446	87.69	84.25	85.26	84.21	84.10
446.5	87.48	84.07	85.00	83.94	83.89
447	87.30	83.82	84.72	83.66	83.69
447.5	87.15	83.69	84.46	83.42	83.54
448	86.87	83.57	84.31	83.32	83.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
448.5	86.66	83.42	84.12	83.20	83.34
449	86.47	83.24	83.88	83.06	83.27
449.5	86.24	83.08	83.67	82.94	83.18
450	86.02	82.90	83.45	82.79	83.02
450.5	85.81	82.76	83.24	82.62	82.86
451	85.57	82.59	83.03	82.44	82.69
451.5	85.35	82.41	82.88	82.26	82.54
452	85.13	82.30	82.75	82.08	82.43
452.5	84.95	82.20	82.59	81.90	82.34
453	84.74	82.15	82.49	81.78	82.29
453.5	84.55	82.06	82.37	81.69	82.23
454	84.39	81.95	82.21	81.57	82.16
454.5	84.28	81.84	82.05	81.48	82.10
455	84.10	81.72	81.89	81.40	82.00
455.5	83.95	81.63	81.72	81.29	81.91
456	83.78	81.50	81.56	81.18	81.80
456.5	83.64	81.41	81.42	81.07	81.74
457	83.49	81.28	81.31	80.92	81.68
457.5	83.32	81.21	81.21	80.79	81.62
458	83.12	81.12	81.11	80.68	81.58
458.5	82.97	81.00	81.02	80.56	81.53
459	82.81	80.97	80.93	80.54	81.50
459.5	82.73	80.93	80.83	80.49	81.49
460	82.62	80.86	80.71	80.46	81.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน

ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
460.5	82.58	80.76	80.58	80.36	81.42
461	82.55	80.77	80.50	80.28	81.38
461.5	82.50	80.74	80.45	80.24	81.34
462	82.40	80.69	80.38	80.20	81.29
462.5	82.24	80.67	80.35	80.16	81.28
463	82.07	80.69	80.32	80.13	81.26
463.5	81.95	80.68	80.25	80.12	81.24
464	81.82	80.63	80.21	80.07	81.24
464.5	81.76	80.61	80.16	80.03	81.23
465	81.70	80.54	80.12	80.03	81.20
465.5	81.64	80.50	80.11	79.98	81.19
466	81.63	80.54	80.10	80.03	81.21
466.5	81.61	80.59	80.11	80.08	81.26
467	81.51	80.63	80.10	80.12	81.31
467.5	81.43	80.62	80.09	80.12	81.37
468	81.41	80.67	80.06	80.12	81.44
468.5	81.37	80.68	80.03	80.10	81.46
469	81.35	80.67	80.04	80.11	81.49
469.5	81.31	80.66	80.06	80.11	81.49
470	81.29	80.65	80.10	80.12	81.51
470.5	81.24	80.66	80.13	80.17	81.49
471	81.19	80.69	80.17	80.22	81.51
471.5	81.18	80.76	80.16	80.25	81.55
472	81.21	80.76	80.16	80.26	81.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
472.5	81.19	80.78	80.18	80.24	81.62
473	81.21	80.79	80.14	80.24	81.67
473.5	81.27	80.87	80.19	80.28	81.75
474	81.30	80.92	80.24	80.33	81.84
474.5	81.33	80.99	80.31	80.36	81.91
475	81.37	81.08	80.37	80.45	81.95
475.5	81.36	81.15	80.41	80.51	81.97
476	81.36	81.22	80.44	80.59	82.01
476.5	81.37	81.32	80.46	80.69	82.05
477	81.38	81.35	80.50	80.76	82.14
477.5	81.38	81.39	80.56	80.82	82.23
478	81.39	81.49	80.64	80.90	82.36
478.5	81.40	81.60	80.72	80.98	82.50
479	81.44	81.67	80.81	81.05	82.63
479.5	81.49	81.76	80.92	81.15	82.72
480	81.51	81.79	80.95	81.19	82.76
480.5	81.57	81.86	81.02	81.29	82.80
481	81.60	81.93	81.09	81.39	82.88
481.5	81.65	82.01	81.17	81.49	82.96
482	81.74	82.10	81.26	81.59	83.08
482.5	81.82	82.18	81.34	81.68	83.20
483	81.89	82.30	81.42	81.77	83.32
483.5	81.97	82.38	81.48	81.86	83.41
484	82.00	82.42	81.49	81.92	83.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
484.5	82.03	82.49	81.54	81.97	83.52
485	82.11	82.59	81.59	82.07	83.57
485.5	82.24	82.68	81.70	82.17	83.60
486	82.34	82.79	81.80	82.26	83.67
486.5	82.47	82.95	81.96	82.37	83.76
487	82.56	83.05	82.11	82.51	83.86
487.5	82.66	83.17	82.24	82.66	84.00
488	82.71	83.29	82.38	82.79	84.11
488.5	82.75	83.39	82.50	82.91	84.23
489	82.80	83.48	82.62	83.03	84.37
489.5	82.86	83.58	82.67	83.14	84.45
490	82.95	83.72	82.77	83.25	84.60
490.5	83.07	83.82	82.87	83.32	84.70
491	83.17	83.93	82.93	83.41	84.80
491.5	83.28	84.07	83.04	83.54	84.93
492	83.40	84.17	83.14	83.67	85.03
492.5	83.56	84.26	83.27	83.82	85.13
493	83.69	84.34	83.38	83.94	85.24
493.5	83.82	84.44	83.52	84.08	85.34
494	83.87	84.53	83.65	84.21	85.43
494.5	83.92	84.67	83.78	84.30	85.53
495	83.95	84.81	83.91	84.38	85.64
495.5	84.02	84.95	84.03	84.48	85.76
496	84.15	85.09	84.20	84.62	85.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
496.5	84.27	85.21	84.31	84.77	85.97
497	84.42	85.34	84.46	84.91	86.10
497.5	84.57	85.44	84.59	85.03	86.21
498	84.70	85.52	84.69	85.14	86.30
498.5	84.81	85.61	84.77	85.26	86.42
499	84.90	85.69	84.87	85.34	86.50
499.5	84.99	85.77	84.95	85.42	86.60
500	85.11	85.88	85.08	85.51	86.72
500.5	85.26	86.03	85.23	85.66	86.86
501	85.35	86.14	85.36	85.81	87.01
501.5	85.47	86.26	85.47	85.94	87.12
502	85.56	86.39	85.58	86.06	87.24
502.5	85.67	86.48	85.66	86.17	87.32
503	85.79	86.59	85.78	86.30	87.40
503.5	85.87	86.71	85.88	86.43	87.47
504	86.02	86.82	86.04	86.55	87.58
504.5	86.13	86.98	86.18	86.71	87.67
505	86.26	87.12	86.33	86.85	87.75
505.5	86.35	87.26	86.47	87.01	87.88
506	86.43	87.38	86.59	87.13	87.98
506.5	86.51	87.48	86.69	87.22	88.10
507	86.63	87.58	86.83	87.31	88.18
507.5	86.74	87.68	86.97	87.38	88.26
508	86.84	87.74	87.07	87.44	88.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
508.5	86.96	87.82	87.17	87.55	88.47
509	87.08	87.93	87.29	87.67	88.60
509.5	87.21	87.98	87.34	87.78	88.70
510	87.31	88.09	87.45	87.93	88.78
510.5	87.41	88.21	87.56	88.07	88.88
511	87.55	88.35	87.72	88.22	89.00
511.5	87.67	88.51	87.86	88.36	89.13
512	87.82	88.67	88.00	88.49	89.23
512.5	87.95	88.81	88.13	88.63	89.35
513	88.03	88.92	88.23	88.77	89.47
513.5	88.12	89.00	88.32	88.83	89.57
514	88.24	89.02	88.40	88.91	89.65
514.5	88.33	89.10	88.52	89.00	89.73
515	88.45	89.16	88.59	89.06	89.78
515.5	88.57	89.28	88.73	89.18	89.85
516	88.68	89.42	88.89	89.30	89.97
516.5	88.79	89.54	89.02	89.43	90.08
517	88.90	89.65	89.14	89.54	90.14
517.5	89.00	89.74	89.28	89.68	90.22
518	89.09	89.81	89.37	89.78	90.27
518.5	89.17	89.82	89.43	89.87	90.32
519	89.25	89.87	89.48	89.93	90.36
519.5	89.37	90.00	89.58	90.05	90.46
520	89.44	90.12	89.67	90.16	90.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
520.5	89.54	90.24	89.78	90.25	90.70
521	89.65	90.36	89.89	90.35	90.81
521.5	89.74	90.48	90.03	90.46	90.92
522	89.89	90.57	90.12	90.55	90.99
522.5	90.01	90.67	90.22	90.66	91.06
523	90.12	90.76	90.34	90.73	91.13
523.5	90.22	90.83	90.42	90.83	91.22
524	90.32	90.90	90.49	90.91	91.31
524.5	90.40	91.01	90.61	91.04	91.43
525	90.49	91.09	90.69	91.15	91.54
525.5	90.57	91.15	90.81	91.26	91.64
526	90.66	91.22	90.91	91.33	91.69
526.5	90.75	91.32	91.00	91.41	91.71
527	90.83	91.37	91.08	91.42	91.74
527.5	90.95	91.41	91.14	91.46	91.77
528	91.05	91.45	91.22	91.48	91.76
528.5	91.10	91.48	91.25	91.53	91.78
529	91.21	91.52	91.33	91.61	91.85
529.5	91.29	91.58	91.41	91.70	91.92
530	91.35	91.70	91.52	91.82	92.01
530.5	91.44	91.76	91.59	91.89	92.09
531	91.49	91.85	91.67	91.98	92.18
531.5	91.55	91.95	91.76	92.03	92.28
532	91.65	92.05	91.83	92.12	92.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน

ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
532.5	91.71	92.12	91.90	92.23	92.43
533	91.81	92.20	92.00	92.31	92.47
533.5	91.89	92.25	92.05	92.39	92.49
534	91.97	92.30	92.14	92.47	92.51
534.5	92.07	92.35	92.18	92.54	92.56
535	92.16	92.41	92.29	92.59	92.63
535.5	92.20	92.49	92.37	92.66	92.74
536	92.27	92.54	92.46	92.71	92.84
536.5	92.31	92.58	92.54	92.74	92.92
537	92.36	92.64	92.62	92.77	92.97
537.5	92.45	92.66	92.66	92.81	92.96
538	92.53	92.71	92.68	92.86	92.93
538.5	92.59	92.76	92.71	92.91	92.94
539	92.66	92.81	92.73	92.97	92.95
539.5	92.69	92.87	92.79	93.09	93.02
540	92.72	92.94	92.85	93.15	93.11
540.5	92.76	93.01	92.93	93.23	93.20
541	92.80	93.09	93.04	93.33	93.29
541.5	92.86	93.08	93.10	93.34	93.33
542	92.92	93.13	93.17	93.38	93.36
542.5	93.03	93.21	93.23	93.43	93.39
543	93.15	93.29	93.27	93.48	93.44
543.5	93.24	93.36	93.34	93.56	93.52
544	93.29	93.40	93.37	93.59	93.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
544.5	93.35	93.45	93.45	93.63	93.56
545	93.42	93.50	93.49	93.67	93.61
545.5	93.46	93.57	93.55	93.69	93.67
546	93.50	93.58	93.58	93.71	93.69
546.5	93.55	93.62	93.66	93.78	93.74
547	93.57	93.63	93.68	93.82	93.79
547.5	93.63	93.66	93.71	93.89	93.80
548	93.68	93.70	93.73	93.98	93.83
548.5	93.74	93.68	93.78	94.02	93.83
549	93.80	93.67	93.82	94.05	93.83
549.5	93.85	93.69	93.83	94.07	93.82
550	93.86	93.75	93.89	94.06	93.84
550.5	93.88	93.78	93.93	94.09	93.88
551	93.89	93.82	93.95	94.10	93.92
551.5	93.88	93.91	94.02	94.15	93.96
552	93.91	93.97	94.06	94.20	93.96
552.5	93.93	94.01	94.09	94.20	93.97
553	93.99	94.05	94.13	94.23	93.98
553.5	94.05	94.06	94.18	94.23	94.00
554	94.09	94.09	94.21	94.26	94.05
554.5	94.16	94.09	94.22	94.26	94.07
555	94.15	94.09	94.22	94.30	94.09
555.5	94.17	94.14	94.28	94.38	94.16
556	94.19	94.17	94.31	94.44	94.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
556.5	94.24	94.19	94.34	94.48	94.25
557	94.28	94.22	94.37	94.49	94.29
557.5	94.33	94.21	94.39	94.50	94.28
558	94.38	94.21	94.40	94.48	94.27
558.5	94.43	94.27	94.43	94.52	94.29
559	94.45	94.31	94.43	94.56	94.30
559.5	94.45	94.34	94.46	94.63	94.32
560	94.48	94.38	94.51	94.66	94.33
560.5	94.48	94.38	94.55	94.66	94.32
561	94.50	94.36	94.58	94.65	94.35
561.5	94.58	94.35	94.59	94.60	94.36
562	94.60	94.30	94.58	94.53	94.33
562.5	94.65	94.34	94.62	94.58	94.38
563	94.66	94.35	94.64	94.62	94.38
563.5	94.67	94.41	94.69	94.71	94.44
564	94.68	94.44	94.71	94.79	94.47
564.5	94.69	94.44	94.71	94.82	94.48
565	94.67	94.45	94.75	94.80	94.48
565.5	94.75	94.48	94.76	94.77	94.46
566	94.77	94.49	94.71	94.72	94.46
566.5	94.82	94.50	94.71	94.72	94.45
567	94.83	94.53	94.72	94.73	94.49
567.5	94.85	94.57	94.75	94.79	94.50
568	94.87	94.59	94.81	94.86	94.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
568.5	94.90	94.63	94.88	94.92	94.56
569	94.90	94.62	94.93	94.94	94.55
569.5	94.92	94.64	94.97	94.99	94.57
570	94.92	94.63	94.98	94.97	94.58
570.5	94.95	94.64	94.98	94.96	94.62
571	94.97	94.62	94.93	94.95	94.64
571.5	94.99	94.62	94.88	94.91	94.64
572	95.00	94.65	94.89	94.90	94.66
572.5	95.01	94.68	94.92	94.91	94.67
573	94.99	94.70	94.96	94.92	94.64
573.5	94.96	94.69	94.96	94.93	94.61
574	94.92	94.70	94.96	94.97	94.62
574.5	94.89	94.66	94.92	94.98	94.60
575	94.91	94.61	94.92	95.00	94.62
575.5	94.93	94.62	94.90	94.97	94.64
576	95.00	94.69	94.95	94.99	94.68
576.5	95.08	94.74	95.00	95.00	94.72
577	95.11	94.80	95.07	95.02	94.74
577.5	95.15	94.80	95.11	95.01	94.73
578	95.15	94.78	95.10	95.02	94.75
578.5	95.11	94.74	95.05	95.00	94.73
579	95.09	94.68	95.00	94.99	94.74
579.5	95.08	94.65	94.98	95.02	94.74
580	95.05	94.65	94.98	95.00	94.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
580.5	95.03	94.67	94.98	94.97	94.72
581	95.04	94.75	95.01	94.99	94.72
581.5	95.05	94.79	95.05	95.02	94.72
582	95.10	94.76	95.09	95.04	94.70
582.5	95.13	94.76	95.12	95.07	94.69
583	95.16	94.74	95.11	95.07	94.67
583.5	95.17	94.71	95.10	95.07	94.66
584	95.14	94.72	95.11	95.08	94.66
584.5	95.12	94.72	95.11	95.08	94.67
585	95.11	94.74	95.11	95.08	94.70
585.5	95.10	94.78	95.11	95.05	94.70
586	95.09	94.79	95.11	95.05	94.74
586.5	95.11	94.80	95.14	95.09	94.76
587	95.10	94.80	95.19	95.12	94.78
587.5	95.10	94.79	95.17	95.11	94.80
588	95.10	94.77	95.13	95.08	94.75
588.5	95.09	94.77	95.11	95.09	94.75
589	95.09	94.75	95.09	95.07	94.72
589.5	95.10	94.80	95.13	95.09	94.74
590	95.13	94.81	95.10	95.06	94.71
590.5	95.17	94.80	95.11	95.06	94.69
591	95.17	94.80	95.12	95.06	94.70
591.5	95.14	94.81	95.11	95.06	94.71
592	95.11	94.79	95.12	95.07	94.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
592.5	95.09	94.80	95.12	95.09	94.74
593	95.06	94.80	95.10	95.10	94.74
593.5	95.07	94.78	95.08	95.10	94.71
594	95.09	94.77	95.09	95.08	94.70
594.5	95.12	94.78	95.08	95.06	94.72
595	95.18	94.79	95.08	95.04	94.70
595.5	95.19	94.77	95.09	95.04	94.69
596	95.19	94.77	95.09	95.03	94.70
596.5	95.18	94.78	95.09	95.05	94.73
597	95.17	94.77	95.06	95.01	94.72
597.5	95.12	94.74	95.06	95.01	94.67
598	95.08	94.74	95.09	95.02	94.67
598.5	95.07	94.72	95.08	95.00	94.64
599	95.07	94.72	95.12	95.02	94.66
599.5	95.09	94.72	95.15	95.05	94.71
600	95.08	94.76	95.19	95.08	94.78
600.5	95.10	94.77	95.19	95.09	94.79
601	95.08	94.76	95.15	95.07	94.78
601.5	95.08	94.76	95.13	95.07	94.78
602	95.11	94.76	95.09	95.04	94.76
602.5	95.08	94.72	95.04	95.00	94.69
603	95.05	94.72	95.04	94.99	94.65
603.5	95.05	94.74	95.03	95.00	94.65
604	95.04	94.75	95.00	95.03	94.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
604.5	95.03	94.71	94.98	95.06	94.67
605	94.99	94.72	95.02	95.08	94.68
605.5	95.01	94.73	95.00	95.06	94.67
606	94.98	94.76	95.03	95.04	94.69
606.5	95.02	94.75	95.04	95.02	94.70
607	95.02	94.75	95.04	94.99	94.72
607.5	95.02	94.75	95.04	94.97	94.73
608	94.99	94.70	95.00	94.93	94.66
608.5	94.99	94.67	95.00	94.94	94.65
609	95.00	94.66	95.02	94.98	94.63
609.5	95.02	94.69	95.03	95.04	94.62
610	95.01	94.70	95.06	95.09	94.66
610.5	95.02	94.69	95.06	95.05	94.65
611	95.02	94.73	95.05	95.06	94.67
611.5	95.03	94.71	95.02	95.02	94.69
612	95.03	94.65	95.00	94.99	94.64
612.5	95.03	94.64	95.00	94.96	94.61
613	95.03	94.64	95.00	94.98	94.59
613.5	95.07	94.66	95.03	94.99	94.60
614	95.09	94.69	95.05	95.02	94.62
614.5	95.06	94.72	95.07	95.03	94.65
615	95.04	94.73	95.08	95.02	94.67
615.5	95.06	94.73	95.07	94.99	94.73
616	95.04	94.71	94.99	94.94	94.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
616.5	95.08	94.71	94.95	94.92	94.70
617	95.06	94.72	94.93	94.92	94.68
617.5	95.07	94.73	94.93	94.90	94.63
618	95.07	94.75	94.94	94.93	94.62
618.5	95.05	94.78	94.97	94.97	94.63
619	95.02	94.77	94.99	94.97	94.62
619.5	94.99	94.76	95.05	94.96	94.63
620	94.95	94.71	95.05	94.98	94.64
620.5	94.93	94.72	95.05	94.99	94.63
621	94.92	94.68	95.03	94.98	94.63
621.5	94.89	94.65	94.96	94.92	94.58
622	94.87	94.63	94.93	94.86	94.53
622.5	94.88	94.64	94.93	94.85	94.54
623	94.90	94.66	94.92	94.83	94.55
623.5	94.93	94.63	94.90	94.83	94.56
624	94.94	94.64	94.91	94.86	94.57
624.5	94.99	94.67	94.94	94.92	94.63
625	94.99	94.65	94.94	94.94	94.64
625.5	95.00	94.64	94.94	94.97	94.65
626	94.99	94.64	94.95	94.94	94.62
626.5	94.98	94.62	94.95	94.91	94.61
627	94.98	94.60	94.96	94.88	94.63
627.5	94.99	94.61	94.94	94.86	94.59
628	94.99	94.63	94.95	94.87	94.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
628.5	95.02	94.68	94.96	94.87	94.60
629	95.03	94.67	94.92	94.85	94.56
629.5	94.97	94.63	94.91	94.83	94.54
630	94.96	94.63	94.93	94.85	94.57
630.5	94.95	94.63	94.96	94.90	94.61
631	94.95	94.63	94.97	94.92	94.62
631.5	94.94	94.67	94.99	94.99	94.68
632	94.93	94.71	95.01	95.03	94.73
632.5	94.90	94.73	95.01	95.06	94.77
633	94.89	94.74	94.98	95.04	94.74
633.5	94.90	94.72	94.94	95.00	94.69
634	94.93	94.69	94.93	94.92	94.66
634.5	94.96	94.59	94.88	94.83	94.60
635	94.97	94.58	94.89	94.82	94.59
635.5	95.01	94.60	94.95	94.83	94.59
636	95.04	94.59	94.99	94.85	94.58
636.5	94.98	94.54	94.98	94.82	94.57
637	94.93	94.53	94.98	94.81	94.55
637.5	94.90	94.54	94.98	94.83	94.55
638	94.88	94.56	94.93	94.83	94.52
638.5	94.87	94.58	94.87	94.85	94.52
639	94.89	94.63	94.84	94.86	94.55
639.5	94.92	94.63	94.84	94.87	94.58
640	94.88	94.63	94.84	94.91	94.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
640.5	94.88	94.64	94.89	94.97	94.62
641	94.87	94.62	94.95	94.96	94.62
641.5	94.87	94.57	94.95	94.92	94.60
642	94.86	94.60	94.95	94.91	94.58
642.5	94.88	94.60	94.93	94.89	94.59
643	94.89	94.64	94.92	94.91	94.60
643.5	94.88	94.66	94.90	94.93	94.61
644	94.87	94.67	94.90	94.90	94.61
644.5	94.86	94.64	94.89	94.88	94.62
645	94.86	94.63	94.88	94.84	94.59
645.5	94.83	94.63	94.90	94.83	94.58
646	94.82	94.67	94.95	94.83	94.58
646.5	94.84	94.67	94.96	94.84	94.56
647	94.84	94.66	94.92	94.84	94.52
647.5	94.88	94.65	94.89	94.85	94.52
648	94.90	94.62	94.88	94.83	94.48
648.5	94.92	94.59	94.84	94.82	94.46
649	94.90	94.59	94.82	94.82	94.49
649.5	94.87	94.55	94.82	94.78	94.54
650	94.86	94.55	94.82	94.77	94.59
650.5	94.84	94.58	94.87	94.81	94.59
651	94.82	94.63	94.95	94.82	94.59
651.5	94.84	94.65	94.96	94.87	94.58
652	94.86	94.65	94.95	94.90	94.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
652.5	94.90	94.67	94.93	94.91	94.52
653	94.90	94.70	94.95	94.94	94.55
653.5	94.86	94.73	94.94	94.98	94.60
654	94.83	94.73	94.90	94.99	94.61
654.5	94.81	94.69	94.87	94.96	94.64
655	94.79	94.65	94.86	94.91	94.61
655.5	94.79	94.60	94.83	94.88	94.58
656	94.82	94.59	94.83	94.88	94.58
656.5	94.81	94.57	94.82	94.87	94.54
657	94.85	94.57	94.81	94.87	94.54
657.5	94.88	94.55	94.81	94.86	94.50
658	94.84	94.57	94.86	94.86	94.50
658.5	94.86	94.56	94.89	94.86	94.51
659	94.84	94.52	94.88	94.84	94.51
659.5	94.86	94.52	94.90	94.80	94.52
660	94.84	94.51	94.92	94.77	94.55
660.5	94.84	94.56	94.91	94.78	94.60
661	94.84	94.60	94.94	94.80	94.64
661.5	94.83	94.65	94.96	94.82	94.66
662	94.85	94.67	94.96	94.85	94.65
662.5	94.87	94.71	95.00	94.86	94.66
663	94.89	94.75	95.04	94.89	94.66
663.5	94.90	94.71	95.04	94.92	94.64
664	94.93	94.71	95.02	94.92	94.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
664.5	94.97	94.68	94.96	94.89	94.61
665	94.99	94.69	94.94	94.88	94.59
665.5	95.02	94.70	94.88	94.88	94.60
666	94.98	94.68	94.87	94.86	94.59
666.5	94.93	94.70	94.89	94.89	94.60
667	94.88	94.69	94.89	94.90	94.60
667.5	94.85	94.63	94.84	94.88	94.55
668	94.80	94.59	94.85	94.90	94.54
668.5	94.80	94.55	94.86	94.89	94.55
669	94.84	94.53	94.85	94.91	94.59
669.5	94.89	94.55	94.85	94.89	94.61
670	94.90	94.63	94.89	94.90	94.65
670.5	94.94	94.65	94.94	94.90	94.63
671	94.94	94.67	94.94	94.92	94.61
671.5	94.93	94.67	94.96	94.93	94.60
672	94.89	94.66	94.94	94.92	94.57
672.5	94.89	94.65	94.88	94.90	94.53
673	94.84	94.62	94.87	94.84	94.51
673.5	94.83	94.65	94.90	94.87	94.51
674	94.87	94.63	94.91	94.88	94.55
674.5	94.91	94.61	94.90	94.84	94.55
675	94.91	94.60	94.88	94.85	94.54
675.5	94.93	94.57	94.88	94.84	94.53
676	94.96	94.60	94.88	94.85	94.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน

ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
676.5	94.94	94.63	94.86	94.83	94.56
677	94.88	94.69	94.88	94.81	94.58
677.5	94.84	94.71	94.90	94.79	94.53
678	94.84	94.73	94.94	94.80	94.52
678.5	94.84	94.76	95.00	94.85	94.57
679	94.83	94.77	94.99	94.91	94.62
679.5	94.85	94.74	94.98	94.93	94.64
680	94.85	94.68	94.96	94.91	94.62
680.5	94.88	94.69	94.96	94.94	94.62
681	94.87	94.67	94.93	94.89	94.64
681.5	94.86	94.67	94.93	94.85	94.63
682	94.84	94.66	94.96	94.87	94.63
682.5	94.81	94.62	94.98	94.86	94.60
683	94.83	94.60	94.97	94.86	94.58
683.5	94.86	94.63	94.96	94.89	94.62
684	94.82	94.63	94.96	94.92	94.62
684.5	94.85	94.61	94.93	94.96	94.60
685	94.90	94.59	94.93	94.92	94.57
685.5	94.92	94.59	94.91	94.91	94.56
686	94.94	94.64	94.89	94.92	94.60
686.5	94.94	94.64	94.88	94.90	94.61
687	94.98	94.63	94.91	94.90	94.57
687.5	95.00	94.66	94.99	94.97	94.58
688	94.99	94.69	95.02	94.97	94.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
688.5	94.96	94.69	95.01	94.93	94.62
689	94.95	94.71	95.02	94.93	94.62
689.5	94.89	94.72	95.02	94.92	94.60
690	94.87	94.73	95.01	94.89	94.65
690.5	94.87	94.74	95.00	94.86	94.69
691	94.83	94.72	94.98	94.85	94.64
691.5	94.88	94.75	95.01	94.93	94.67
692	94.91	94.75	95.05	94.96	94.64
692.5	94.93	94.76	95.10	94.99	94.64
693	94.93	94.76	95.07	94.99	94.64
693.5	94.95	94.72	95.00	94.92	94.62
694	94.97	94.66	94.90	94.86	94.59
694.5	94.93	94.67	94.89	94.89	94.61
695	94.91	94.68	94.90	94.90	94.65
695.5	94.86	94.66	94.90	94.91	94.66
696	94.85	94.64	94.89	94.95	94.63
696.5	94.86	94.66	94.93	95.03	94.61
697	94.92	94.67	94.95	95.05	94.64
697.5	94.93	94.65	94.96	95.04	94.62
698	94.91	94.61	94.95	94.97	94.56
698.5	94.89	94.61	94.93	94.92	94.57
699	94.87	94.56	94.89	94.86	94.53
699.5	94.82	94.62	94.94	94.84	94.59
700	94.81	94.65	94.92	94.88	94.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน

ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
700.5	94.81	94.66	94.90	94.88	94.56
701	94.87	94.63	94.84	94.85	94.53
701.5	94.92	94.63	94.82	94.86	94.53
702	94.96	94.61	94.84	94.89	94.53
702.5	94.97	94.57	94.87	94.86	94.50
703	94.93	94.57	94.91	94.86	94.50
703.5	94.89	94.60	94.96	94.88	94.51
704	94.92	94.61	94.95	94.88	94.56
704.5	94.94	94.61	94.92	94.85	94.58
705	94.96	94.63	94.96	94.90	94.64
705.5	95.01	94.67	95.00	94.93	94.67
706	95.03	94.66	95.02	94.91	94.67
706.5	95.06	94.64	95.05	94.87	94.67
707	95.07	94.62	95.09	94.91	94.65
707.5	95.01	94.59	95.07	94.89	94.60
708	95.01	94.53	95.01	94.84	94.54
708.5	95.01	94.49	94.93	94.79	94.49
709	94.97	94.50	94.88	94.80	94.50
709.5	94.95	94.51	94.87	94.81	94.49
710	94.91	94.57	94.87	94.85	94.49
710.5	94.87	94.64	94.91	94.92	94.50
711	94.91	94.66	94.92	95.00	94.56
711.5	94.89	94.66	94.94	94.98	94.57
712	94.88	94.62	94.94	94.97	94.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
712.5	94.89	94.58	94.97	94.92	94.59
713	94.91	94.58	95.02	94.86	94.61
713.5	95.00	94.58	95.01	94.85	94.58
714	94.99	94.59	95.07	94.85	94.54
714.5	94.97	94.63	95.06	94.84	94.56
715	94.98	94.65	95.03	94.85	94.55
715.5	94.93	94.64	94.95	94.84	94.54
716	94.87	94.68	94.88	94.89	94.59
716.5	94.86	94.72	94.92	94.94	94.65
717	94.89	94.69	94.87	94.97	94.63
717.5	94.95	94.67	94.89	94.96	94.61
718	94.98	94.62	94.94	94.96	94.57
718.5	94.96	94.59	94.99	94.96	94.56
719	94.96	94.62	95.05	94.98	94.57
719.5	94.86	94.66	95.10	94.99	94.61
720	94.81	94.66	95.14	94.95	94.63
720.5	94.81	94.67	95.13	94.98	94.63
721	94.74	94.64	95.06	94.96	94.58
721.5	94.76	94.57	94.96	94.93	94.54
722	94.87	94.54	94.93	94.92	94.50
722.5	94.92	94.48	94.85	94.89	94.46
723	94.95	94.48	94.85	94.88	94.44
723.5	94.92	94.54	94.88	94.87	94.48
724	94.92	94.67	94.93	94.95	94.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
724.5	94.95	94.78	95.02	95.04	94.66
725	94.93	94.82	95.06	95.07	94.70
725.5	94.92	94.77	95.00	95.02	94.65
726	94.90	94.72	94.99	94.98	94.61
726.5	94.91	94.68	94.91	94.94	94.59
727	94.89	94.61	94.87	94.86	94.54
727.5	94.95	94.59	94.89	94.85	94.54
728	94.96	94.55	94.85	94.78	94.51
728.5	94.92	94.55	94.86	94.79	94.48
729	94.88	94.62	94.88	94.83	94.51
729.5	94.87	94.68	94.89	94.88	94.55
730	94.89	94.66	94.93	94.89	94.50
730.5	94.95	94.59	94.88	94.84	94.47
731	95.00	94.57	94.87	94.81	94.43
731.5	95.01	94.58	94.92	94.82	94.47
732	95.05	94.54	94.92	94.81	94.52
732.5	95.04	94.53	94.88	94.81	94.55
733	95.00	94.54	94.88	94.76	94.54
733.5	95.00	94.53	94.81	94.76	94.53
734	94.93	94.56	94.81	94.78	94.51
734.5	94.90	94.62	94.80	94.84	94.52
735	94.94	94.55	94.76	94.77	94.46
735.5	94.95	94.53	94.76	94.73	94.40
736	94.91	94.53	94.75	94.70	94.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
736.5	94.91	94.54	94.76	94.72	94.38
737	94.92	94.51	94.78	94.78	94.40
737.5	94.94	94.53	94.82	94.87	94.49
738	94.93	94.53	94.88	94.89	94.53
738.5	94.92	94.59	94.97	94.93	94.57
739	94.92	94.58	95.04	94.91	94.61
739.5	94.85	94.54	95.07	94.90	94.62
740	94.83	94.49	95.01	94.80	94.55
740.5	94.85	94.47	94.92	94.74	94.47
741	94.91	94.45	94.89	94.74	94.48
741.5	94.90	94.49	94.81	94.76	94.49
742	94.96	94.47	94.75	94.76	94.47
742.5	94.95	94.47	94.71	94.74	94.46
743	94.92	94.51	94.73	94.65	94.39
743.5	94.96	94.50	94.73	94.56	94.36
744	94.99	94.44	94.72	94.53	94.33
744.5	94.98	94.49	94.71	94.60	94.33
745	94.95	94.44	94.70	94.65	94.31
745.5	94.94	94.45	94.66	94.71	94.28
746	94.88	94.48	94.69	94.79	94.37
746.5	94.83	94.47	94.71	94.84	94.45
747	94.72	94.47	94.68	94.85	94.48
747.5	94.67	94.45	94.67	94.79	94.42
748	94.72	94.49	94.76	94.79	94.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
748.5	94.71	94.45	94.75	94.73	94.42
749	94.78	94.44	94.72	94.72	94.35
749.5	94.78	94.46	94.74	94.78	94.34
750	94.75	94.47	94.73	94.75	94.27
750.5	94.78	94.48	94.73	94.73	94.30
751	94.76	94.45	94.70	94.72	94.34
751.5	94.79	94.49	94.72	94.78	94.43
752	94.80	94.45	94.77	94.80	94.45
752.5	94.74	94.43	94.76	94.75	94.40
753	94.72	94.42	94.82	94.74	94.44
753.5	94.72	94.43	94.84	94.70	94.46
754	94.66	94.43	94.77	94.69	94.46
754.5	94.67	94.46	94.74	94.65	94.45
755	94.70	94.54	94.77	94.66	94.52
755.5	94.69	94.50	94.71	94.62	94.44
756	94.75	94.46	94.64	94.54	94.37
756.5	94.72	94.36	94.58	94.52	94.29
757	94.75	94.25	94.58	94.45	94.19
757.5	94.75	94.17	94.58	94.41	94.12
758	94.74	94.15	94.55	94.39	94.12
758.5	94.72	94.17	94.52	94.39	94.17
759	94.70	94.23	94.54	94.45	94.21
759.5	94.66	94.27	94.51	94.48	94.20
760	94.67	94.28	94.51	94.55	94.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
760.5	94.66	94.34	94.48	94.55	94.23
761	94.68	94.36	94.44	94.53	94.20
761.5	94.68	94.42	94.48	94.55	94.27
762	94.70	94.46	94.51	94.54	94.28
762.5	94.72	94.39	94.51	94.53	94.24
763	94.78	94.43	94.54	94.57	94.30
763.5	94.71	94.35	94.54	94.60	94.32
764	94.67	94.33	94.60	94.59	94.32
764.5	94.60	94.24	94.58	94.58	94.25
765	94.57	94.21	94.58	94.58	94.24
765.5	94.53	94.21	94.54	94.61	94.21
766	94.50	94.30	94.63	94.66	94.28
766.5	94.50	94.30	94.61	94.67	94.26
767	94.53	94.29	94.61	94.65	94.26
767.5	94.58	94.25	94.56	94.56	94.28
768	94.64	94.19	94.52	94.49	94.23
768.5	94.61	94.19	94.51	94.48	94.23
769	94.61	94.17	94.47	94.40	94.14
769.5	94.62	94.10	94.42	94.28	94.04
770	94.56	94.22	94.45	94.33	94.03
770.5	94.48	94.17	94.42	94.31	93.96
771	94.46	94.22	94.47	94.30	93.98
771.5	94.50	94.28	94.55	94.34	94.08
772	94.53	94.26	94.57	94.33	94.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน

ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
772.5	94.62	94.27	94.54	94.33	94.14
773	94.64	94.27	94.61	94.39	94.21
773.5	94.61	94.17	94.53	94.41	94.11
774	94.66	94.12	94.44	94.38	94.03
774.5	94.60	94.09	94.40	94.31	94.00
775	94.54	94.16	94.44	94.38	94.07
775.5	94.55	94.28	94.51	94.50	94.13
776	94.63	94.32	94.58	94.51	94.16
776.5	94.69	94.31	94.61	94.51	94.19
777	94.68	94.33	94.63	94.56	94.19
777.5	94.66	94.20	94.50	94.49	94.10
778	94.59	94.06	94.37	94.39	93.96
778.5	94.51	94.09	94.32	94.37	93.96
779	94.40	94.10	94.27	94.33	93.95
779.5	94.37	94.17	94.25	94.28	93.96
780	94.30	94.27	94.30	94.37	94.08
780.5	94.22	94.33	94.38	94.44	94.18
781	94.27	94.32	94.42	94.45	94.18
781.5	94.25	94.27	94.44	94.36	94.16
782	94.25	94.19	94.41	94.24	94.10
782.5	94.30	94.18	94.39	94.20	94.08
783	94.40	94.14	94.31	94.11	94.04
783.5	94.44	94.11	94.25	94.13	94.04
784	94.44	94.09	94.21	94.16	93.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
784.5	94.47	94.09	94.19	94.15	93.98
785	94.48	94.00	94.11	94.16	93.89
785.5	94.46	93.97	94.18	94.22	93.89
786	94.38	94.03	94.28	94.27	93.92
786.5	94.37	94.01	94.34	94.20	93.84
787	94.37	93.98	94.30	94.18	93.83
787.5	94.37	94.04	94.27	94.24	93.89
788	94.36	94.01	94.20	94.27	93.90
788.5	94.36	93.93	94.14	94.27	93.89
789	94.34	93.86	94.10	94.25	93.83
789.5	94.32	93.90	94.12	94.26	93.88
790	94.31	93.94	94.16	94.23	93.95
790.5	94.28	94.04	94.21	94.24	94.03
791	94.25	94.04	94.17	94.24	94.00
791.5	94.17	94.10	94.21	94.20	93.99
792	94.22	94.09	94.14	94.13	93.95
792.5	94.26	94.03	94.13	94.08	93.93
793	94.32	93.94	94.13	93.99	93.88
793.5	94.47	93.79	94.08	93.91	93.78
794	94.52	93.66	93.96	93.86	93.69
794.5	94.53	93.70	93.96	93.94	93.67
795	94.50	93.72	93.88	93.91	93.62
795.5	94.45	93.75	93.86	93.97	93.59
796	94.35	93.80	93.90	94.06	93.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
796.5	94.25	93.86	93.94	94.12	93.61
797	94.17	93.95	94.02	94.14	93.71
797.5	94.07	94.02	94.06	94.05	93.83
798	94.08	93.91	94.03	93.95	93.83
798.5	94.06	93.85	94.01	93.89	93.79
799	94.07	93.73	93.93	93.78	93.67
799.5	94.07	93.70	93.91	93.85	93.60
800	94.12	93.74	94.01	93.93	93.55
800.5	94.21	93.74	94.03	94.00	93.58
801	94.22	93.81	94.06	94.06	93.65
801.5	94.28	93.87	94.14	94.16	93.75
802	94.22	93.92	94.14	94.11	93.87
802.5	94.23	93.90	94.10	94.05	93.98
803	94.25	93.84	94.01	93.95	93.95
803.5	94.11	93.67	93.98	93.91	93.89
804	94.07	93.60	93.95	93.88	93.80
804.5	93.96	93.56	93.89	93.85	93.76
805	93.92	93.53	93.94	93.82	93.71
805.5	93.93	93.50	93.89	93.78	93.66
806	93.88	93.49	93.82	93.67	93.55
806.5	93.85	93.56	93.84	93.71	93.58
807	93.97	93.60	93.89	93.82	93.59
807.5	94.07	93.70	93.94	93.87	93.70
808	94.11	93.79	93.96	93.89	93.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
808.5	94.18	93.77	93.99	93.85	93.72
809	94.08	93.77	94.04	93.83	93.80
809.5	94.11	93.85	94.05	93.81	93.85
810	94.12	93.87	94.00	93.73	93.83
810.5	94.02	93.80	93.93	93.71	93.76
811	94.03	93.78	93.80	93.74	93.67
811.5	93.96	93.74	93.75	93.82	93.66
812	93.82	93.64	93.74	93.80	93.61
812.5	93.83	93.55	93.71	93.80	93.58
813	93.79	93.53	93.73	93.84	93.63
813.5	93.77	93.51	93.71	93.76	93.63
814	93.77	93.32	93.65	93.73	93.56
814.5	93.79	93.36	93.66	93.69	93.54
815	93.79	93.46	93.70	93.66	93.50
815.5	93.81	93.52	93.77	93.54	93.48
816	93.86	93.57	93.84	93.51	93.47
816.5	93.91	93.66	93.87	93.53	93.49
817	93.87	93.60	93.85	93.45	93.52
817.5	93.85	93.58	93.85	93.46	93.56
818	93.85	93.59	93.84	93.57	93.67
818.5	93.87	93.62	93.89	93.73	93.75
819	93.81	93.52	93.83	93.74	93.67
819.5	93.81	93.49	93.80	93.67	93.52
820	93.75	93.50	93.84	93.63	93.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
820.5	93.74	93.51	93.81	93.50	93.42
821	93.74	93.36	93.68	93.42	93.33
821.5	93.79	93.33	93.55	93.44	93.31
822	93.69	93.33	93.43	93.45	93.37
822.5	93.60	93.36	93.42	93.45	93.48
823	93.51	93.41	93.45	93.49	93.49
823.5	93.38	93.55	93.59	93.58	93.54
824	93.38	93.52	93.61	93.59	93.47
824.5	93.52	93.46	93.57	93.56	93.37
825	93.61	93.43	93.67	93.60	93.41
825.5	93.65	93.36	93.68	93.57	93.38
826	93.69	93.31	93.67	93.67	93.43
826.5	93.76	93.31	93.68	93.73	93.50
827	93.81	93.27	93.63	93.74	93.39
827.5	93.75	93.23	93.53	93.67	93.40
828	93.73	93.11	93.45	93.51	93.27
828.5	93.67	93.06	93.39	93.40	93.21
829	93.66	93.07	93.31	93.39	93.16
829.5	93.76	93.11	93.35	93.37	93.22
830	93.83	93.20	93.39	93.42	93.26
830.5	93.79	93.33	93.53	93.57	93.39
831	93.78	93.38	93.59	93.56	93.45
831.5	93.87	93.40	93.55	93.58	93.41
832	93.87	93.41	93.55	93.59	93.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
832.5	93.82	93.34	93.42	93.53	93.25
833	93.68	93.17	93.26	93.42	93.14
833.5	93.66	93.14	93.34	93.32	93.22
834	93.68	93.10	93.35	93.32	93.22
834.5	93.64	93.09	93.28	93.23	93.18
835	93.60	93.13	93.32	93.26	93.26
835.5	93.54	93.17	93.38	93.25	93.43
836	93.50	93.16	93.28	93.27	93.39
836.5	93.47	93.12	93.18	93.12	93.27
837	93.35	93.31	93.33	93.27	93.38
837.5	93.35	93.35	93.41	93.37	93.33
838	93.30	93.31	93.42	93.36	93.23
838.5	93.43	93.35	93.38	93.39	93.15
839	93.39	93.25	93.35	93.32	93.04
839.5	93.62	93.20	93.23	93.38	92.96
840	93.53	93.09	93.05	93.35	92.82
840.5	93.55	93.20	93.15	93.43	93.01
841	93.68	93.25	93.20	93.39	93.22
841.5	93.67	93.42	93.39	93.37	93.40
842	93.68	93.62	93.66	93.58	93.68
842.5	93.62	93.70	93.87	93.59	93.87
843	93.72	93.61	93.86	93.46	93.73
843.5	93.65	93.33	93.63	93.18	93.42
844	93.56	93.20	93.55	93.10	93.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.3 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองด้วยวิธีส่วน
ประสมกลาง (Run 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
844.5	93.62	93.05	93.44	93.04	93.31
845	93.63	92.97	93.32	93.18	93.22
845.5	93.58	93.01	93.15	93.30	93.22
846	93.43	93.10	93.11	93.38	93.23
846.5	93.60	93.33	93.15	93.62	93.29
847	93.54	93.41	93.15	93.72	93.16
847.5	93.48	93.40	93.19	93.80	93.11
848	93.47	93.20	93.07	93.53	92.91
848.5	93.37	93.05	93.09	93.34	92.86
849	93.39	92.96	93.12	93.28	92.94
849.5	93.28	92.91	93.13	93.23	93.07
850	93.40	92.93	93.18	93.21	93.11

