

การตรวจสอบคุณสมบัติการพิมพ์ของสารเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมของกราฟีน
และกราฟีนออกไซด์โดยใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี

TO QUALIFY THE PRINTING OF SOLDER PASTE WITH GRAPHENE
(GPN) and GRAPHENE OXIDE (GPNO) COMPOUND BY USING
DIGITAL HOLOGRAPHY TECHNIQUE



นายทวีพล ประกอบแสง
นายวิสุทธิ์พัฒน์ เพ็ชรสันทัด

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การตรวจสอบคุณสมบัติการพิมพ์ของสารเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมของกราฟีน
และกราฟีนออกไซด์โดยใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี
TO QUALIFY THE PRINTING OF SOLDER PASTE WITH GRAPHENE
(GPN) and GRAPHENE OXIDE (GPNO) COMPOUND BY USING
DIGITAL HOLOGRAPHY TECHNIQUE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ อิงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

TO QUALIFY THE PRINTING OF SOLDER PASTE WITH GRAPHENE
(GPN) and GRAPHENE OXIDE (GPNO) COMPOUND BY USING
DIGITAL HOLOGRAPHY TECHNIQUE



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

DEPARTMENT OF PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

หัวข้อโครงการพิเศษ

การตรวจสอบคุณสมบัติการพิมพ์ของสารเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมของกราฟีนและกราฟีนออกไซด์โดยใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี
 To Qualify the Printing of Solder Paste with Graphene (GPN) and Graphene Oxide (GPNO) Compound by Using Digital Holography Technique

ชื่อนักศึกษา

นายทวิพล ประกอบแสง รหัสนักศึกษา 54050526

นายวิสสุพัตม์ เพ็ชรสันทัด รหัสนักศึกษา 54050591

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2557

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ประธาน บุรณศิริ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.สุรชาติ กมลดีลก	
อ.เกียรติ ศรีนวลจันทร์	
ดร.เชษฐา รัตนพันธ์	
ดร.ประธาน บุรณศิริ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การตรวจสอบคุณสมบัติการพิมพ์ของสารเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมของกราฟีนและกราฟีนออกไซด์โดยใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี		
ชื่อนักศึกษา	นายทวิพล	ประกอบแสง	รหัสนักศึกษา 54050526
	นายวัสสุพัทธ์	เพชรสันทัด	รหัสนักศึกษา 54050591
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ประธาน	บุรมศิริ	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เสนอการวัดคุณสมบัติของสารเชื่อมประสาน (solder paste) ที่มีส่วนผสมของกราฟีน (GPN) และกราฟีนออกไซด์ (GPNO) ที่มีอัตราส่วนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยคุณสมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ความสูงและมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน (solder paste) โดยใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี (digital holography) ในการวิเคราะห์ โดยในเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี (digital holography) นี้ ได้ใช้การติดตั้งระบบแบบถ่ายภาพได้สองมุมมองในรูปเดียว โดยการใช้กระจกเงาสองบานสะท้อนให้เกิดภาพ ซึ่งกระจกเงาสองบานนี้จะทำหน้าที่ในการสะท้อนกลับ ทำให้เกิดด้านของวัตถุสองด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	TO QUALIFY THE PRINTING OF SOLDER PASTE WITH GRAPHENE (GPN) and GRAPHENE OXIDE (GPNO) COMPOUND BY USING DIGITAL HOLOGRAPHY TECHNIQUE
Students	Mr.Tawipon Prakobsang Student ID 54050526 Mr.Watsupat Pethsanthad Student ID 54050591
Degree	Bachelor of Science in Applied Physics
Department	Physics
Academic Year	2014
Advisor	Dr.Prathan Buranasiri

ABSTRACT

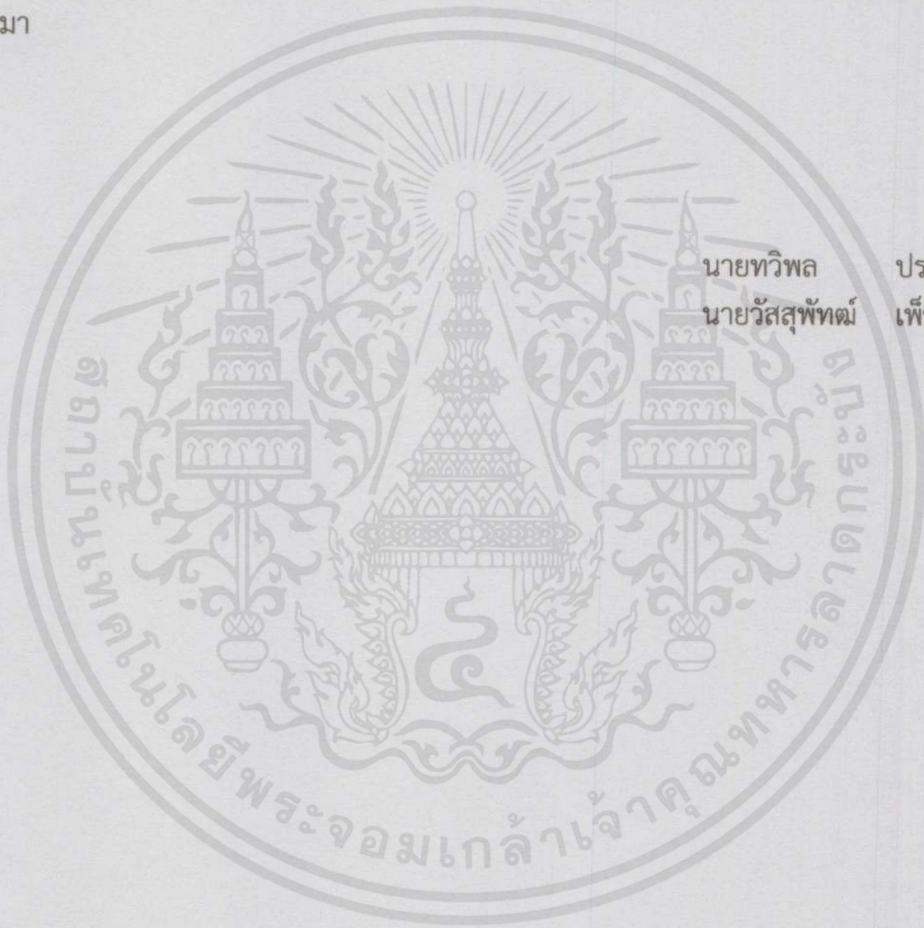
This project proposes to measure the height and angle of the solder is exposed to a mixture of GPN and GPNO using digital techniques holographic imaging. The project has been developed to take photos of the two views in a single frame using 2 glass reflector for the photos. Where to set the system has 2 glass acting reflect well get two shots after the solder who mixed with GPN and GPNO with a concentration by weight of 0.02%, 0.05% and 0.1%, respectively, were then fused. at a temperature of 250 °C for 30 seconds, took to photography. Thus the Reconstruction Then measure the height and angle of the solder results are expected to be the substance of up to measure the height of the solder is correct and accurate. In the future, it may take more than two images in one frame.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า นายทวิพล ประกอบแสง และ นายวิสุทธิ์ เพ็ชรสันทัด นักศึกษาจาก สาขาวิชา
ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ได้ทำโครงการพิเศษหัวข้อเรื่อง การตรวจสอบคุณสมบัติการพิมพ์
ของสารเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมของกราฟีนและกราฟีนออกไซด์โดยใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี นี้
เป็นไปตามจุดประสงค์ที่คาดหวังได้เนื่องจากได้รับการสนับสนุน และความช่วยเหลือของดร.ประธาน
บุรณศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ และคณะมหาบัณฑิตกับคณาจารย์บัณฑิต ผู้ซึ่งให้ความรู้และ
คำปรึกษา ในขณะที่ทำการวิจัยศึกษาค้นคว้ามาโดยตลอด งานนี้บรรลุผล

ขอขอบคุณ เพื่อนๆร่วมสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกคนที่ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือต่างๆ
ตลอดมา



นายทวิพล

ประกอบแสง

นายวิสุทธิ์

เพ็ชรสันทัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สารเชื่อมประสาน (Solder Paste)	3
2.1.1 ดีบุก (Tin)	3
2.1.2 เงิน (silver)	4
2.1.3 ทองแดง (Copper)	4
2.1.4 ฟลักซ์ (Flux)	4
2.2 ความสามารถในการเปียก (wetting)	5
2.3 การแทรกสอด (interference)	6
2.4 การเลี้ยวเบน (Diffraction of Wave)	8
2.5 โฮโลแกรม (Hologram)	9
2.5.1 วิธีการทำงานของโฮโลกราฟีและโฮโลแกรม	10
2.5.2 หลักการอ่านภาพ (Reconstruction) ของโฮโลแกรม	10
2.5.3 ดิจิตอลโฮโลแกรม	11
2.5.4 หลักการอ่านภาพ (Reconstruction) ของโฮโลแกรม โดยวิธี Angular spectrum	11
2.6 คาร์บอนอัลโลโทรปป์ (Carbon Allotropes)	13
2.6.1 แกรฟีน (Graphene)	13
2.6.2 แกรฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide)	14
2.7 โปรแกรม MATHLAB	15
2.8 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	15
2.9 เทคโนโลยีการเชื่อมบนพื้นผิว (surface mount technology : SMT)	16
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	17
3.1 วิธีการทดลอง (เตรียมสารเชื่อมประสาน)	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 วิธีการทดลอง (จัดเครื่องมือดิจิทัลโฮโลกราฟี)	20
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	22
4.1 ผลการทดลองเมื่อไม่มีการผสม	22
4.2 ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีน 0.02%	25
4.3 ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีน 0.05%	28
4.4 ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีน 0.1%	31
4.5 ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีนออกไซด์ 0.02%	34
4.6 ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีนออกไซด์ 0.05%	37
4.7 ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีนออกไซด์ 0.1%	40
4.8 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของความสูง	43
4.9 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานที่ไม่มีการผสม	44
4.10 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02%	45
4.11 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05%	46
4.12 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1%	47
4.13 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02%	48
4.14 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05%	49
4.15 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1%	50
4.16 ตารางค่ามุมสัมผัสรวมที่วัดได้	
4.17 รูปของตัวอย่างที่ได้ทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	52
4.17.1 รูปกราฟีนและกราฟีนออกไซด์ที่ถ่ายด้วยกำลังขยาย 500 เท่า	52
4.17.2 รูปกราฟีนและกราฟีนออกไซด์ที่ถ่ายด้วยกำลังขยาย 50,000 เท่า	53
4.17.3 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสานที่ไม่มีการผสม	54
4.17.4 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02%	54
4.17.5 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05%	55
4.17.6 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1%	55
4.17.7 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.2%	56
4.16.8 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05%	56
4.16.9 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1%	57
4.18 การวัดค่าความต้านทานของสารเชื่อมผสาน	57

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
เอกสารอ้างอิง

หน้า
58
60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.27	แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่การผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02%	48
4.28	แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่การผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05%	49
4.29	แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่การผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1%	50
4.30	แสดงค่ามัมสัมผัสของแต่ละตัวอย่าง	51
4.31	ตารางแสดงค่าความต้านทานของสารเชื่อมประสาน	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	รูปแสดงบรรจุภัณฑ์ของสารเชื่อมผสม	3
2.2	รูปแสดงโลหะตีบุก	4
2.3	รูปแสดงโลหะเงิน	4
2.4	รูปแสดงโลหะทองแดง	4
2.5	รูปแสดงฟลักซ์ของสารเชื่อมผสม	5
2.6	รูปแสดงมุมสัมผัส (contact angle, θ)	5
2.7	แสดงการเปียก (Wetting) และมุมสัมผัสการเปียก (Contact angle)	6
2.8	รูปแสดงการแทรกสอดของคลื่นแบบเสริม	7
2.9	รูปแสดงการแทรกสอดของคลื่นแบบหักล้าง	7
2.10	รูปแสดงการแทรกสอดของคลื่นแสง	8
2.11	รูปการเลี้ยวเบนของคลื่น	8
2.12	รูปแสดงการสร้างภาพโฮโลแกรม	10
2.13	รูปแสดงการอ่านของภาพโฮโลแกรม	11
2.14	รูปแสดงโครงสร้างของคาร์บอน	13
2.15	แสดงโครงสร้างของแกรไฟต์	14
2.16	แสดงแบบจำลองของแกรไฟต์ออกไซด์ที่มีกลุ่มออกไซด์เกาะอยู่บนพื้นผิว	15
2.17	ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	16
2.18	รูปแสดงอุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมพื้นผิว	16
3.1	รูปแสดงตัวอย่างของสารเชื่อมผสม	17
3.2	รูปแสดงการเก็บสารตัวอย่าง	18
3.3	รูปแสดงการล้างแผ่นทองแดง	18
3.4	รูปแสดงบล็อกและสารที่ลงบล็อกเสร็จ	19
3.5	แทนความร้อนที่มีอุณหภูมิ 250 องศาเซียส	19
3.6	การจับเวลาที่ทำการหลอมสารเชื่อมผสม	19
3.7	รูปแสดงลำแสงขนานของเลเซอร์	20
3.8	รูปแสดงการติดตั้งอุปกรณ์และทางเดินแสง	20
3.9	รูปแสดงภาพหลังจากการถ่ายภาพ	20
3.10	รูปแสดงภาพหลังการReconstruction	21
4.1	ถ่ายด้วยกำลังขยาย 500 เท่า	52
4.2	ถ่ายด้วยกำลังขยาย 50,000 เท่า	53
4.3	ถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสมที่ไม่มีการผสม	54
4.4	รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสมที่มีการผสมของกราฟีน 0.02%	54
4.5	รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสมที่มีการผสมของกราฟีน 0.05%	55
4.6	รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสมที่มีการผสมของกราฟีน 0.1%	55
4.7	รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมผสมที่มีการผสมของกราฟีน 0.02%	58

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05%	58
4.9	รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1%	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

โลกในยุคปัจจุบันเป็นยุคแห่งการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาสิ่งที่เคยมีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้นพร้อมกับค้นคว้าหาสิ่งใหม่มาทดแทนสิ่งที่มีอยู่แล้ว และสามารถใช้งานได้ครอบคลุมมากขึ้น เนื่องจากในปัจจุบันการดำรงชีวิตของมนุษย์ขึ้นกับเวลาเกือบทั้งหมด ทำให้ปัจจัยหนึ่งที่น่าไปสู่การพัฒนาในด้านต่าง ๆ มีเรื่องของเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่หากสิ่งที่ต้องควบคุมกันมากที่สุดคือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องเต็มเปี่ยมไปด้วยคุณภาพและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้หน้าที่หลักในการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีจึงต้องมีการศึกษาค้นคว้าตลอดเวลาและสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงตัวมากที่สุด การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์ วิทยาศาสตร์และศาสตร์แขนงอื่นๆจึงต้องมีการพัฒนาที่ควบคู่กันไปเป็นการนำไปประยุกต์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่าแก่การวิจัยพัฒนามากที่สุด งานวิจัยนี้ก็เป็นงานวิจัยที่ใช้ความสัมพันธ์ของความเจริญก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์มาทำการศึกษาที่จะนำไปสู่การเกิดการพัฒนาด้านอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเจริญก้าวหน้าด้านเทคโนโลยี เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในปัจจุบันที่ต้องการในเรื่องของความทันสมัยและคุณภาพ ถ้าพูดถึงอิเล็กทรอนิกส์นั้นสิ่งที่จะนึกถึงเป็นลำดับต้นๆก็คือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบหลักก่อนที่จะไปประกอบเข้ากับโปรแกรมหรือโครงสร้างอื่นๆจนกลายเป็นอุปกรณ์หรือระบบหนึ่งๆขึ้นมา การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์เริ่มจากการออกแบบวงจร แล้วค่อยนำไปสู่การเชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแผงวงจร ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างมีความละเอียดอ่อน เนื่องจากหากชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไม่เชื่อมต่อกันก็จะทำให้ระบบวงจรมันไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นการเชื่อมผสานอุปกรณ์บนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับสารเชื่อมผสานแล้ววัดขนาดมุมของสารเชื่อมผสานเมื่ออยู่บนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้หลักการดิฟฟราซันโฮโลกราฟีเข้ามาช่วยในเรื่องการเปรียบเทียบความแตกต่างของมุมแล้วทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของสารเชื่อมผสานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาสารเชื่อมผสานชนิดใหม่
- 2) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของดิฟฟราซันโฮโลกราฟี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษานำไปใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 2) สามารถนำเทคนิคดิฟฟราซันโฮโลกราฟีไปใช้งานทางด้านตรวจสอบลักษณะของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

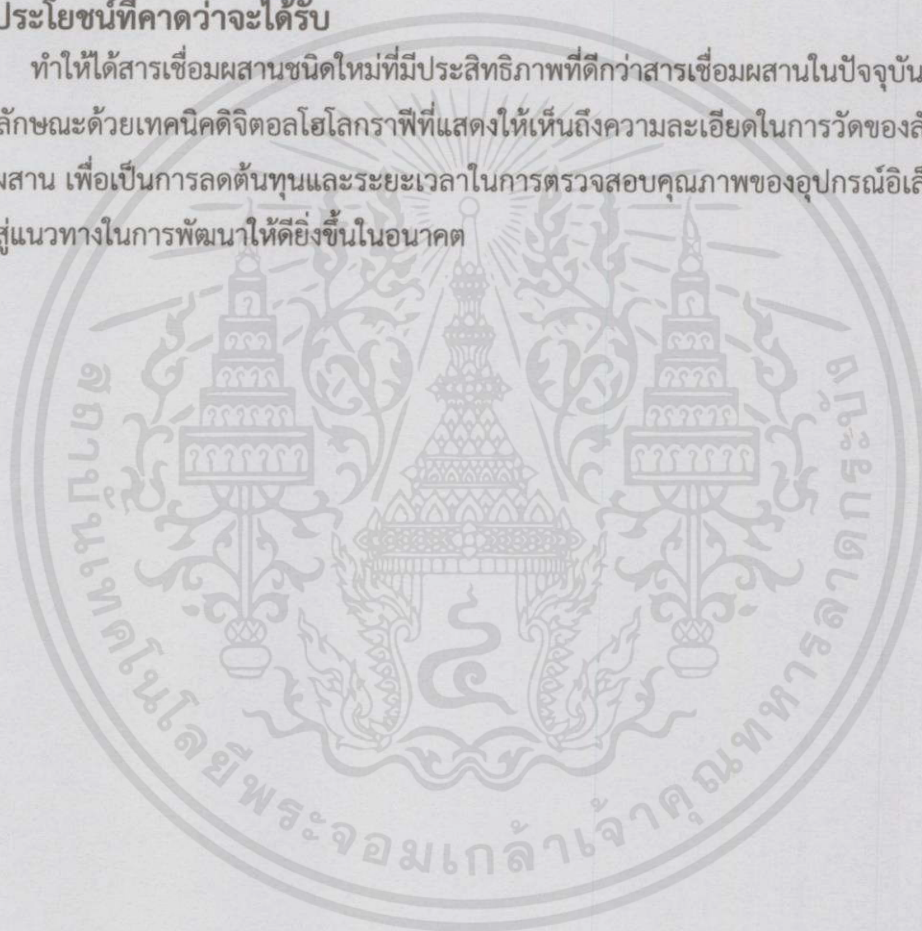
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการวิจัย

แผนการดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.
1.ศึกษาหาข้อมูล	→									
2.ทดลองใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี			→							
3.ทดลองกับสารเชื่อมผสมตัวอย่าง				→						
4.ปรับปรุงระบบ						→				
5.สรุปผลการทำงาน									→	

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ได้สารเชื่อมผสมชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสารเชื่อมผสมในปัจจุบันและวิธีการตรวจลักษณะด้วยเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟีที่แสดงให้เห็นถึงความละเอียดในการวัดของลักษณะสารเชื่อมผสม เพื่อเป็นการลดต้นทุนและระยะเวลาในการตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นำไปสู่แนวทางในการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต



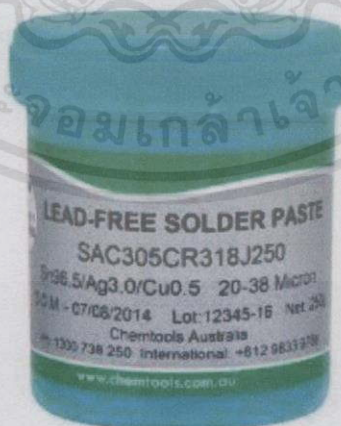
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีในด้านต่างๆ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบหนึ่งของโครงสร้างนั้นซึ่งจะทำหน้าที่หลากหลายออกไปแล้วแต่ลักษณะของงานโดยกลไกการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์ส่วนหนึ่งก็จะประกอบบนส่วนที่เรียกว่าแผงวงจร(Printed Circuit Board : PCB) แผงวงจรจะทำหน้าที่เป็นตัววางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตามแบบวงจรที่ออกแบบมาเพื่อใช้งาน ไม่ว่าจะเป็น ตัวIC (Integrated Circuit) ตัวต้านทาน (Resistance) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นต้น โดยชิ้นส่วนเหล่านั้นต้องทำการบัดกรีเพื่อให้อึดติดกับแผงวงจรเพื่อให้ได้ความคงทนของตัวอุปกรณ์และอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

2.1 สารเชื่อมผสม (Solder Paste)

เป็นสารเชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ติดกับแผงวงจร (PCB) สารบัดกรีทั่วไปจะเป็นโลหะที่หลอมเหลวง่ายผสมกับโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดี แต่ในอุตสาหกรรมปัจจุบันชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กลงที่เรียกว่าเทคโนโลยีการเชื่อมพื้นผิว (Surface Mount Technology : SMT) ในการบัดกรีแบบกึ่งของเหลวผสมของแข็ง(Solder Paste) ทำให้เชื่อมอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กได้ดี ทั้งนี้สารบัดกรีที่ใช้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติด โดยมีเงื่อนไขว่าสารนี้จะต้องมีสภาพต้านทานต่ำเพื่อให้กระแสไหลได้ดีและอายุการใช้งานให้นานยิ่งขึ้นและในสารเชื่อมผสมที่ใช้คือ SAC 305 สารเชื่อมผสมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายโดยมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้คือ ดีบุก (Sn) 96.5% เงิน (Ag) 3% และ ทองแดง (Cu) 0.5% ซึ่งสารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

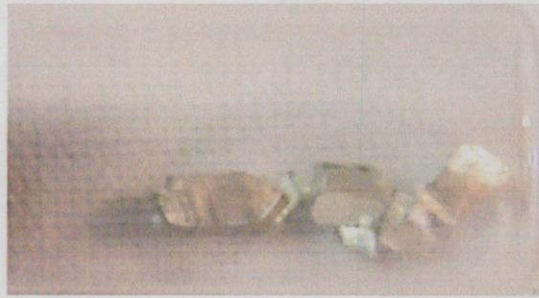


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.1 รูปแสดงบรรจุภัณฑ์ของสารเชื่อมผสม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ดีบุก (Tin) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 50 มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและนำความร้อนได้แต่ไม่ตี
มากและยังออกซิไดซ์ได้ดีในอากาศ มีจุดหลอมเหลวที่ประมาณ 230 องศาเซลเซียส และมีราคาถูก



รูปที่ 2.2 รูปแสดงโลหะดีบุก

2.1.2 เงิน (Silver) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 47 เป็นธาตุทรานซิชันมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีมาก มีจุดหลอมเหลวสูงและมีราคาสูงมาก



รูปที่ 2.3 รูปแสดงโลหะเงิน

2.1.3 ทองแดง (Copper) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 29 เป็นธาตุทรานซิชันมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีจุดหลอมเหลวสูงและมีราคาสูง



รูปที่ 2.4 รูปแสดงโลหะทองแดง

2.1.4 ฟลักซ์ (Flux) ตัวช่วยประสานที่ใช้ในการเชื่อมประสานซึ่งทำมาจากกรด ซึ่งมีทั้งกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์เพื่อช่วยในการป้องกันการเกิดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากดีบุกเพื่อให้สารเชื่อมประสานมีอายุในการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ผู้เขียนขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