ภาคผนวก ค.4 ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล (ครั้งที่
1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
420	88.09	87.04	87.37	87.76	87.93
420.5	88.57	87.63	87.87	88.26	88.46
421	89.09	88.16	88.32	88.68	88.92
421.5	89.53	88.61	88.78	89.12	89.36
422	89.97	89.09	89.20	89.61	89.71
422.5	90.35	89.60	89.63	90.11	90.17
423	90.70	89.99	90.07	90.61	90.59
423.5	91.07	90.37	90.47	91.04	91.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
424	91.42	90.76	90.86	91.41	91.38
424.5	91.83	91.12	91.32	91.76	91.75
425	92.25	91.57	91.72	92.11	92.15
425.5	92.56	92.08	92.26	92.45	92.57
426	92.86	92.44	92.67	92.72	92.89
426.5	93.16	92.71	92.95	92.95	93.09
427	93.40	92.91	93.15	93.12	93.26
427.5	93.50	93.05	93.27	93.29	93.41
428	93.70	93.21	93.34	93.46	93.50
428.5	93.84	93.41	93.53	93.66	93.69
429	94.02	93.67	93.73	93.90	93.88
429.5	94.15	93.98	93.96	94.13	94.08
430	94.37	94.24	94.17	94.32	94.26
430.5	94.60	94.41	94.31	94.47	94.38
431	94.63	94.54	94.44	94.53	94.46
431.5	94.71	94.49	94.47	94.51	94.41
432	94.68	94.46	94.42	94.50	94.34
432.5	94.61	94.45	94.38	94.44	94.27
433	94.54	94.44	94.43	94.40	94.24
433.5	94.52	94.43	94.45	94.44	94.21
434	94.55	94.48	94.54	94.52	94.28
434.5	94.59	94.47	94.59	94.54	94.38
435	94.64	94.44	94.50	94.52	94.33
435.5	94.61	94.41	94.48	94.47	94.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
436	94.52	94.36	94.40	94.36	94.12
436.5	94.40	94.24	94.29	94.22	93.95
437	94.27	94.15	94.21	94.05	93.81
437.5	94.18	94.01	93.99	93.89	93.63
438	94.03	93.85	93.81	93.71	93.43
438.5	93.98	93.65	93.67	93.53	93.27
439	93.80	93.54	93.61	93.46	93.16
439.5	93.64	93.44	93.45	93.34	93.02
440	93.44	93.37	93.32	93.19	92.92
440.5	93.23	93.21	93.14	92.99	92.73
441	92.99	93.01	92.96	92.76	92.51
441.5	92.87	92.82	92.77	92.58	92.38
442	92.72	92.58	92.52	92.37	92.19
442.5	92.52	92.38	92.27	92.19	91.98
443	92.28	92.17	92.04	91.97	91.80
443.5	92.10	91.92	91.82	91.74	91.58
444	91.93	91.74	91.65	91.58	91.39
444.5	91.73	91.57	91.43	91.42	91.22
445	91.53	91.38	91.20	91.23	90.98
445.5	91.35	91.11	90.92	90.95	90.69
446	91.16	90.90	90.74	90.75	90.46
446.5	90.95	90.71	90.55	90.58	90.23
447	90.72	90.55	90.34	90.41	90.02
447.5	90.50	90.32	90.16	90.17	89.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
448	90.30	90.07	89.90	89.91	89.57
448.5	90.15	89.88	89.64	89.68	89.37
449	89.98	89.64	89.38	89.43	89.10
449.5	89.84	89.45	89.10	89.25	88.92
450	89.67	89.18	88.84	89.04	88.68
450.5	89.44	88.92	88.61	88.79	88.44
451	89.26	88.70	88.40	88.59	88.24
451.5	89.07	88.49	88.24	88.42	88.03
452	88.87	88.25	88.02	88.20	87.82
452.5	88.63	88.00	87.79	87.88	87.60
453	88.46	87.76	87.58	87.63	87.43
453.5	88.23	87.57	87.35	87.40	87.28
454	88.03	87.37	87.16	87.22	87.11
454.5	87.84	87.17	87.03	87.03	86.99
455	87.64	86.96	86.86	86.87	86.84
455.5	87.41	86.77	86.64	86.70	86.66
456	87.21	86.59	86.45	86.57	86.44
456.5	87.06	86.43	86.22	86.46	86.26
457	86.90	86.26	85.96	86.30	86.01
457.5	86.74	86.09	85.73	86.11	85.80
458	86.55	85.92	85.56	85.94	85.62
458.5	86.43	85.75	85.43	85.77	85.45
459	86.32	85.56	85.28	85.61	85.28
459.5	86.19	85.40	85.20	85.41	85.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
460	86.08	85.16	85.06	85.19	84.98
460.5	85.92	84.94	84.86	84.96	84.79
461	85.78	84.78	84.67	84.84	84.63
461.5	85.67	84.63	84.48	84.75	84.47
462	85.47	84.50	84.29	84.63	84.31
462.5	85.29	84.38	84.08	84.50	84.20
463	85.18	84.24	83.91	84.36	84.06
463.5	85.10	84.09	83.78	84.24	84.00
464	85.00	83.97	83.65	84.10	83.88
464.5	84.90	83.86	83.54	83.96	83.78
465	84.81	83.76	83.47	83.84	83.66
465.5	84.73	83.64	83.40	83.71	83.52
466	84.65	83.53	83.33	83.67	83.41
466.5	84.56	83.43	83.26	83.58	83.31
467	84.43	83.29	83.09	83.49	83.22
467.5	84.30	83.14	82.91	83.35	83.12
468	84.19	83.02	82.77	83.23	83.04
468.5	84.12	82.95	82.68	83.12	82.97
469	84.00	82.89	82.61	83.06	82.87
469.5	83.92	82.86	82.57	82.98	82.82
470	83.93	82.80	82.53	82.91	82.76
470.5	83.93	82.76	82.53	82.84	82.72
471	83.90	82.70	82.51	82.80	82.70
471.5	83.81	82.66	82.43	82.77	82.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
472	83.74	82.62	82.33	82.72	82.66
472.5	83.65	82.53	82.23	82.66	82.59
473	83.59	82.46	82.18	82.64	82.54
473.5	83.56	82.37	82.12	82.56	82.45
474	83.52	82.30	82.04	82.50	82.36
474.5	83.55	82.27	82.03	82.47	82.32
475	83.57	82.23	82.00	82.40	82.29
475.5	83.59	82.24	82.02	82.38	82.28
476	83.59	82.26	82.02	82.40	82.26
476.5	83.59	82.24	81.97	82.39	82.24
477	83.59	82.19	81.89	82.41	82.22
477.5	83.57	82.18	81.86	82.41	82.21
478	83.53	82.12	81.83	82.43	82.20
478.5	83.53	82.11	81.78	82.43	82.18
479	83.53	82.12	81.78	82.43	82.18
479.5	83.54	82.10	81.77	82.40	82.17
480	83.52	82.09	81.79	82.38	82.20
480.5	83.53	82.07	81.84	82.37	82.24
481	83.53	82.02	81.81	82.36	82.24
481.5	83.57	81.98	81.84	82.36	82.25
482	83.60	81.97	81.85	82.35	82.29
482.5	83.61	81.97	81.86	82.37	82.30
483	83.64	82.04	81.91	82.45	82.36
483.5	83.73	82.11	81.96	82.50	82.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
484	83.78	82.20	81.97	82.56	82.45
484.5	83.80	82.29	82.00	82.63	82.51
485	83.83	82.32	82.03	82.68	82.54
485.5	83.87	82.38	82.07	82.74	82.57
486	83.92	82.43	82.13	82.77	82.61
486.5	83.97	82.44	82.19	82.84	82.67
487	84.00	82.45	82.23	82.88	82.74
487.5	84.03	82.51	82.34	82.94	82.88
488	84.06	82.55	82.38	83.03	82.97
488.5	84.11	82.61	82.42	83.10	83.03
489	84.14	82.68	82.51	83.18	83.10
489.5	84.20	82.74	82.53	83.20	83.11
490	84.27	82.84	82.58	83.27	83.16
490.5	84.40	82.84	82.56	83.25	83.15
491	84.49	82.89	82.60	83.27	83.23
491.5	84.52	82.95	82.68	83.33	83.30
492	84.58	82.99	82.75	83.39	83.38
492.5	84.64	83.06	82.84	83.48	83.45
493	84.71	83.12	82.92	83.54	83.47
493.5	84.74	83.18	82.99	83.65	83.51
494	84.82	83.21	83.03	83.73	83.53
494.5	84.88	83.28	83.11	83.78	83.62
495	84.97	83.35	83.19	83.85	83.76
495.5	85.07	83.44	83.26	83.91	83.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
496	85.13	83.53	83.39	84.02	84.05
496.5	85.17	83.63	83.48	84.07	84.14
497	85.22	83.77	83.63	84.21	84.26
497.5	85.35	83.84	83.67	84.27	84.30
498	85.45	83.92	83.70	84.35	84.34
498.5	85.54	83.98	83.77	84.44	84.36
499	85.63	84.11	83.87	84.58	84.52
499.5	85.71	84.19	83.97	84.67	84.63
500	85.82	84.29	84.11	84.75	84.73
500.5	85.91	84.40	84.26	84.84	84.84
501	86.00	84.47	84.36	84.91	84.90
501.5	86.06	84.55	84.48	84.98	84.97
502	86.13	84.64	84.56	85.05	85.03
502.5	86.21	84.74	84.65	85.17	85.12
503	86.35	84.87	84.76	85.32	85.26
503.5	86.44	84.96	84.83	85.44	85.37
504	86.53	85.09	84.97	85.59	85.54
504.5	86.66	85.20	85.06	85.70	85.67
505	86.77	85.28	85.14	85.78	85.74
505.5	86.87	85.37	85.24	85.86	85.78
506	86.95	85.46	85.34	85.93	85.89
506.5	87.02	85.53	85.42	86.03	85.96
507	87.06	85.61	85.52	86.11	86.01
507.5	87.19	85.68	85.63	86.22	86.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
508	87.29	85.76	85.73	86.30	86.21
508.5	87.39	85.88	85.84	86.41	86.33
509	87.50	85.99	85.93	86.50	86.44
509.5	87.55	86.11	86.04	86.60	86.55
510	87.62	86.26	86.16	86.71	86.69
510.5	87.69	86.37	86.28	86.84	86.84
511	87.78	86.50	86.42	86.98	86.99
511.5	87.88	86.61	86.55	87.10	87.12
512	88.02	86.71	86.64	87.21	87.21
512.5	88.15	86.84	86.76	87.31	87.31
513	88.28	86.95	86.87	87.39	87.39
513.5	88.39	87.07	86.97	87.48	87.48
514	88.45	87.17	87.06	87.59	87.56
514.5	88.54	87.21	87.14	87.65	87.61
515	88.60	87.29	87.23	87.74	87.74
515.5	88.65	87.38	87.32	87.84	87.84
516	88.73	87.48	87.47	87.96	87.98
516.5	88.81	87.64	87.61	88.04	88.08
517	88.91	87.78	87.70	88.13	88.14
517.5	89.01	87.87	87.79	88.24	88.23
518	89.14	88.00	87.88	88.39	88.33
518.5	89.23	88.05	87.97	88.49	88.40
519	89.31	88.12	88.05	88.61	88.50
519.5	89.39	88.22	88.13	88.70	88.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
520	89.44	88.31	88.22	88.82	88.72
520.5	89.52	88.41	88.33	88.92	88.85
521	89.62	88.57	88.47	89.05	89.01
521.5	89.74	88.70	88.61	89.13	89.11
522	89.89	88.81	88.71	89.22	89.20
522.5	90.01	88.89	88.80	89.28	89.26
523	90.08	88.97	88.91	89.37	89.35
523.5	90.15	89.10	89.00	89.48	89.43
524	90.23	89.22	89.10	89.56	89.53
524.5	90.30	89.30	89.21	89.66	89.61
525	90.41	89.40	89.34	89.79	89.74
525.5	90.50	89.48	89.42	89.88	89.84
526	90.63	89.58	89.53	89.98	89.96
526.5	90.76	89.72	89.67	90.06	90.12
527	90.83	89.80	89.77	90.15	90.19
527.5	90.90	89.85	89.87	90.22	90.27
528	90.97	89.96	89.97	90.31	90.35
528.5	91.02	90.07	90.07	90.42	90.47
529	91.09	90.16	90.17	90.51	90.55
529.5	91.16	90.26	90.29	90.57	90.64
530	91.23	90.32	90.35	90.65	90.71
530.5	91.32	90.40	90.40	90.73	90.76
531	91.39	90.49	90.42	90.80	90.84
531.5	91.47	90.55	90.46	90.86	90.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
532	91.57	90.62	90.56	90.98	90.99
532.5	91.63	90.69	90.61	91.07	91.04
533	91.70	90.75	90.69	91.14	91.11
533.5	91.78	90.90	90.79	91.23	91.24
534	91.88	91.00	90.88	91.30	91.30
534.5	91.95	91.07	91.00	91.39	91.39
535	92.01	91.15	91.11	91.46	91.44
535.5	92.08	91.19	91.17	91.54	91.53
536	92.12	91.25	91.21	91.60	91.59
536.5	92.17	91.32	91.32	91.68	91.68
537	92.22	91.37	91.39	91.75	91.77
537.5	92.30	91.45	91.50	91.82	91.86
538	92.34	91.51	91.56	91.89	91.93
538.5	92.40	91.62	91.63	91.95	92.03
539	92.50	91.76	91.75	92.07	92.13
539.5	92.59	91.87	91.86	92.17	92.20
540	92.61	91.96	91.96	92.27	92.28
540.5	92.63	92.06	92.00	92.37	92.34
541	92.74	92.13	92.06	92.43	92.39
541.5	92.79	92.15	92.09	92.47	92.42
542	92.82	92.19	92.14	92.54	92.44
542.5	92.88	92.20	92.18	92.58	92.49
543	92.94	92.28	92.21	92.62	92.56
543.5	93.00	92.39	92.33	92.71	92.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
544	93.06	92.49	92.43	92.78	92.70
544.5	93.14	92.58	92.52	92.84	92.77
545	93.19	92.64	92.61	92.91	92.82
545.5	93.20	92.73	92.70	92.99	92.89
546	93.22	92.82	92.74	93.06	92.94
546.5	93.28	92.82	92.75	93.09	92.98
547	93.30	92.86	92.80	93.13	93.05
547.5	93.30	92.90	92.86	93.19	93.12
548	93.36	92.95	92.95	93.19	93.18
548.5	93.41	92.98	92.98	93.20	93.23
549	93.50	93.07	93.04	93.28	93.27
549.5	93.57	93.14	93.08	93.31	93.29
550	93.63	93.21	93.11	93.36	93.35
550.5	93.69	93.28	93.19	93.44	93.42
551	93.72	93.37	93.26	93.52	93.49
551.5	93.74	93.43	93.33	93.62	93.54
552	93.79	93.40	93.35	93.64	93.58
552.5	93.80	93.41	93.40	93.67	93.60
553	93.85	93.46	93.48	93.71	93.62
553.5	93.91	93.43	93.49	93.71	93.63
554	93.99	93.47	93.52	93.72	93.67
554.5	94.04	93.55	93.57	93.76	93.73
555	94.05	93.61	93.63	93.79	93.80
555.5	94.02	93.64	93.67	93.80	93.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
556	94.05	93.70	93.72	93.86	93.92
556.5	94.06	93.75	93.78	93.90	93.97
557	94.03	93.78	93.79	93.94	93.97
557.5	94.09	93.84	93.82	93.98	93.96
558	94.16	93.90	93.86	94.02	93.95
558.5	94.26	93.98	93.95	94.09	94.00
559	94.30	94.01	93.98	94.12	94.05
559.5	94.33	94.02	94.00	94.15	94.11
560	94.38	94.05	94.06	94.21	94.20
560.5	94.38	94.05	94.06	94.24	94.27