116 Soldering Flux RMA-218

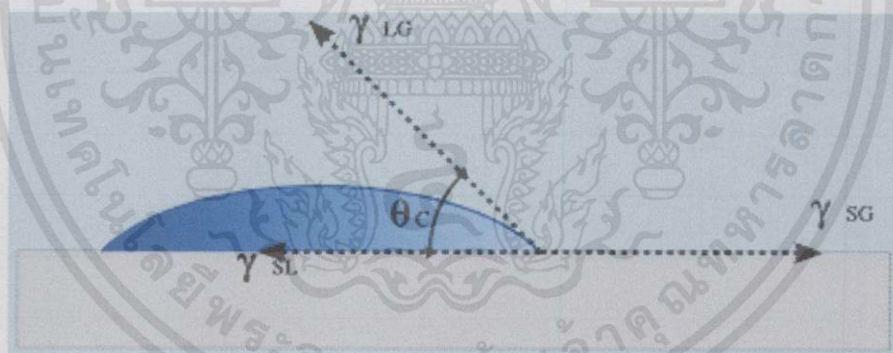


Sales05

รูปที่ 2.5 รูปแสดงฟลักซ์ของสารเชื่อมประสาน

2.2 ความสามารถในการเปียก (wetting)

ความสามารถของของเหลวในการรักษาหน้าสัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง ซึ่งเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลโดยระดับชั้นของสภาวะการเปียกขึ้นกับความสมดุลระหว่างแอดฮีชันและโคฮีชัน สภาวะการเปียกมีความสำคัญในการยึดติดกันของวัสดุสองชิ้น แรงยกตัว (Capillary Effect) ก็เป็นผลมาจากสภาวะการเปียกและแรงพื้นผิวที่กำหนดสภาวะการเปียก รูปร่างของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็งจะมีรูปร่างเป็นรูปทรงหยดน้ำค้าง



รูปที่ 2.6 รูปแสดงมุมสัมผัส (contact angle, θ) มุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างระนาบของปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-ก๊าซกับระนาบของปฏิสัมพันธ์ของเหลว-ของแข็ง มุมสัมผัสนี้เป็นผลมาจากสมดุลระหว่างแรงแอดฮีชันกับแรงโคฮีชัน

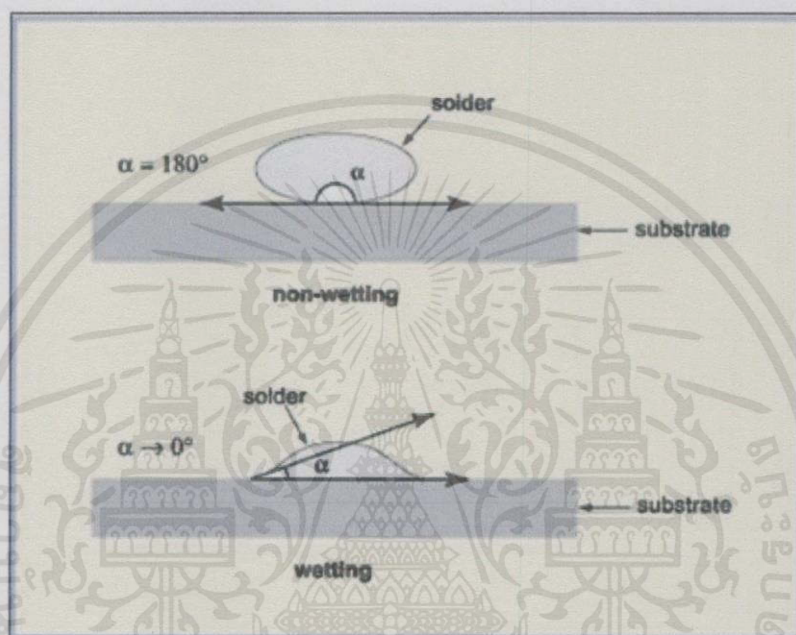
สำหรับแรงตึงผิวก็จะมีความสัมพันธ์กับการเปียก โดยหากแรงตึงผิวระหว่างน้ำประสานและผิวชิ้นงานมีมาก นั่นก็หมายความว่าน้ำประสานมีความสามารถในการเปียกต่ำบนผิวชิ้นงานนั้น จากรูปด้านล่าง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิว (Surface Tension: γ) กับมุมสัมผัส (Contact angle; θ)

มุมสัมผัสจะบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นผิวเรียบของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว ซึ่งมุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90° โดยทั่วไป หมายถึง สภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก และของเหลวจะกระจายออกไปเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้า
ไม่ทำการตีพิมพ์ซ้ำ ลิขสิทธิ์เป็นของสถาบันฯ และต้องอ้างอิงถึงว่าเอกสารที่ตีพิมพ์สามารถไปใช้

บริเวณกว้าง มุมสัมผัสที่มากกว่า 90° โดยทั่วไป หมายถึง สภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อยและจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง

ในกรณีเดียวกันกับการเปียกของน้ำประสานกับชิ้นงาน หากมุมสัมผัสระหว่างน้ำประสานกับผิวชิ้นงานมีขนาด 180° นั่นคือ น้ำประสานและชิ้นงานไม่เกิดการเปียกเลย ซึ่งก็มีผลให้น้ำประสานไม่เกาะกับชิ้นงานและหากมุมสัมผัสที่ว่ามีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จะทำให้น้ำประสานจะสามารถเกาะกับชิ้นงานได้มากขึ้น หากมุมสัมผัสของน้ำประสานกับผิวชิ้นงานมีขนาดเท่ากับ 0° ก็จะหมายความว่าน้ำประสานสามารถเปียกบนผิวชิ้นงานได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าจะให้งานเชื่อมประสานมีคุณภาพดี



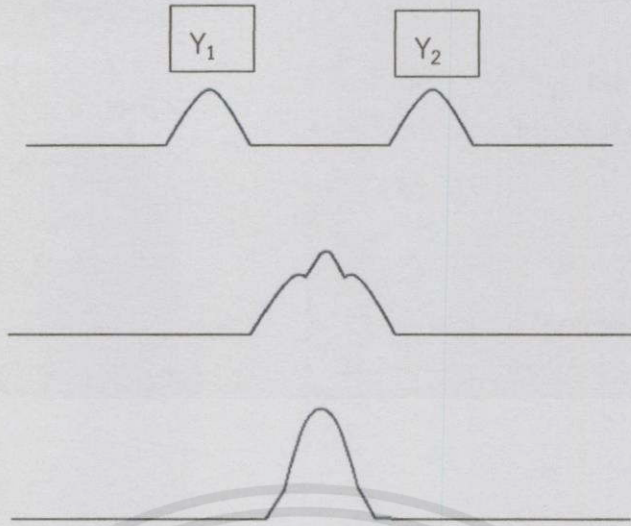
รูปที่ 2.7 แสดงการเปียก (Wetting) และมุมสัมผัสการเปียก (Contact angle)

2.3 การแทรกสอด (interference)

คือคลื่นสองคลื่นหรือมากกว่าสองที่อยู่ในตัวกลางเดียวกันเมื่อมารวมกันแบบหักล้างหรือแบบเสริมกันที่ตำแหน่งใดๆ ก็จะเป็นไปตามหลักการทับซ้อน (Principle of superposition) ซึ่งกล่าวว่า “ถ้าคลื่นสองคลื่นใดๆ หรือมากกว่าเคลื่อนที่มาพร้อมกันในตัวกลางเดียวกัน ผลรวมของคลื่นทั้งสอง ณ จุดใดๆ จะมีค่าเท่ากับผลบวกของแอมพลิจูดของฟังก์ชันคลื่นทั้งสอง ณ จุดนั้น” โดยสมการการแทรกสอดคือ

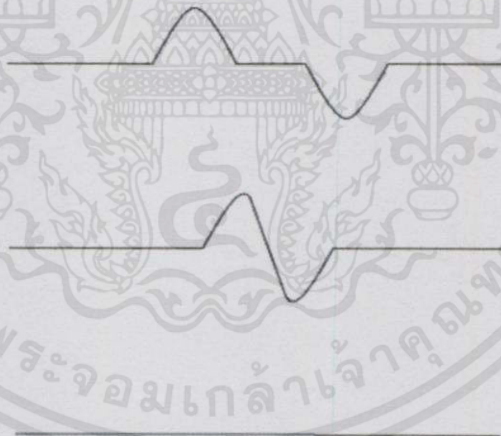
$$Y_1 + Y_2 + \dots \quad (2.1)$$

เมื่อ Y_1 และ Y_2 เป็นแอมพลิจูดของคลื่น Y_2 มีทิศขึ้นเหมือนดังรูปที่ 2.7 ก็จะเป็นบวกแต่ถ้าตรงข้ามจะลบ
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



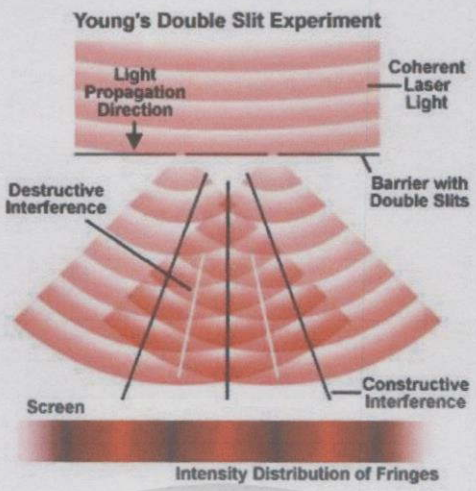
รูปที่ 2.8 รูปแสดงการแทรกสอดของคลื่นแบบเสริม

เมื่อพิจารณาผลต่างเฟส ถ้าคลื่นทั้งสองมีเฟสตรงข้ามกัน (anti phase) จะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง (destructive interference) และถ้าคลื่นทั้งสองมีเฟสตรงกัน (in phase) จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริม (constructive interference)



รูปที่ 2.9 รูปแสดงการแทรกสอดของคลื่นแบบหักล้าง

ถ้าแหล่งกำเนิดเป็นคลื่นแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงสองแหล่งหรือมากกว่า กำเนิดคลื่นแสงที่มีเฟสสัมพันธ์กันคงที่ตลอดเวลาซึ่งเรียกว่า แสงโคฮีเรนต์ โดยความสว่างของแสงรวมจะไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือ เกิดกับแถบที่มีความสว่างน้อยและความสว่างมากหรือแถบมืดและแถบสว่าง ที่เรียกว่า รู้อการแทรกสอด (Interference fringes) หากต้องการหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

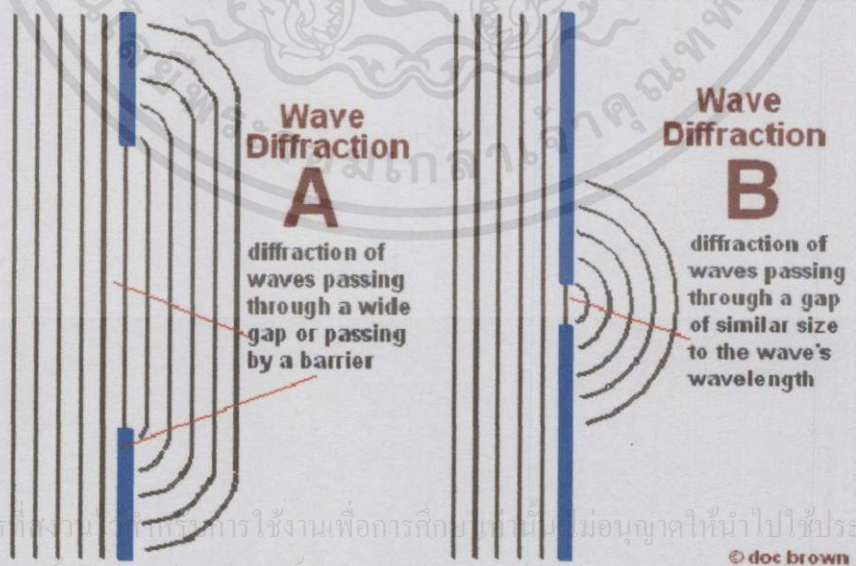


รูปที่ 2.10 รูปแสดงการแทรกสอดของคลื่นแสง

การแทรกสอดของคลื่นจะเกิดขึ้นได้นั้น คลื่นที่รวมกันจะต้องมีความยาวคลื่นเท่ากัน และการแทรกสอดจะดำรงอยู่ได้อย่างเท่ากันนั้น คลื่นที่รวมกันจะต้องมีความสัมพันธ์กันทางเฟสคงที่ คลื่นที่มีความสัมพันธ์กันทางเฟสคงที่นี้ เรียกว่า โคฮีเรนซ์(coherence) ถ้าคลื่นจากสองแหล่งไม่มีเฟสที่สัมพันธ์กัน เรียกว่า อินโคฮีเรนซ์ (incoherence)