561	94.40	94.05	94.08	94.25	94.30
561.5	94.44	94.05	94.08	94.27	94.30
562	94.46	94.11	94.12	94.34	94.33
562.5	94.46	94.13	94.14	94.34	94.33
563	94.47	94.18	94.18	94.36	94.36
563.5	94.49	94.24	94.25	94.41	94.42
564	94.48	94.25	94.28	94.45	94.43
564.5	94.50	94.29	94.32	94.48	94.45
565	94.54	94.33	94.34	94.53	94.42
565.5	94.59	94.36	94.38	94.57	94.43
566	94.62	94.41	94.43	94.61	94.41
566.5	94.66	94.39	94.45	94.61	94.40
567	94.71	94.40	94.50	94.59	94.43
567.5	94.73	94.42	94.52	94.58	94.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
568	94.73	94.46	94.55	94.55	94.60
568.5	94.73	94.49	94.56	94.53	94.66
569	94.69	94.55	94.60	94.61	94.70
569.5	94.67	94.57	94.64	94.63	94.71
570	94.66	94.58	94.66	94.69	94.72
570.5	94.67	94.62	94.69	94.74	94.72
571	94.68	94.63	94.70	94.79	94.72
571.5	94.71	94.65	94.76	94.83	94.75
572	94.72	94.67	94.79	94.87	94.79
572.5	94.74	94.66	94.80	94.86	94.81
573	94.75	94.67	94.81	94.89	94.81
573.5	94.73	94.64	94.78	94.89	94.78
574	94.72	94.66	94.77	94.89	94.78
574.5	94.73	94.66	94.74	94.89	94.75
575	94.77	94.65	94.73	94.85	94.75
575.5	94.81	94.66	94.68	94.81	94.74
576	94.83	94.70	94.68	94.83	94.76
576.5	94.84	94.78	94.75	94.86	94.83
577	94.87	94.82	94.82	94.92	94.88
577.5	94.89	94.82	94.86	94.92	94.90
578	94.91	94.82	94.88	94.91	94.89
578.5	94.93	94.82	94.94	94.96	94.91
579	94.92	94.84	94.97	95.00	94.94
579.5	94.91	94.88	95.02	95.03	94.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
580	94.93	94.88	94.98	95.04	94.98
580.5	94.92	94.88	94.93	95.00	94.96
581	94.89	94.93	94.97	95.04	95.03
581.5	94.88	94.97	94.98	95.06	95.05
582	94.89	94.96	94.99	95.04	95.04
582.5	94.91	94.97	94.99	95.04	95.04
583	94.96	94.94	94.98	95.04	95.01
583.5	94.98	94.89	94.97	95.06	95.01
584	95.00	94.86	94.95	95.08	95.00
584.5	94.98	94.85	94.94	95.10	95.01
585	94.97	94.84	94.91	95.08	94.97
585.5	94.94	94.82	94.94	95.06	94.97
586	94.94	94.82	94.95	95.03	94.95
586.5	94.92	94.90	95.03	95.06	94.98
587	94.93	94.96	95.07	95.09	95.01
587.5	94.95	95.01	95.07	95.08	95.01
588	94.96	95.04	95.12	95.12	95.07
588.5	94.97	95.03	95.10	95.15	95.08
589	94.94	94.99	95.07	95.16	95.08
589.5	94.94	94.97	95.06	95.17	95.07
590	94.92	94.94	95.06	95.15	95.06
590.5	94.92	94.92	95.05	95.12	95.04
591	94.92	94.90	95.05	95.08	95.04
591.5	94.90	94.92	95.05	95.06	95.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
592	94.88	94.99	95.07	95.05	95.04
592.5	94.87	95.02	95.10	95.09	95.06
593	94.88	95.05	95.13	95.10	95.07
593.5	94.89	95.09	95.13	95.14	95.10
594	94.91	95.10	95.13	95.15	95.12
594.5	94.94	95.07	95.09	95.16	95.12
595	94.94	95.04	95.08	95.14	95.13
595.5	94.93	94.99	95.07	95.11	95.10
596	94.90	94.95	95.03	95.07	95.08
596.5	94.89	94.92	95.01	95.06	95.08
597	94.87	94.93	95.01	95.06	95.07
597.5	94.87	94.98	95.02	95.11	95.07
598	94.87	95.00	95.06	95.13	95.08
598.5	94.86	95.04	95.10	95.12	95.10
599	94.86	95.08	95.11	95.11	95.09
599.5	94.87	95.08	95.13	95.13	95.10
600	94.86	95.08	95.17	95.11	95.11
600.5	94.82	95.06	95.18	95.12	95.10
601	94.80	95.03	95.18	95.09	95.07
601.5	94.86	95.00	95.16	95.11	95.04
602	94.87	95.01	95.14	95.11	95.04
602.5	94.89	94.99	95.08	95.11	95.00
603	94.89	94.96	95.06	95.08	94.96
603.5	94.88	94.96	95.06	95.07	94.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
604	94.88	94.96	95.03	95.05	94.94
604.5	94.89	94.97	95.04	95.09	94.97
605	94.90	94.98	95.04	95.09	95.00
605.5	94.89	95.00	95.07	95.08	94.98
606	94.89	95.00	95.06	95.10	94.97
606.5	94.88	95.03	95.09	95.14	95.00
607	94.87	95.04	95.12	95.16	95.01
607.5	94.85	95.04	95.11	95.14	95.03
608	94.83	95.00	95.09	95.09	95.03
608.5	94.81	95.00	95.08	95.07	95.01
609	94.81	95.01	95.07	95.06	95.02
609.5	94.84	95.00	95.01	95.04	95.02
610	94.84	95.01	95.02	95.04	95.02
610.5	94.84	95.00	95.02	95.06	95.01
611	94.83	94.99	95.00	95.05	95.01
611.5	94.82	94.94	95.02	95.05	95.00
612	94.78	94.91	95.04	95.05	95.01
612.5	94.76	94.93	95.08	95.06	95.00
613	94.76	94.94	95.08	95.04	95.01
613.5	94.73	94.97	95.06	95.04	95.00
614	94.74	95.00	95.08	95.05	94.98
614.5	94.78	94.99	95.05	95.06	94.98
615	94.76	94.95	95.01	95.03	94.96
615.5	94.73	94.95	95.02	95.01	94.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
616	94.69	94.92	95.00	95.02	94.97
616.5	94.70	94.91	94.99	95.01	94.96
617	94.70	94.92	95.02	94.98	94.99
617.5	94.73	94.92	95.05	94.98	94.98
618	94.76	94.94	95.05	94.98	94.99
618.5	94.78	94.92	95.04	94.95	94.96
619	94.77	94.92	95.03	94.99	94.93
619.5	94.76	94.93	95.06	95.04	94.92
620	94.74	94.90	95.00	95.04	94.89
620.5	94.68	94.90	94.97	95.03	94.87
621	94.64	94.95	94.98	95.02	94.85
621.5	94.65	94.96	95.00	95.00	94.87
622	94.64	94.96	94.98	94.97	94.89
622.5	94.65	94.96	94.97	94.92	94.90
623	94.61	94.98	94.98	94.93	94.97
623.5	94.61	94.97	94.96	94.93	94.98
624	94.64	94.94	94.95	94.93	94.99
624.5	94.67	94.89	94.93	94.93	94.95
625	94.67	94.84	94.89	94.91	94.94
625.5	94.68	94.77	94.83	94.81	94.87
626	94.62	94.77	94.83	94.80	94.83
626.5	94.55	94.79	94.90	94.81	94.85
627	94.52	94.76	94.88	94.79	94.81
627.5	94.53	94.76	94.89	94.80	94.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
628	94.54	94.79	94.90	94.83	94.85
628.5	94.56	94.83	94.94	94.88	94.87
629	94.59	94.82	94.92	94.91	94.86
629.5	94.61	94.79	94.84	94.89	94.83
630	94.56	94.82	94.83	94.93	94.85
630.5	94.56	94.80	94.82	94.90	94.85
631	94.56	94.82	94.81	94.89	94.85
631.5	94.54	94.79	94.81	94.87	94.83
632	94.53	94.75	94.81	94.84	94.82
632.5	94.62	94.71	94.80	94.79	94.80
633	94.64	94.74	94.83	94.81	94.79
633.5	94.63	94.77	94.84	94.83	94.80
634	94.61	94.78	94.88	94.83	94.81
634.5	94.62	94.80	94.88	94.83	94.81
635	94.63	94.81	94.87	94.86	94.82
635.5	94.60	94.85	94.89	94.91	94.86
636	94.58	94.84	94.88	94.90	94.87
636.5	94.52	94.82	94.82	94.87	94.85
637	94.48	94.81	94.79	94.90	94.85
637.5	94.51	94.80	94.80	94.91	94.83
638	94.53	94.81	94.79	94.92	94.84
638.5	94.51	94.79	94.78	94.91	94.81
639	94.51	94.78	94.79	94.86	94.82
639.5	94.56	94.77	94.81	94.85	94.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
640	94.58	94.78	94.84	94.83	94.79
640.5	94.59	94.80	94.83	94.82	94.79
641	94.56	94.81	94.83	94.79	94.81
641.5	94.58	94.83	94.81	94.78	94.80
642	94.56	94.82	94.83	94.81	94.82
642.5	94.55	94.79	94.86	94.87	94.82
643	94.55	94.75	94.86	94.90	94.79
643.5	94.50	94.71	94.83	94.92	94.76
644	94.51	94.69	94.82	94.88	94.72
644.5	94.51	94.71	94.86	94.90	94.77
645	94.54	94.69	94.83	94.86	94.75
645.5	94.54	94.69	94.81	94.83	94.75
646	94.52	94.68	94.78	94.77	94.77
646.5	94.50	94.68	94.77	94.77	94.79
647	94.52	94.67	94.78	94.75	94.78
647.5	94.53	94.69	94.79	94.78	94.76
648	94.53	94.67	94.79	94.77	94.77
648.5	94.55	94.70	94.78	94.79	94.76
649	94.51	94.72	94.78	94.78	94.77
649.5	94.53	94.69	94.78	94.76	94.77
650	94.55	94.69	94.78	94.76	94.77
650.5	94.58	94.67	94.75	94.76	94.74
651	94.60	94.65	94.75	94.74	94.72
651.5	94.58	94.66	94.78	94.78	94.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
652	94.59	94.66	94.76	94.76	94.72
652.5	94.61	94.66	94.76	94.77	94.69
653	94.57	94.65	94.74	94.75	94.68
653.5	94.54	94.65	94.72	94.75	94.66
654	94.53	94.64	94.71	94.77	94.66
654.5	94.51	94.64	94.69	94.76	94.65
655	94.50	94.66	94.71	94.76	94.68
655.5	94.51	94.73	94.73	94.79	94.73
656	94.45	94.76	94.76	94.78	94.77
656.5	94.45	94.75	94.78	94.78	94.80
657	94.42	94.79	94.79	94.78	94.83
657.5	94.49	94.76	94.76	94.73	94.78
658	94.55	94.71	94.73	94.69	94.76
658.5	94.58	94.68	94.71	94.66	94.75
659	94.64	94.68	94.69	94.69	94.73
659.5	94.65	94.66	94.71	94.71	94.69
660	94.62	94.69	94.71	94.70	94.67
660.5	94.58	94.69	94.73	94.67	94.65
661	94.53	94.71	94.78	94.71	94.68
661.5	94.48	94.68	94.81	94.70	94.68
662	94.46	94.68	94.85	94.72	94.71
662.5	94.49	94.70	94.84	94.74	94.74
663	94.49	94.70	94.87	94.77	94.77
663.5	94.56	94.68	94.85	94.78	94.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
664	94.55	94.71	94.84	94.82	94.76
664.5	94.59	94.73	94.82	94.85	94.77
665	94.61	94.69	94.75	94.80	94.73
665.5	94.58	94.68	94.69	94.71	94.68
666	94.57	94.72	94.68	94.71	94.71
666.5	94.53	94.73	94.74	94.74	94.75
667	94.51	94.74	94.76	94.74	94.78
667.5	94.50	94.75	94.80	94.77	94.81
668	94.47	94.79	94.86	94.79	94.82
668.5	94.48	94.76	94.87	94.78	94.80
669	94.49	94.75	94.86	94.81	94.77
669.5	94.52	94.74	94.86	94.85	94.79
670	94.56	94.74	94.87	94.87	94.77
670.5	94.60	94.72	94.84	94.87	94.75
671	94.55	94.74	94.85	94.86	94.72
671.5	94.55	94.75	94.86	94.84	94.74
672	94.53	94.73	94.82	94.81	94.77
672.5	94.52	94.69	94.78	94.74	94.77
673	94.55	94.67	94.75	94.69	94.79
673.5	94.55	94.65	94.74	94.67	94.81
674	94.59	94.66	94.74	94.72	94.82
674.5	94.62	94.68	94.74	94.76	94.81
675	94.56	94.72	94.78	94.83	94.82
675.5	94.55	94.74	94.80	94.86	94.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
676	94.53	94.73	94.78	94.88	94.74
676.5	94.45	94.71	94.77	94.88	94.73
677	94.46	94.69	94.77	94.85	94.74
677.5	94.47	94.72	94.81	94.86	94.80
678	94.49	94.75	94.85	94.90	94.81
678.5	94.52	94.76	94.88	94.91	94.82
679	94.53	94.83	94.91	94.94	94.84
679.5	94.53	94.86	94.92	94.95	94.83
680	94.54	94.85	94.88	94.89	94.83
680.5	94.53	94.86	94.83	94.85	94.85
681	94.54	94.84	94.81	94.84	94.87
681.5	94.56	94.78	94.75	94.74	94.81
682	94.53	94.77	94.73	94.74	94.84
682.5	94.53	94.79	94.76	94.77	94.87
683	94.57	94.75	94.76	94.76	94.84
683.5	94.56	94.75	94.80	94.81	94.84
684	94.55	94.72	94.80	94.79	94.81
684.5	94.52	94.71	94.84	94.80	94.80
685	94.58	94.69	94.81	94.80	94.78
685.5	94.62	94.65	94.80	94.79	94.77
686	94.67	94.68	94.82	94.85	94.80
686.5	94.71	94.69	94.83	94.86	94.82
687	94.73	94.70	94.83	94.84	94.80
687.5	94.72	94.74	94.81	94.86	94.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
688	94.66	94.74	94.83	94.84	94.87
688.5	94.58	94.76	94.83	94.79	94.84
689	94.52	94.79	94.86	94.81	94.84
689.5	94.53	94.82	94.92	94.83	94.87
690	94.57	94.81	94.89	94.82	94.85
690.5	94.64	94.83	94.89	94.89	94.85
691	94.69	94.84	94.88	94.91	94.87
691.5	94.68	94.82	94.87	94.92	94.87
692	94.67	94.79	94.81	94.92	94.88
692.5	94.63	94.75	94.80	94.89	94.83
693	94.58	94.71	94.79	94.91	94.83
693.5	94.55	94.69	94.79	94.89	94.84
694	94.57	94.71	94.81	94.90	94.82
694.5	94.60	94.76	94.84	94.96	94.85
695	94.61	94.77	94.87	94.98	94.87
695.5	94.64	94.78	94.84	94.96	94.83
696	94.63	94.78	94.87	94.95	94.83
696.5	94.66	94.74	94.88	94.87	94.82
697	94.62	94.75	94.86	94.84	94.80
697.5	94.62	94.71	94.85	94.86	94.76
698	94.63	94.71	94.82	94.86	94.75
698.5	94.64	94.70	94.80	94.92	94.76
699	94.65	94.71	94.74	94.94	94.80
699.5	94.65	94.75	94.75	94.92	94.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
700	94.64	94.73	94.77	94.89	94.80
700.5	94.65	94.76	94.80	94.85	94.80
701	94.67	94.75	94.84	94.78	94.78
701.5	94.69	94.77	94.90	94.76	94.80
702	94.71	94.80	94.95	94.79	94.83
702.5	94.77	94.83	94.93	94.87	94.84
703	94.78	94.88	94.96	94.96	94.92