2.4 การเลี้ยวเบน (Diffraction of Wave)

การที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านขอบหรือช่องเล็กๆ จะเกิดการเลี้ยวเบนของคลื่นผ่านขอบหรือช่องนั้นได้โดยใช้หลักของฮอยเกนส์ ซึ่งกล่าวไว้ว่า " ทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นอาจถือได้ว่าเป็นจุดกำเนิดคลื่นใหม่ที่ให้คลื่นความยาวคลื่นเดิมและเฟสเดียวกัน " หากคลื่นผ่านช่องที่มีขนาดมากกว่าความยาวคลื่น จะทำให้เกิดการแทรกสอดของคลื่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้เพื่อการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 รูปการเลี้ยวเบนของคลื่น

2.5 โฮโลแกรม (Hologram)

โฮโลกราฟี (Holography) คือ กระบวนการสร้างภาพโฮโลแกรม ซึ่งเป็นภาพที่บันทึกลงบนฟิล์มหรือแผ่นเคลือบด้วยสารสำหรับบันทึกแสง ซึ่งผ่านเทคนิคการบันทึกด้วยการใช้ แสงที่มีหน้าคลื่นสอดคล้องกัน (coherence) เช่น แสงเลเซอร์ โฮโลกราฟี เป็นเทคนิคที่ช่วยให้แสงกระจายจากวัตถุที่จะบันทึกและได้ถูกสร้างขึ้นใหม่ต่อมา เพื่อให้ปรากฏเป็นวัตถุอยู่ในตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับการบันทึก การเปลี่ยนแปลงรูปแบบตำแหน่งและทิศทางของการระบการมองเห็นช่วยให้แสงกระจายจากวัตถุที่จะบันทึกและได้ถูกสร้างขึ้นใหม่ เพื่อให้ปรากฏเป็นวัตถุอยู่ในตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับการบันทึก “โฮโลแกรม ก็คือ บันทึกของรูปแบบการแทรกสอดของลำแสง ที่มีหน้าคลื่นสอดคล้องกัน 2 ลำ” ภาพที่ถูกสร้างขึ้นมาจากการแสงเลเซอร์ โดยบันทึกวีรรอยของการแทรกสอด (Interference Pattern) ของแสงเลเซอร์ ทำให้เราสามารถมองเห็นภาพที่แตกต่างจากภาพทั่วไป ซึ่งไม่มีความลึกทางมิติของภาพ โดยภาพที่ได้จะเป็นภาพแบนๆ เรียบๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับจะพบว่าภาพที่มาจาก การบันทึกโดยเทคนิคโฮโลแกรมนั้นจะดูสวยงามมากขึ้นและยังมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีกด้วย

โฮโลแกรมนี้ถูกค้นพบโดยเดนนิส กาบอร์ (Dennis Gabor, 1900-1979) วิศวกรไฟฟ้าชาวฮังการี ในวันอีสเตอร์ ปี ค.ศ. 1947 โดยกาบอร์ได้ค้นพบหลักการของโฮโลกราฟีโดยบังเอิญ ในระหว่างที่พัฒนาปรับปรุงคุณภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่บริษัท British Thomson-Houston ที่เมือง Rugby ประเทศอังกฤษ จากการค้นพบนี้กาบอร์ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1971 เทคนิคที่คิดค้นเดิมยังใช้อยู่ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่เป็นที่รู้จักกันในชื่อภาพสามมิติอิเล็กตรอน แต่ภาพสามมิติเป็นเทคนิคแสงซึ่งไม่ได้มีการพัฒนาอย่างจริงจัง จนกระทั่งมีการพัฒนาของเลเซอร์ในปี 1960

โฮโลแกรมแสงที่ใช้ได้จริงชิ้นแรกนั้นบันทึกอยู่ในรูปของวัตถุ 3D ซึ่งถูกสร้างขึ้นในปี 1962 โดย Yuri Denisyuk ในสหภาพโซเวียตและโดย Emmett Leith และ Juris Upatnieks ที่ University of Michigan ประเทศสหรัฐอเมริกาความก้าวหน้าในเทคนิคการประมวลผลโฟโตเคมีคัลเป็นการผลิต เพื่อแสดงภาพโฮโลแกรมที่มีคุณภาพสูง ซึ่งทำได้สำเร็จโดย Nicholas J. Phillips

โฮโลแกรมแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ White-light hologram ซึ่งภาพโฮโลแกรมที่บันทึกนั้น สามารถมองเห็นได้ด้วยการส่องสว่างด้วยแสงสว่างจากธรรมชาติและอีกประเภทหนึ่งคือ ภาพโฮโลแกรมที่ต้องถูกส่องสว่างด้วยแสงเลเซอร์หรือแสงที่มีสภาพหน้าคลื่นสอดคล้องกันในระดับหนึ่ง ถึงจะมองเห็นภาพ 3 มิติได้นอกจากนี้ยังอาจแบ่งโฮโลแกรมออกได้เป็น Transmission hologram, Reflection hologram, Image-plane hologram เป็นต้น

ที่โฮโลแกรมหลายชนิดนั้นสามารถทำได้ การส่งผ่านของโฮโลแกรมเช่นการผลิตโดย Leith และ Upatnieks ซึ่งถูกทำให้มองเห็นได้โดยส่องแสงเลเซอร์ผ่านวัตถุและมองภาพที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จากโฮโลแกรมด้านตรงข้ามของแหล่งที่มา การปรับแต่งภายหลังการหรือการส่งผ่านแถบสี โฮโลแกรมช่วยให้แสงสว่างโดยแสงสีขาวมากกว่าโดยเลเซอร์ แถบสีโฮโลแกรมเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบันบนบัตรเครดิต ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านความปลอดภัยและในการบรรจุสินค้ารุ่นนี้ของการส่งผ่านแถบสีโฮโลแกรมเกิดขึ้นโดยทั่วไป เป็นรูปแบบผิวในฟิล์มพลาสติกและวัตถุรวมเคลือบอะลูมิเนียมสะท้อนแสงที่ ให้แสงสว่างจาก "ด้านหลัง" เพื่อสร้างภาพของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

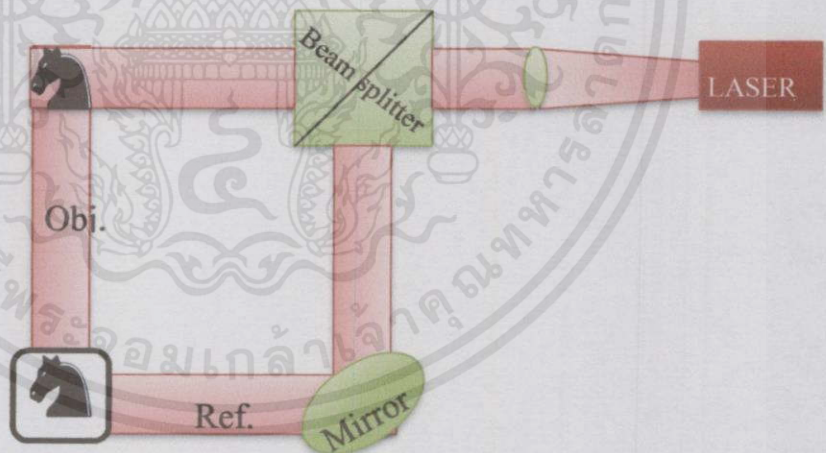
2.5.1 วิธีการทำงานของโฮโลกราฟีและโฮโลแกรม

ภาพโฮโลแกรมจะใช้หลักการสร้างภาพให้มีการแทรกสอดของแสงที่มาจากกระทรูปภาพโดยการฉายแสงเลเซอร์จากแหล่งเดียวกัน แยกเป็น 2 ลำแสง ลำแสงหนึ่งเป็นลำแสงอ้างอิงเล็งตรงไปที่แผ่นฟิล์ม อีกลำแสงหนึ่งเล็งไปที่วัตถุและสะท้อนไปยังฟิล์ม แสงจากทั้งสองแหล่งจะถูกบันทึกไว้บนฟิล์มในรูปแบบของการแทรกสอด (Interference Pattern) ซึ่งมองไม่คล้ายกับรูปของวัตถุต้นแบบ ก่อให้เกิดภาพเสมือน (Virtual image) ขึ้นมาตามมุมของแสงที่มาตกระทบ ทำให้ตาของเรา รับแสงอีกด้านหนึ่งของแผ่นโฮโลแกรมเกิดเห็นภาพ 3 มิติขึ้น

การสร้างโฮโลแกรมแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) การบันทึกภาพ (recording of image) เป็นการบันทึกแถบการสอดแทรกเชิงซ้อน (Complex interference patterns) ซึ่งเกิดจากที่แต่ละแสงเลเซอร์ 2 ลำแสงซ้อนทับกันอยู่ (Superposition) แถบการสอดแทรกเชิงซ้อนนี้จะถูกบันทึกไว้บนฟิล์มถ่ายรูป (Photographic film)

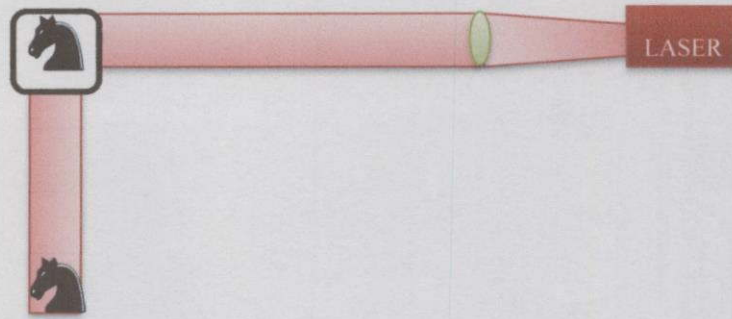
2) การสร้างภาพ (reconstruction of image) เป็นการสร้างภาพ 3 มิติขึ้นจากแผ่น



รูปที่ 2.12 รูปแสดงการสร้างภาพโฮโลแกรม

2.5.2 หลักการอ่านภาพ (Reconstruction) ของโฮโลแกรม

โดยการอ่านของภาพโฮโลแกรมโดยใช้หลักการเดียวกับการสร้างภาพโฮโลแกรม โดยจะต้องใช้แสงที่มีความยาวค่าเดียวกับที่บันทึกและมุมที่ถูกบันทึกเพื่ออ่านภาพไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งถูกบันทึกมา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 รูปแสดงการอ่านของภาพโฮโลแกรม

2.5.3 ดิจิตอลโฮโลแกรม

โดยหลักการจะเหมือนกับโฮโลแกรมแต่จะต่างกันโดยที่เราจะบันทึกโดยใช้กล้องเป็นฉากรับภาพแทนแผ่นฟิล์มเราจึงเรียกว่าดิจิตอลโฮโลแกรม

2.5.4 หลักการอ่านภาพ (Reconstruction) ของโฮโลแกรม โดยวิธี Angular spectrum

คือวิธีการที่ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้ามาอธิบายสนามทางแสงของระนาบการแพร่ของแสง รวมทั้งยังใช้ในการสร้างภาพขึ้นใหม่ในดิจิตอลโฮโลแกรม วิธีการนี้จะใช้ Fourier transform และ Inverse Fourier transformation เพื่อสร้างดิจิตอลโฮโลแกรมเช่นเดียวกับวิธี Huygens convolution แต่จะมีข้อดีกว่าในระยะทางของการสร้างภาพใหม่ วิธีการ Angular Spectrum สามารถสร้างภาพขึ้นใหม่ได้อย่างถูกต้องในระยะทางที่วัตถุอยู่ใกล้ๆ เมื่อเทียบกับวิธีการของ Huygens convolution

สมมติว่าที่ระนาบ $z = 0$ คือที่ระนาบวัตถุ (ξ, η) และระนาบของสนามวัตถุ $O(\xi, \eta)$ และใช้ Fourier transform แบบ 2 มิติ จะได้ว่า

$$O'(f_\xi, f_\eta; 0) = F\{O(\xi, \eta, 0)\} \quad (2.3)$$

$$= \iint_{-\infty}^{\infty} O(\xi, \eta, 0) \exp[-j2\pi(f_\xi \xi + f_\eta \eta)] d\xi d\eta \quad (2.4)$$

และสามารถเขียน Inverse Fourier Transform ของ angular spectrum ได้ว่า

$$O'(f_\xi, f_\eta; 0) = F^{-1}\{O'(f_\xi, f_\eta, 0)\} \quad (2.5)$$

$$= \iint_{-\infty}^{\infty} O'(f_\xi, f_\eta, 0) \exp[-j2\pi(f_\xi \xi + f_\eta \eta)] df_\xi df_\eta \quad (2.6)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ f_ξ และ f_η เป็นส่วนประกอบของความถี่เชิงพื้นที่ (spatial frequency) โดยพิจารณาเป็นระนาบที่คลื่นแพร่ไปด้วยทิศแบบโคไซน์ (cosines) ส่วนประกอบของความถี่เชิงพื้นที่นั้นคือ

$$\alpha = \lambda f_\xi \beta = \lambda f_\eta \gamma = \sqrt{1 - (\lambda f_\xi)^2 - (\lambda f_\eta)^2} \quad (2.7)$$

ได้เป็น

$$O'(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}; 0) = \iint_{-\infty}^{\infty} O(\xi, \eta, 0) \exp[-j2\pi(\frac{\alpha}{\lambda}\xi + \frac{\beta}{\lambda}\eta)] d\xi d\eta \quad (2.8)$$

หลังจากที่แพร่ไประยะทาง z ส่วนประกอบในเลขชี้กำลังจะได้รับมาจากตัวประกอบของ

$$O'(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}; z) = \iint_{-\infty}^{\infty} O(\xi, \eta, 0) \exp[-j2\pi(\frac{\alpha}{\lambda}\xi + \frac{\beta}{\lambda}\eta)] \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z) d\xi d\eta \quad (2.9)$$

$\exp(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z)$ ซึ่ง angular spectrum ของสนามวัตถุนั้นคือ

$$= F\{O(\xi, \eta, 0) \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z)\} \quad (2.10)$$

และนำสมการที่ได้นั้นมาทำการ inverse ของ Fourier transform

$$O'(x, y, z) = \iint_{-\infty}^{\infty} O(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}, 0) \exp[-j2\pi(\frac{\alpha}{\lambda}\xi + \frac{\beta}{\lambda}\eta)] \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z) d\frac{\alpha}{\lambda} d\frac{\beta}{\lambda} \quad (2.11)$$

$$= F^{-1}\{O'(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}; 0) \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z)\} \quad (2.12)$$

เนื่องจากการแพร่ของคลื่นจากระนาบของวัตถุไปยังระนาบโฮโลแกรมด้วยระยะ z ดังนั้นสนามทางแสงบนระนาบโฮโลแกรมจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดหรือต้องการแจ้งแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h(x, y, z) = O(x, y, z) = \iint_{-\infty}^{\infty} O'(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}, 0) \exp[-j2\pi(\frac{\alpha}{\lambda}\xi + \frac{\beta}{\lambda}\eta)] \exp(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z) d\frac{\alpha}{\lambda} d\frac{\beta}{\lambda} \quad (2.13)$$

$$=F^{-1}\left\{O'\left(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}, 0\right) \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} \gamma z\right)\right\} \quad (2.14)$$

$$=F^{-1}\left\{F\{O'(x, y, 0)\} \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} \gamma z\right)\right\} \quad (2.15)$$

ในทำนองเดียวกันสนามของแสงบนระนาบของการสร้างภาพขึ้นใหม่ $R(\xi', \eta')$ สามารถเขียนได้ในรูป Inverse Fourier Transform จากสนามไฮโลแกรม

$$R(\xi', \eta', z) = F^{-1}\left\{F\{h(x, y, 0)\} \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} \gamma z\right)\right\} \quad (2.16)$$

2.6 คาร์บอนอัลโลโทรปป์ (Carbon Allotropes)

คือกลุ่มของคาร์บอนที่มีการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกันไป เช่น แกรไฟต์คือคาร์บอนที่เรียงเป็นชั้นๆ บัคมินสเตอร์ฟูลเลอร์ีนที่มีอะตอมของคาร์บอนเกาะกันเป็นวงกลม คาร์บอนนาโนทูป คือคาร์บอนที่เรียงต่อกันเป็นท่อที่มีความแข็งแรงมาก

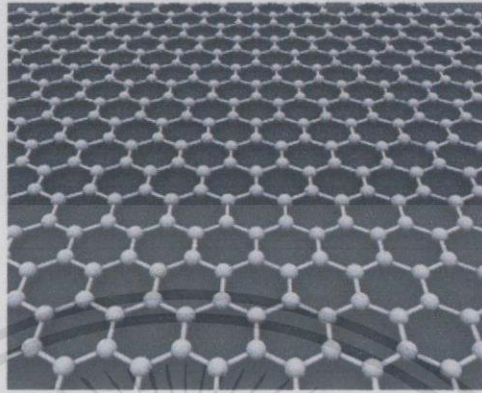


รูปที่ 2.14 รูปแสดงโครงสร้างของคาร์บอน

2.6.1 กราฟีน (Graphene)

กราฟีน เป็นรูปแบบหนึ่งของผลึกคาร์บอนเคียงข้างกับเพชร, แกรไฟท์ (Graphite), ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotubes) และ fullerenes โดยที่อะตอมของคาร์บอนจะเรียงตัวในรูปแบบหกเหลี่ยมเรียงกันไป อะตอมของคาร์บอนแต่ละอะตอมยึดกันไว้ด้วยพันธะโควาเลนต์ (Covalence bond) กราฟีนสามารถอธิบายได้ว่าเป็นชั้นหนาเพียงอะตอมเดียวของแร่แกรไฟต์ที่เป็นชั้นๆ กราฟีนที่มีคุณภาพสูง มีความแข็งแรงมาก น้ำหนักเบา (กราฟีน

ขนาด 1 ตารางเมตรมีน้ำหนักเพียง 0.77 มิลลิกรัมเท่านั้น) เกือบโปร่งใสและเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี การที่มันมีปฏิสัมพันธ์ที่ตื่กับวัสดุอื่นๆและกับแสง การที่โดยธรรมชาติเป็นแบบสองมิติของมัน ทำให้มันมีคุณสมบัติเฉพาะที่ไม่เหมือนใคร



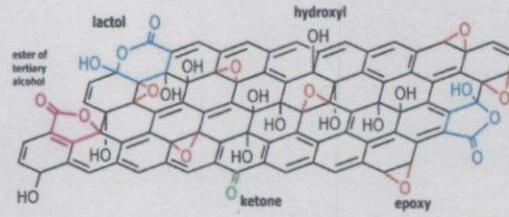
รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของกราฟีน

กราฟีนแตกต่างจากวัสดุสามมิติทั่วไป กราฟีนที่แท้จริงเป็นสารกึ่งตัวนำแบบกึ่งโลหะหรือแบบช่องว่างเป็นศูนย์ การทำความเข้าใจโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ของกราฟีนเป็นจุดเริ่มต้นในการหาแลบโครงสร้างของแกรไฟท์ ในปี 1947 พ็อาร์ วอลเลซ ได้รับรู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับโมเมนตัม (ความสัมพันธ์แบบกระจาย) เป็นเส้นตรง สำหรับพลังงานต่ำ ใกล้มุมทั้งหกของ Brillouin โซนหกเหลี่ยมสองมิติ นำไปสู่มวลที่มีประสิทธิภาพเป็นศูนย์ สำหรับอิเล็กตรอนและโฮลอิเล็กตรอนและโฮลใกล้จุดทั้งหกเหล่านี้ มีสองตัวที่ไม่เหมือนกัน ทำตัวเหมือนอนุภาคสัมพันธ์ ที่อธิบายได้โดยสมการ Dirac สำหรับอนุภาคสปิน 1/2 ดังนั้นอิเล็กตรอนและโฮลจึงถูกเรียกว่า Dirac fermions และทมุมของ Brillouin โซนจะถูกเรียกว่าจุด Dirac

ในด้านการนำไปใช้ประโยชน์ กราฟีนมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่างในการนำไปประยุกต์ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประการแรกคือมีค่าโมบิลิตี (mobility) ของตัวนำที่สูงในอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่าประมาณ $40,000 \text{ cm}^2/\text{Volt}\cdot\text{s}$ ค่าโมบิลิตีที่สูงนี้ทำให้การนำกราฟีนไปประยุกต์ใช้เป็นทรานซิสเตอร์ส่งผลให้เกิดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานได้เร็วขึ้น สมบัติอีกอย่างของกราฟีนคือการนำความร้อน (thermal conductivity) ได้ดี มีค่าสูงถึง $5,000 \text{ W/mK}$

2.6.2 กราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide)

เป็นกราฟีนอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีด้วยการใช้กรดแก่หรือตัวออกซิเดนต์มาทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์กับแกรไฟท์ คุณสมบัติของกลุ่มออกไซด์ (Oxide), ไฮดรอกซิล (Hydroxyl), คาร์บอกซิลิก (Carboxylic) และคาร์บอนิล (Carbonyl) จะเข้าไปแทรกและเกาะเต็มระนาบพื้นผิวในแต่ละชั้นของแกรไฟท์ ทำให้ในแต่ละชั้นของแกรไฟท์มีขนาดกว้างขึ้น และยังช่วยลดแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างชั้นของแกรไฟท์อีกด้วย ถ้าหากแกรไฟท์ออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยคลื่นความถี่สูงเพียงชนิดเดียวก็จะทำให้ได้กราฟีนออกไซด์



รูปที่ 2.16 แสดงแบบจำลองของแกรไฟต์ออกไซด์ที่มีกลุ่มออกไซด์เกาะอยู่บนพื้นผิว

2.7 โปรแกรม MATLAB

คอมพิวเตอร์ได้สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในเชิงตัวเลขโดยมีภาษาทางคอมพิวเตอร์หลายตัวที่ช่วยในการแก้ปัญหา เช่น ภาษา C, Fortran, Pascal เป็นต้น การใช้โปรแกรมภาษา C, Fortran และ Pascal ในการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขและกราฟิกที่มีความซับซ้อนค่อนข้างจะยุ่งยากและเสียเวลามาก เพราะต้องใช้คำสั่งเป็นจำนวนมากและมีรูปแบบคำสั่งที่แน่นอนเพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลขและกราฟิกที่ซับซ้อนให้ง่ายต่อการใช้งาน มีความรวดเร็วและการเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยาก

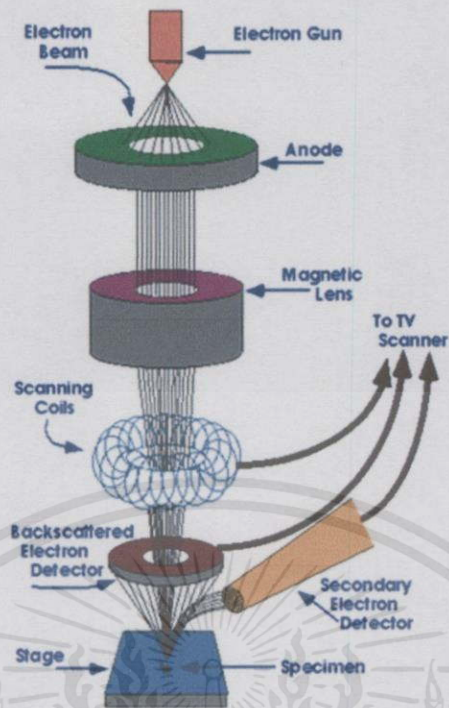
MATLAB ถูกค้นพบโดย Cleve Moler ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่มาพร้อมด้วยสภาพแวดล้อมการทำงานเชิงโต้ตอบ (คล้ายเครื่องคิดเลข) ซึ่งสามารถคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วมากกว่าภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น ภาษา C, C++ หรือ Fortran ใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Computing) แสดงผลกราฟิกและเขียนแอปพลิเคชัน ทำให้เราสามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนาอันกอลิซึม สร้างแบบจำลองและแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็วมาก Matlab สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายสาขามาก ทั้งการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) การสื่อสาร (Communication) การประมวลผลภาพและวิดีโอ (Image and Video Processing) ระบบควบคุม (Control System) การวัดและควบคุม (Instruments and Control) การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ (Economic) การคำนวณทางชีววิทยา (Biology) และอื่นๆ