703.5	94.78	94.86	94.90	94.98	94.94
704	94.76	94.90	94.89	94.98	94.99
704.5	94.72	94.84	94.88	94.97	94.96
705	94.72	94.82	94.87	94.93	94.89
705.5	94.70	94.82	94.92	94.92	94.85
706	94.73	94.82	94.92	94.92	94.82
706.5	94.71	94.86	94.92	94.90	94.81
707	94.72	94.86	94.89	94.88	94.78
707.5	94.72	94.87	94.88	94.87	94.78
708	94.71	94.93	94.87	94.91	94.86
708.5	94.72	94.99	94.84	94.93	94.92
709	94.71	95.00	94.86	94.91	94.95
709.5	94.77	94.94	94.84	94.90	94.90
710	94.78	94.87	94.83	94.88	94.86
710.5	94.77	94.83	94.85	94.94	94.82
711	94.74	94.82	94.86	94.94	94.84
711.5	94.73	94.76	94.86	94.90	94.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
712	94.73	94.72	94.86	94.90	94.72
712.5	94.75	94.75	94.89	94.90	94.71
713	94.76	94.78	94.86	94.90	94.73
713.5	94.77	94.81	94.84	94.93	94.76
714	94.78	94.86	94.84	94.95	94.82
714.5	94.76	94.83	94.90	94.94	94.85
715	94.73	94.80	94.93	94.98	94.90
715.5	94.73	94.85	94.93	95.02	94.94
716	94.68	94.86	94.96	95.03	94.98
716.5	94.66	94.81	94.96	95.00	94.94
717	94.62	94.78	94.93	94.89	94.87
717.5	94.61	94.72	94.89	94.85	94.80
718	94.60	94.73	94.84	94.82	94.77
718.5	94.66	94.75	94.90	94.84	94.78
719	94.66	94.81	95.01	94.89	94.80
719.5	94.67	94.87	95.06	94.97	94.85
720	94.70	94.91	95.08	94.99	94.86
720.5	94.74	94.93	95.06	94.99	94.83
721	94.73	94.92	94.97	94.99	94.81
721.5	94.77	94.85	94.89	94.92	94.80
722	94.74	94.73	94.79	94.86	94.80
722.5	94.80	94.68	94.73	94.81	94.80
723	94.84	94.69	94.73	94.81	94.92
723.5	94.78	94.72	94.78	94.86	94.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
724	94.71	94.76	94.84	94.91	95.01
724.5	94.64	94.76	94.90	94.91	94.96
725	94.63	94.78	94.86	94.91	94.88
725.5	94.68	94.84	94.90	94.92	94.86
726	94.73	94.85	94.92	94.89	94.82
726.5	94.77	94.85	94.91	94.87	94.83
727	94.80	94.79	94.89	94.85	94.82
727.5	94.80	94.78	94.87	94.81	94.82
728	94.79	94.75	94.88	94.81	94.79
728.5	94.84	94.73	94.87	94.80	94.80
729	94.79	94.76	94.86	94.79	94.81
729.5	94.84	94.79	94.86	94.84	94.81
730	94.91	94.84	94.91	94.91	94.86
730.5	94.85	94.93	94.98	94.99	94.90
731	94.84	94.98	95.00	95.06	94.95
731.5	94.77	94.96	95.08	95.09	94.95
732	94.68	94.88	95.02	95.08	94.89
732.5	94.58	94.85	94.99	95.01	94.84
733	94.58	94.78	94.91	94.94	94.77
733.5	94.62	94.75	94.91	94.88	94.77
734	94.67	94.74	94.92	94.90	94.85
734.5	94.67	94.76	94.88	94.88	94.88
735	94.74	94.81	94.92	94.90	94.86
735.5	94.78	94.83	94.92	94.93	94.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
736	94.77	94.85	94.90	94.86	94.86
736.5	94.78	94.84	94.87	94.88	94.87
737	94.81	94.81	94.85	94.87	94.85
737.5	94.75	94.79	94.81	94.82	94.83
738	94.74	94.84	94.85	94.83	94.87
738.5	94.74	94.85	94.92	94.91	94.91
739	94.70	94.81	94.93	94.93	94.91
739.5	94.70	94.81	94.98	94.93	94.94
740	94.74	94.84	95.03	94.95	94.96
740.5	94.72	94.81	94.99	94.93	94.90
741	94.70	94.80	94.96	94.92	94.88
741.5	94.67	94.77	94.91	94.91	94.84
742	94.70	94.74	94.84	94.87	94.76
742.5	94.68	94.77	94.80	94.87	94.76
743	94.66	94.82	94.80	94.81	94.77
743.5	94.69	94.84	94.83	94.86	94.86
744	94.74	94.85	94.90	94.88	94.88
744.5	94.81	94.80	94.87	94.85	94.86
745	94.86	94.80	94.90	94.87	94.92
745.5	94.82	94.78	94.89	94.87	94.89
746	94.75	94.72	94.80	94.80	94.73
746.5	94.74	94.63	94.69	94.78	94.65
747	94.71	94.64	94.66	94.74	94.62
747.5	94.71	94.66	94.66	94.73	94.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
748	94.67	94.71	94.73	94.75	94.64
748.5	94.68	94.73	94.79	94.81	94.71
749	94.75	94.73	94.80	94.80	94.76
749.5	94.78	94.69	94.79	94.75	94.78
750	94.77	94.69	94.80	94.73	94.80
750.5	94.75	94.66	94.81	94.72	94.87
751	94.70	94.64	94.79	94.70	94.83
751.5	94.68	94.67	94.76	94.70	94.79
752	94.70	94.76	94.77	94.77	94.81
752.5	94.73	94.83	94.84	94.83	94.82
753	94.72	94.85	94.86	94.87	94.80
753.5	94.80	94.79	94.86	94.90	94.80
754	94.84	94.74	94.80	94.81	94.79
754.5	94.91	94.67	94.81	94.75	94.79
755	94.93	94.61	94.75	94.70	94.74
755.5	94.86	94.56	94.74	94.69	94.73
756	94.79	94.55	94.67	94.65	94.73
756.5	94.75	94.52	94.62	94.57	94.66
757	94.68	94.55	94.62	94.58	94.65
757.5	94.63	94.59	94.65	94.63	94.70
758	94.58	94.52	94.65	94.66	94.68
758.5	94.56	94.55	94.64	94.69	94.69
759	94.52	94.57	94.68	94.75	94.66
759.5	94.56	94.57	94.69	94.72	94.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
760	94.54	94.59	94.75	94.77	94.61
760.5	94.56	94.67	94.73	94.82	94.62
761	94.52	94.76	94.71	94.77	94.62
761.5	94.52	94.79	94.74	94.71	94.65
762	94.58	94.78	94.68	94.73	94.65
762.5	94.63	94.80	94.66	94.80	94.66
763	94.63	94.82	94.63	94.83	94.71
763.5	94.72	94.77	94.66	94.81	94.70
764	94.77	94.70	94.68	94.81	94.67
764.5	94.69	94.62	94.70	94.77	94.63
765	94.63	94.57	94.75	94.72	94.61
765.5	94.59	94.60	94.78	94.71	94.58
766	94.48	94.62	94.79	94.68	94.58
766.5	94.39	94.56	94.70	94.66	94.49
767	94.38	94.58	94.72	94.71	94.48
767.5	94.41	94.56	94.62	94.72	94.48
768	94.36	94.58	94.57	94.71	94.52
768.5	94.35	94.64	94.61	94.71	94.62
769	94.36	94.65	94.68	94.70	94.67
769.5	94.41	94.59	94.68	94.67	94.64
770	94.40	94.58	94.66	94.63	94.66
770.5	94.43	94.49	94.65	94.57	94.63
771	94.56	94.45	94.61	94.55	94.63
771.5	94.54	94.41	94.53	94.52	94.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
772	94.53	94.44	94.46	94.49	94.57
772.5	94.54	94.46	94.39	94.47	94.51
773	94.48	94.50	94.40	94.48	94.52
773.5	94.43	94.50	94.45	94.57	94.57
774	94.46	94.51	94.55	94.60	94.62
774.5	94.46	94.43	94.53	94.58	94.58
775	94.45	94.38	94.50	94.51	94.57
775.5	94.46	94.42	94.50	94.50	94.60
776	94.47	94.52	94.54	94.50	94.64
776.5	94.48	94.54	94.53	94.53	94.61
777	94.47	94.61	94.52	94.52	94.54
777.5	94.45	94.62	94.54	94.50	94.46
778	94.50	94.58	94.57	94.53	94.44
778.5	94.50	94.50	94.58	94.52	94.42
779	94.47	94.43	94.59	94.48	94.44
779.5	94.46	94.33	94.51	94.39	94.46
780	94.39	94.31	94.49	94.41	94.46
780.5	94.41	94.36	94.52	94.43	94.51
781	94.48	94.36	94.56	94.47	94.54
781.5	94.47	94.37	94.57	94.54	94.49
782	94.48	94.39	94.57	94.54	94.42
782.5	94.47	94.46	94.56	94.56	94.38
783	94.39	94.53	94.63	94.61	94.43
783.5	94.34	94.58	94.62	94.61	94.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
784	94.31	94.58	94.58	94.63	94.55
784.5	94.31	94.51	94.53	94.55	94.52
785	94.31	94.46	94.50	94.52	94.47
785.5	94.30	94.48	94.50	94.46	94.40
786	94.29	94.48	94.46	94.47	94.35
786.5	94.31	94.38	94.44	94.40	94.28
787	94.25	94.30	94.44	94.46	94.21
787.5	94.27	94.25	94.42	94.43	94.23
788	94.37	94.25	94.41	94.45	94.27
788.5	94.41	94.32	94.43	94.47	94.35
789	94.43	94.42	94.45	94.44	94.42
789.5	94.43	94.45	94.42	94.43	94.50
790	94.30	94.43	94.45	94.46	94.54
790.5	94.20	94.48	94.51	94.43	94.61
791	94.12	94.50	94.56	94.54	94.69
791.5	94.10	94.45	94.60	94.60	94.70
792	94.04	94.25	94.53	94.61	94.58
792.5	94.03	94.22	94.47	94.54	94.44
793	94.07	94.26	94.39	94.49	94.35
793.5	94.08	94.36	94.36	94.42	94.26
794	94.01	94.50	94.41	94.42	94.27
794.5	94.03	94.51	94.50	94.34	94.33
795	94.09	94.51	94.55	94.33	94.38
795.5	94.06	94.47	94.56	94.30	94.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
796	94.02	94.49	94.60	94.38	94.44
796.5	94.03	94.37	94.50	94.38	94.37
797	93.99	94.22	94.33	94.37	94.24
797.5	94.02	94.03	94.10	94.22	94.05
798	94.10	94.00	93.95	94.20	94.01
798.5	94.22	94.00	93.95	94.17	93.99
799	94.19	93.96	93.98	94.14	94.02
799.5	94.22	93.97	94.08	94.17	94.08
800	94.18	93.95	94.17	94.13	94.09
800.5	94.10	93.97	94.18	94.18	94.08
801	94.00	94.02	94.14	94.25	94.09
801.5	94.00	94.00	94.14	94.28	94.05
802	93.96	93.95	94.06	94.23	93.93
802.5	93.91	93.91	93.93	94.13	93.81
803	93.88	93.96	93.98	94.15	93.89
803.5	93.97	94.04	94.10	94.18	93.94
804	93.91	94.10	94.23	94.22	93.98
804.5	93.94	94.14	94.32	94.26	94.06
805	93.88	94.25	94.31	94.26	94.13
805.5	93.86	94.26	94.24	94.25	94.17
806	93.80	94.19	94.09	94.18	94.11
806.5	93.82	94.16	94.01	94.12	94.08
807	93.82	94.08	93.92	93.95	93.98
807.5	93.84	94.03	93.89	93.90	93.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
808	94.00	93.98	93.90	93.87	93.91
808.5	94.08	94.08	94.03	93.98	93.99
809	94.13	94.15	94.13	94.07	93.98
809.5	94.06	94.12	94.09	94.12	93.90
810	94.00	94.15	94.12	94.12	94.00
810.5	93.98	94.19	94.12	94.17	94.11
811	93.80	94.01	94.06	94.14	94.19
811.5	93.77	93.96	94.04	94.15	94.27
812	93.70	93.93	93.98	94.07	94.29
812.5	93.70	93.94	93.94	94.02	94.29
813	93.71	93.87	93.88	93.99	94.08
813.5	93.80	93.94	93.94	93.95	93.98
814	93.86	94.04	93.97	93.91	93.92
814.5	93.84	94.06	93.98	93.93	93.84
815	93.94	93.95	93.98	93.86	93.80
815.5	93.88	93.98	94.03	93.89	93.90
816	93.83	93.88	93.97	93.95	93.91
816.5	93.69	93.74	93.81	93.88	93.80
817	93.61	93.71	93.79	93.85	93.81
817.5	93.56	93.78	93.82	93.84	93.78
818	93.58	93.73	93.91	93.85	93.76
818.5	93.51	93.86	93.99	93.90	93.76
819	93.51	93.90	94.00	93.94	93.83
819.5	93.50	93.98	94.03	93.93	93.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
820	93.44	93.93	94.01	93.90	93.94
820.5	93.50	93.91	94.00	93.87	93.95
821	93.56	93.90	93.92	93.83	93.95
821.5	93.64	93.91	93.82	93.88	93.87
822	93.76	93.76	93.80	93.90	93.76
822.5	93.71	93.71	93.72	93.87	93.71
823	93.68	93.71	93.70	94.03	93.73
823.5	93.63	93.65	93.62	93.99	93.60
824	93.52	93.59	93.59	93.98	93.62
824.5	93.47	93.49	93.61	93.77	93.60
825	93.49	93.47	93.70	93.64	93.55
825.5	93.49	93.48	93.74	93.54	93.53
826	93.67	93.53	93.71	93.55	93.48
826.5	93.72	93.73	93.74	93.66	93.53
827	93.73	93.72	93.69	93.67	93.58
827.5	93.75	93.77	93.63	93.74	93.63
828	93.71	93.75	93.66	93.80	93.66
828.5	93.65	93.76	93.68	93.79	93.72
829	93.56	93.66	93.76	93.79	93.70
829.5	93.45	93.52	93.85	93.62	93.73
830	93.37	93.56	93.99	93.58	93.83
830.5	93.28	93.60	94.09	93.54	93.82
831	93.29	93.70	94.11	93.65	93.81
831.5	93.43	93.74	94.12	93.71	93.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
832	93.41	93.81	94.06	93.76	93.86
832.5	93.38	93.71	93.81	93.69	93.76
833	93.47	93.57	93.72	93.66	93.60
833.5	93.32	93.61	93.75	93.76	93.61
834	93.28	93.44	93.64	93.61	93.53
834.5	93.16	93.52	93.66	93.64	93.61
835	93.16	93.57	93.74	93.63	93.69
835.5	93.13	93.64	93.71	93.63	93.73
836	93.05	93.71	93.60	93.69	93.67
836.5	93.22	93.85	93.53	93.77	93.75
837	93.24	93.96	93.47	93.83	93.75
837.5	93.19	94.04	93.46	93.87	93.80
838	93.13	93.95	93.51	93.86	93.76
838.5	93.19	93.73	93.59	93.80	93.68
839	93.13	93.71	93.72	93.78	93.64
839.5	93.04	93.60	93.60	93.64	93.52
840	93.13	93.42	93.55	93.53	93.34
840.5	93.14	93.41	93.49	93.54	93.29
841	93.19	93.44	93.43	93.54	93.25
841.5	93.19	93.55	93.41	93.64	93.33
842	93.23	93.63	93.54	93.64	93.60
842.5	93.29	93.68	93.55	93.70	93.70
843	93.25	93.63	93.65	93.66	93.70
843.5	93.28	93.57	93.60	93.60	93.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.4 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลเส้นโค้งสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสงจากการทดลองเพื่อยืนยันผล
(ครั้งที่ 1)