2.8 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ในปี พ.ศ. 2478 แมก นอลล์ (Max Knoll) ได้คิดค้นหลักการและวิธีการในการประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดขึ้น และต่อมา แมนเฟรด วอน อาเดนเน (Manfred Von Ardenne) ได้ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเครื่องแรกสำเร็จในปี พ.ศ. 2481 โดยเครื่องมือที่ประดิษฐ์ได้นั้นยังมีกำลังขยายไม่สูงมากนัก ต่อมาในปี พ.ศ. 2498 ชาร์ลส์ วิลเลียม แอ็ทลีย์ (Charles William Oatley) และทีมงานจากเคมบริดจ์ ได้สร้างกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีความละเอียดสูงถึง 250 อังสตรอม

การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 2.5.1 เริ่มจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งมีหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนจากไส้หลอด กลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า พร้อมทั้งบังคับกลุ่มอิเล็กตรอนให้มีลักษณะเป็นลำ โดยลำอิเล็กตรอนจะกราดไปบนพื้นผิวของตัวอย่างโดยชดชวดสนามแม่เหล็กบนระนาบเอกซ์ - วาย เพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ และจะถูกตรวจจับโดยเซนเซอร์ เพื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งต่อไปให้ระบบสร้างภาพต่อไป

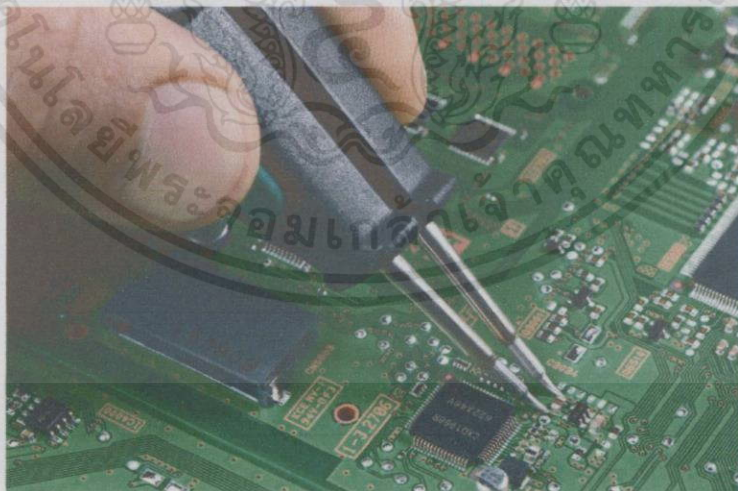
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงบนสื่อออนไลน์ของเอกสารทุกกรณีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.9 เทคโนโลยีการเชื่อมบนพื้นผิว (surface mount technology : SMT)

เทคโนโลยีเชื่อมพื้นผิว (SMT) เป็นวิธีหยอดสารเชื่อมประสานลงไปในแผงวงจร โดยจะใช้กับอุปกรณ์ที่ผลิตมาเพื่อใช้กับเทคโนโลยีเชื่อมพื้นผิว ในการใช้เทคโนโลยีนี้ทำให้มีขนาดวงจรที่เล็กลงทำให้ได้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กตามไปด้วย



รูปที่ 2.18 รูปแสดงอุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการทดลอง (เตรียมสารเชื่อมประสาน)

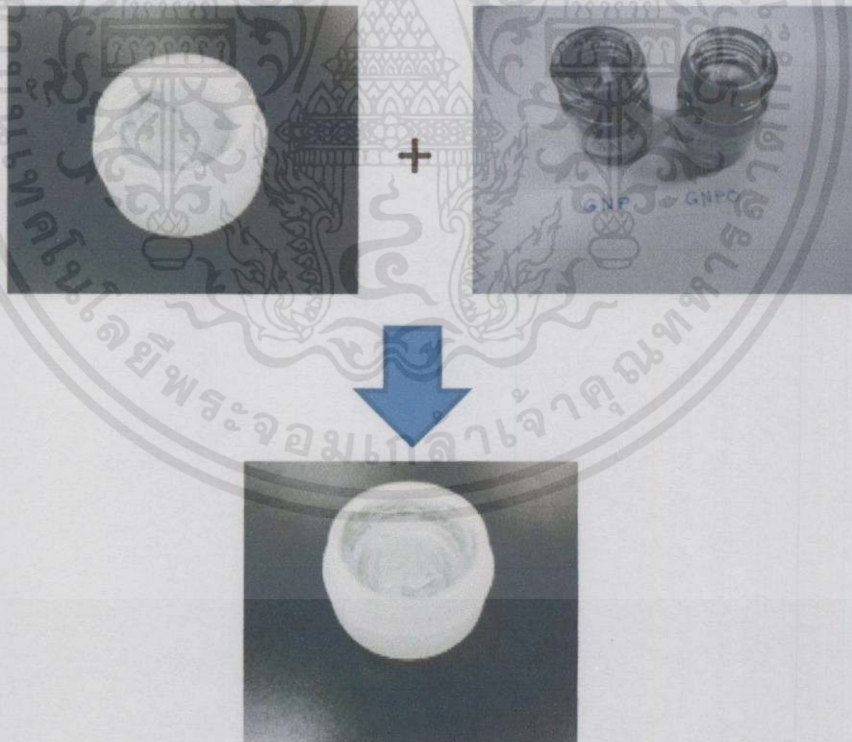
ขั้นตอนที่ 1 ผสมสารเชื่อมประสานกับกราฟีนและกราฟีนออกไซด์โดยใช้การผสมต่อน้ำหนักตามสมการที่ 3.1

$$WT\% = \frac{\text{weight nano}}{\text{weight nano} + \text{weight solder}} \times 100\% \quad (3.1)$$

โดยใช้ $WT\% = 0.02\% \approx \frac{0.001}{5+0.001} \times 100\%$

$$WT\% = 0.05\% \approx \frac{0.0025}{5+0.025} \times 100\%$$

$$WT\% = 0.1\% \approx \frac{0.005}{5+0.005} \times 100\%$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.1 รูปแสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากผสมเสร็จแล้ว นำสารเชื่อมประสานที่เตรียมไว้นำไปเก็บไว้ในตู้เก็บความเย็นเพื่อเก็บความชื้นหรือรักษาสภาพของสารตัวอย่างให้มีสภาพคงตัวตามอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นเวลา 1 วัน ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแสดงการเก็บสารตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 3 นำแผ่นทองแดงที่ตัดเตรียมไว้ไปล้างในน้ำกรดไฮโดรคลอริก(HCl) เพื่อขจัดไอออนต่างๆบนแผ่นทองแดงออกและเพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างต่อในน้ำเอทานอลเพื่อล้างความเป็นกรดออก ตากแห้งในอุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 3.3



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.3 รูปแสดงการล้างแผ่นทองแดง

(ก) ล้างแผ่นทองแดงในน้ำกรดไฮโดรคลอริก

(ข) ล้างแผ่นทองแดงในเอทานอลเพื่อล้างกรดไฮโดรคลอริก

(ค) ตากให้แห้ง

ขั้นตอนที่ 4 นำสารตัวอย่างที่เก็บไว้ออกจากตู้เก็บความเย็นปล่อยให้คลายความเย็นที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้สารตัวอย่างอยู่ในสถานะพร้อมใช้งานเป็นเวลา 20 นาทีโดยประมาณ จากนั้นใช้ช้อนตักสารตัวอย่างใส่ลงในบล็อกพิมพ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5.5 มิลลิเมตร สูง 1.5 มิลลิเมตร จากนั้นใช้บล็อกกดสารตัวอย่างที่เกินออกและยกบล็อกพิมพ์ขึ้นช้าๆจะได้สารตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.4



ก)



ข)

รูปที่ 3.4 รูปแสดงบล็อกและสารที่ลงบล็อกเสร็จ

(ก) บล็อกพิมพ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5.5 มิลลิเมตร
สูง 1.5 มิลลิเมตร

(ข) เมื่อทำการลงบล็อกสารเสร็จ

ขั้นตอนที่ 5 เปิดเครื่องแทนความร้อนให้พร้อมใช้งานที่อุณหภูมิ 250 – 260 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.5 แทนความร้อนที่มีอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

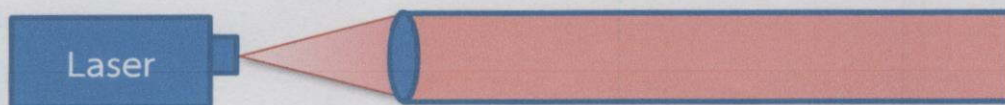
ขั้นตอนที่ 6 นำแผ่นทองแดงที่มีสารตัวอย่างแต้มไว้ วางไว้บนเครื่องแทนให้ความร้อนเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นหยิบแผ่นทองแดงออกทิ้งไว้ให้สารตัวอย่างมีอุณหภูมิลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิรูปที่ 3.6 การจับเวลาที่ทำการหลอมมีสารเชื่อมประสานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

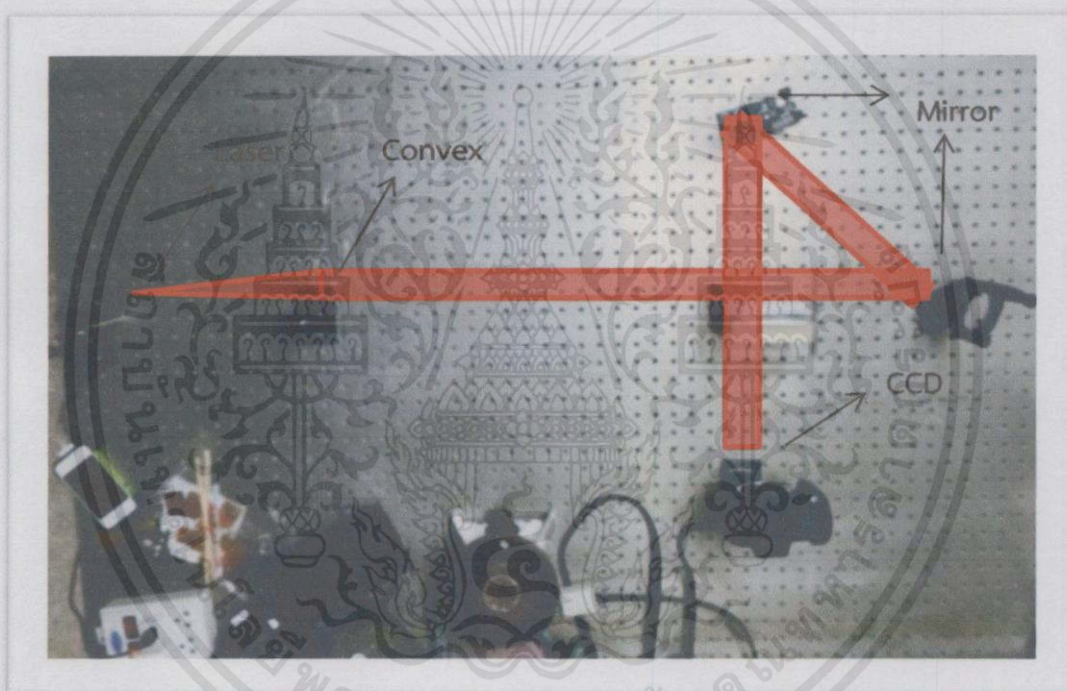
3.2 วิธีการทดลอง (จัดเครื่องมือดิจิทัลไฮโลกราฟี)

ขั้นตอนที่ 1 นำเลเซอร์ที่เป็นแหล่งกำเนิดยิงเข้าเลนส์นูนเพื่อทำให้เป็นลำแสงขนาน ดังรูป 3.7