Nm	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
844	93.14	93.41	93.50	93.46	93.51
844.5	93.07	93.39	93.42	93.31	93.38
845	93.02	93.40	93.40	93.32	93.44
845.5	93.10	93.21	93.37	93.26	93.33
846	93.13	93.30	93.41	93.30	93.34
846.5	93.12	93.32	93.34	93.31	93.40
847	93.26	93.32	93.29	93.38	93.45
847.5	93.43	93.35	93.23	93.44	93.48
848	93.52	93.43	93.26	93.53	93.51
848.5	93.54	93.40	93.23	93.52	93.48
849	93.43	93.36	93.37	93.49	93.58
849.5	93.37	93.32	93.40	93.43	93.55
850	93.35	93.33	93.57	93.40	93.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. ธาณูสรณ์ ฉันทะกุล พิรญาณ์ แก้วสุวรรณ และ ชุมพล ยวงโย. 2557. “การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อลักษณะสเปกตรัมของการเคลือบแบบลดแสงสะท้อนโดยกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็ง.” หน้า 122. ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2557., สมุทรปราการ, 30 – 31 ตุลาคม 2557.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Industrial Engineering Department
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2557

IE NETWORK CONFERENCE

2014

30-31 October 2014
Novotel Suvarnabhumi Airport Hotel
www.ienet-th.org

Diversifying Industrial Engineering
for Future Generation

Logos of sponsors and partners:

- TPI
- MASTERKOOL
- HSA
- AQUA
- PANG LIN
- AMADA
- Minitab
- การไฟฟ้าภหลวง (Metropolitan Electricity Authority)
- SIAM FUTURE DEVELOPMENT PLC
- GLOBAL CHEMICAL
- KISTLER
- Nikon
- BRUSHES
- IRC
- Sodick
- WD
- THAI OIL Group
- YAMAHA Live with Music
- S W SYSTEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อลักษณะสเปกตรัมของการเคลือบแบบลดแสงสะท้อนโดยกระบวนการเคลือบสารด้วยภาวะเหยของแข็ง
A study on factors that affect to spectral characteristic of antireflection coating by physical vapor deposition process

ธานุสรณ์ ฉันทะกุล¹ พิรญาณ์ แก้วสุวรรณ² ชุมพล ยางโย³
^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
 E-mail: iammrpiak@gmail.com

Thanusorn Chantakul¹ Piraya Kaewsuwan² Chumpol Yuangyai³
^{1,2,3} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok
 E-mail: iammrpiak@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของ 5 ปัจจัย (ระดับสุญญากาศ อัตราความเร็วของการเคลือบสาร ไททานเนียมเพนทอกไซด์ อัตราความเร็วของการเคลือบสารซิลิกอนไดออกไซด์ อุณหภูมิของฐานรองรับและความดันก๊าซออกซิเจน) ต่อลักษณะสเปกตรัมของการทะลุผ่านของแสงในการเคลือบแบบลดแสงสะท้อนโดยกระบวนการเคลือบสารด้วยภาวะเหยของแข็ง การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2⁵ ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาผลตอบสนอง ได้แก่ ผลพียงของพื้นที่ที่อยู่ภายใต้เส้นโค้งการทะลุผ่านของแสงที่ได้จากการเคลือบกับการออกแบบและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งการทะลุผ่านของแสง จากผลการทดลองพบว่าอัตราความเร็วของการเคลือบสารซิลิกอนไดออกไซด์ อันตรกิริยาระหว่างอัตราความเร็วของการเคลือบสาร ไททานเนียมเพนทอกไซด์กับความดันก๊าซออกซิเจนส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ การกำหนดอัตราความเร็วของการเคลือบซิลิกอนไดออกไซด์ที่ 7 องศาต่อวินาที อัตราความเร็วสารเคลือบไททานเนียมเพนทอกไซด์ที่ 4 องศาต่อวินาทีและความดันก๊าซออกซิเจนที่ 0.027 ปาสคาล (Pa) จะทำให้ผลตอบสนองทั้งสองดังกล่าวข้างต้นมีค่าน้อย

คำหลัก การเคลือบแบบลดแสงสะท้อน การเคลือบสารด้วยภาวะเหยของแข็ง การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายธานุสรณ์ ฉันทะกุล
วัน เดือน ปีเกิด	6 สิงหาคม 2520
ที่อยู่ปัจจุบัน	26/715 หมู่ 1 ต.นาป่า อ.เมือง จ.ชลบุรี 20000
ประวัติการศึกษา	2542 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี
ผลงานทางวิชาการ	“การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อลักษณะสเปกตรัมของการเคลือบแบบลดแสงสะท้อนโดยกระบวนการเคลือบสารด้วยการระเหยของแข็ง.” การประชุมวิชาการ หน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2557



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้