รูปที่ 3.7 รูปแสดงลำแสงขนานของเลเซอร์

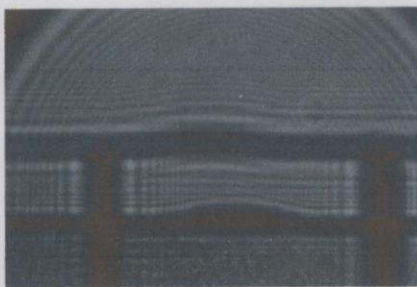
ขั้นตอนที่ 2 นำแผ่นกระจกสะท้อนมาวางบนระนาบของแสงเพื่อให้เกิดการสะท้อนดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 รูปแสดงการติดตั้งอุปกรณ์และทางเดินแสง

ขั้นตอนที่ 3 ทำการบันทึกภาพก่อนทดลองและหลังการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่าง ซึ่งเราจะได้ภาพทั้งหมด 2 มุมด้วยกัน ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 รูปแสดงภาพหลังจากการถ่ายภาพ

ขั้นตอนที่ 4 นำภาพที่ได้ไปทำการ Reconstruction ในโปรแกรม Math Lab เพื่อปรับหาความละเอียดภาพที่ชัดที่สุดและวัดขนาดของมุมสัมพันธ์



รูปที่ 3.10 รูปแสดงภาพหลังการ Reconstruction

ขั้นตอนที่ 5 นำภาพหลังจาก Reconstruction ที่ได้มาวัดค่าความสูงในโปรแกรม Math Lab พร้อมบันทึกภาพที่ทำการวัดความสูงแล้ว

ขั้นตอนที่ 6 ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบละเอียดวัดค่าความสูงของตัวอย่างที่ทำการหลอมละลายแล้วมาวัดความสูง พร้อมบันทึกผล

ขั้นตอนที่ 7 นำผลการทดลองในขั้นตอนที่ 4-6 มาทำการเปรียบเทียบพร้อมทั้งหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความสูงและสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

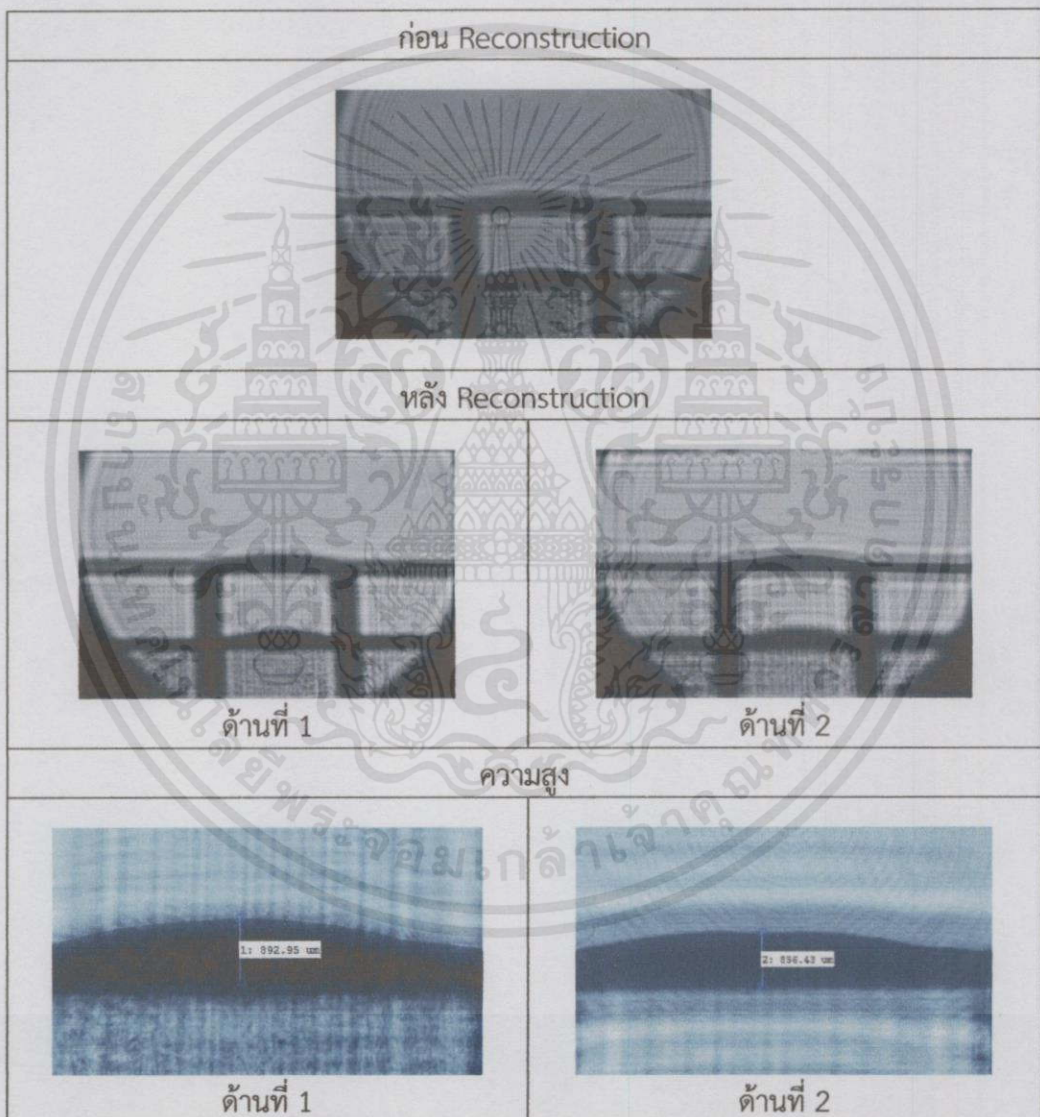
บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

จากการทดลองนี้เราได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบดิจิทัลโฮโลกราฟี เพื่อใช้ในการศึกษาคุณลักษณะต่างๆของสารเชื่อมประสานที่นำกราฟีนและกราฟีนออกไซด์มาผสมผสานเข้าด้วยกัน ดังนี้

4.1) ผลการทดลองเมื่อไม่มีการผสม

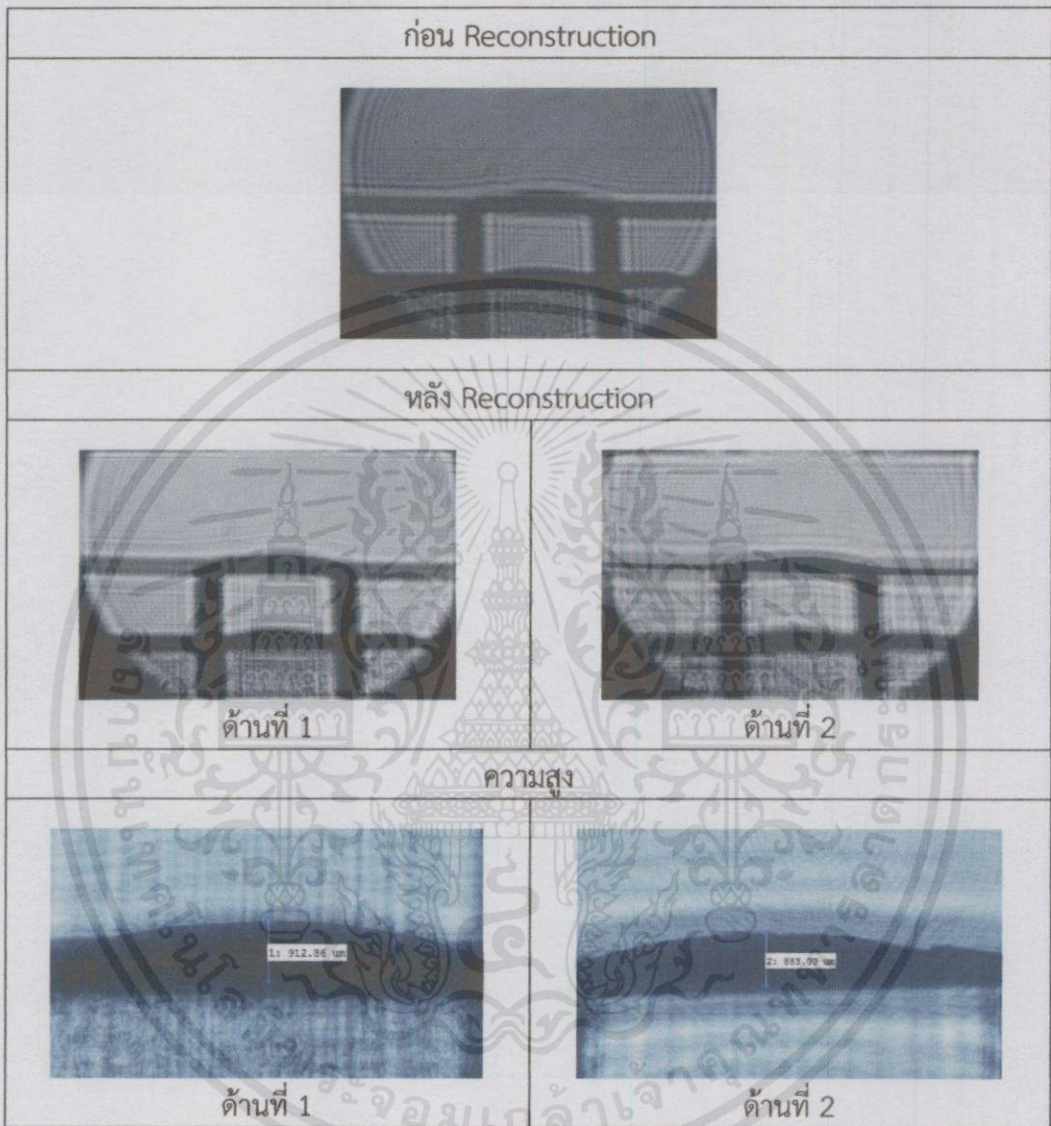
1) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมผสมที่ไม่มีการผสมของตัวอย่างที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมผสมที่ไม่มีการผสมของตัวอย่างที่ 1



ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 892.95 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 856.43 ไมโครเมตร ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 874.69 ไมโครเมตร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

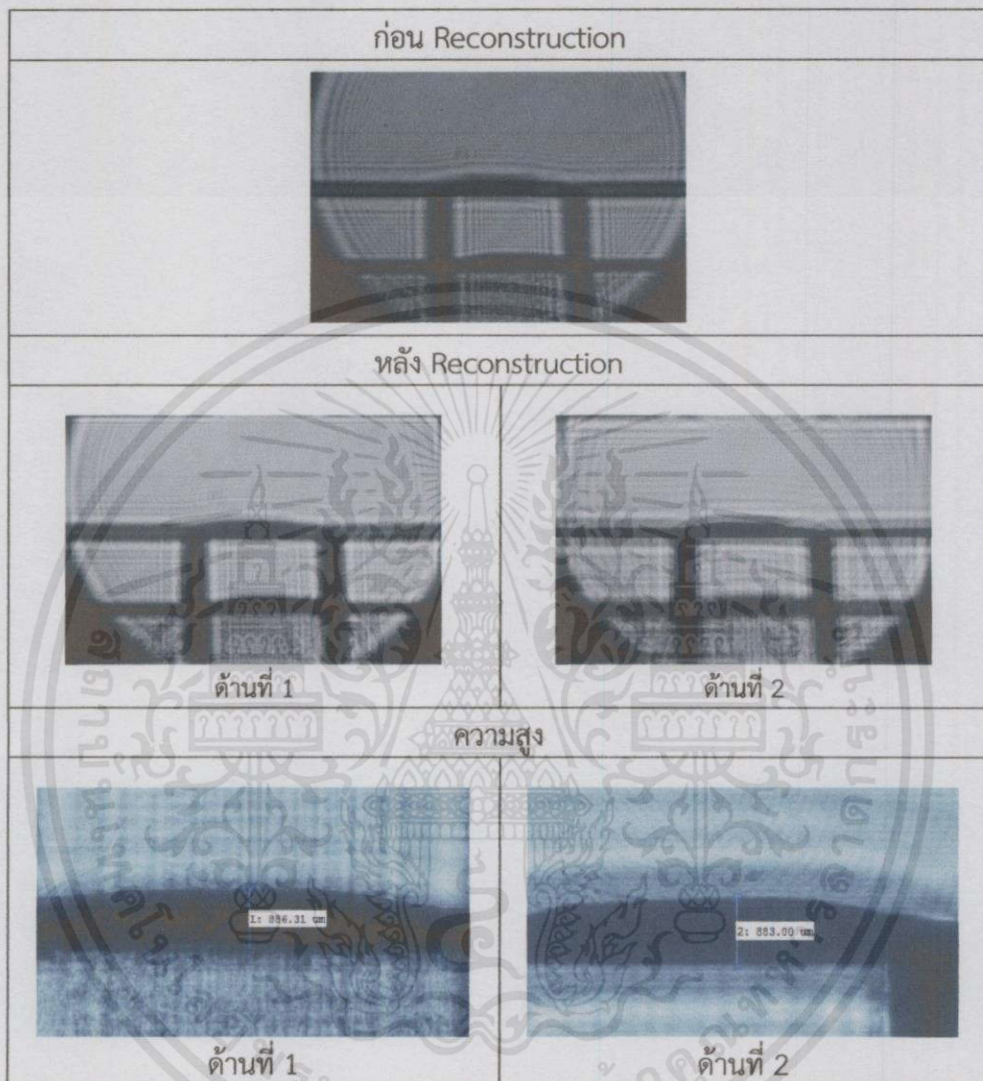
2) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่ไม่มีการผสมของตัวอย่างที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่ไม่มีการผสมของตัวอย่างที่ 2



ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 912.86 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 883.00 ไมโครเมตร
ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 897.93 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่ไม่มีการผสมของตัวอย่างที่ 3 แสดงดังตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.3 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่ไม่มีการผสมของตัวอย่างที่ 3



ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 886.31 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 883.00 ไมโครเมตร

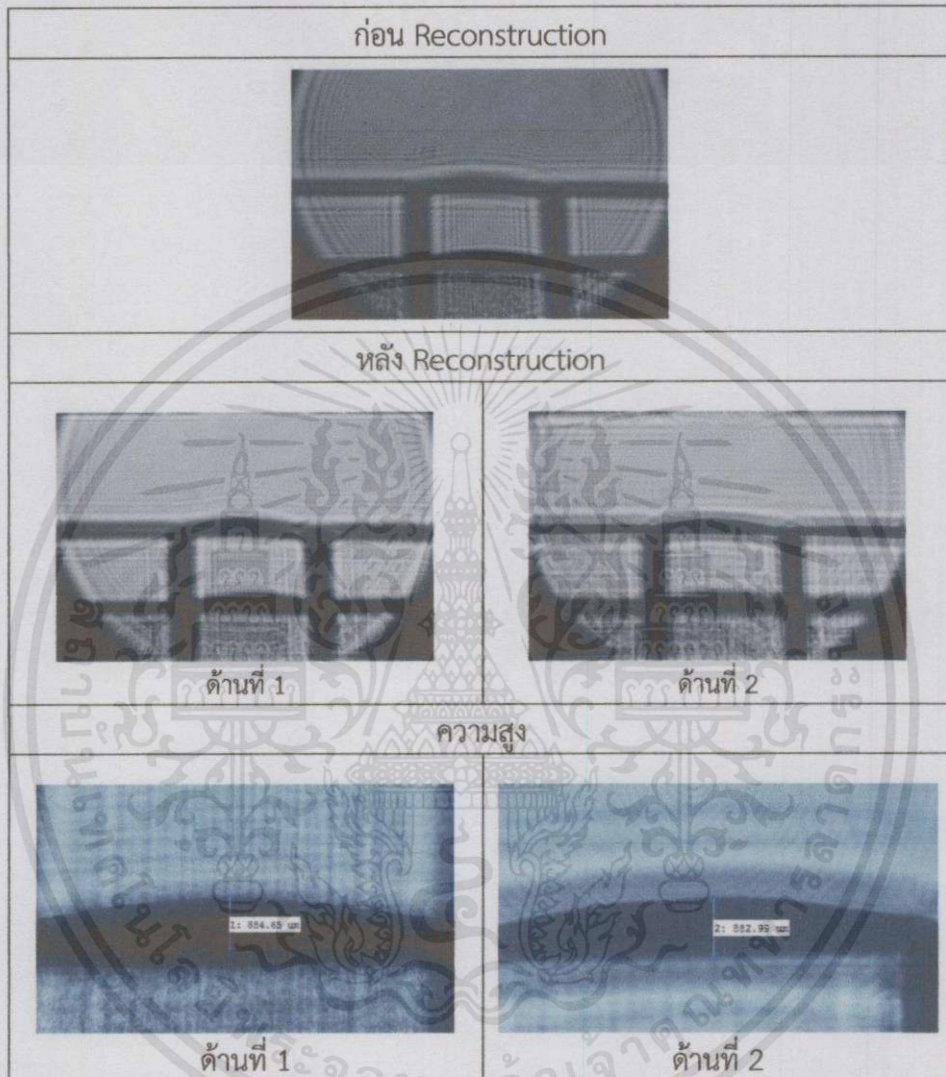
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 884.65 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2) ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีน 0.02%

1) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02% ตัวอย่างที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02% ตัวอย่างที่ 1

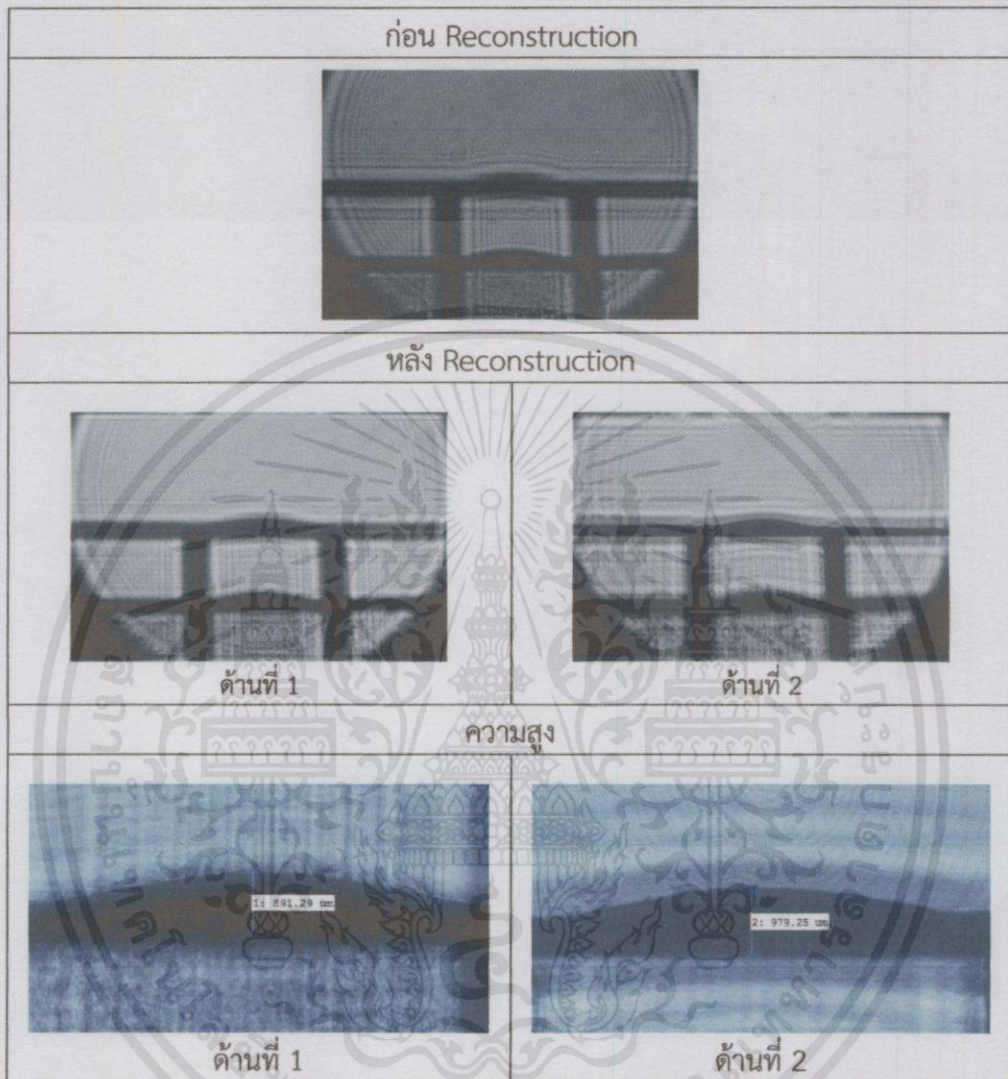


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 884.65 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 882.99 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับความสูงเท่ากับ 883.82 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02% ตัวอย่างที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02% ตัวอย่างที่ 2

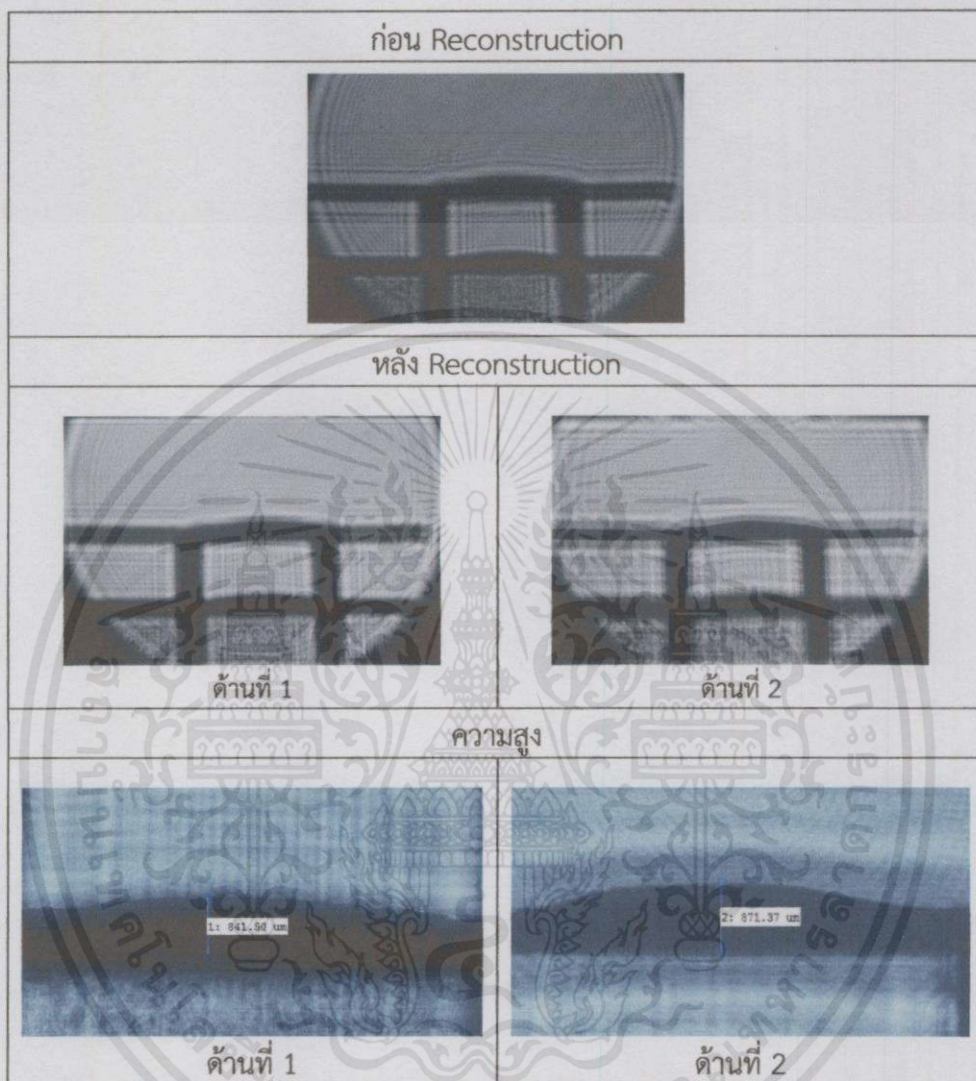


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 891.29 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 979.25 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับความสูงเท่ากับ 935.27 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02% ตัวอย่างที่ 3 แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02% ตัวอย่างที่



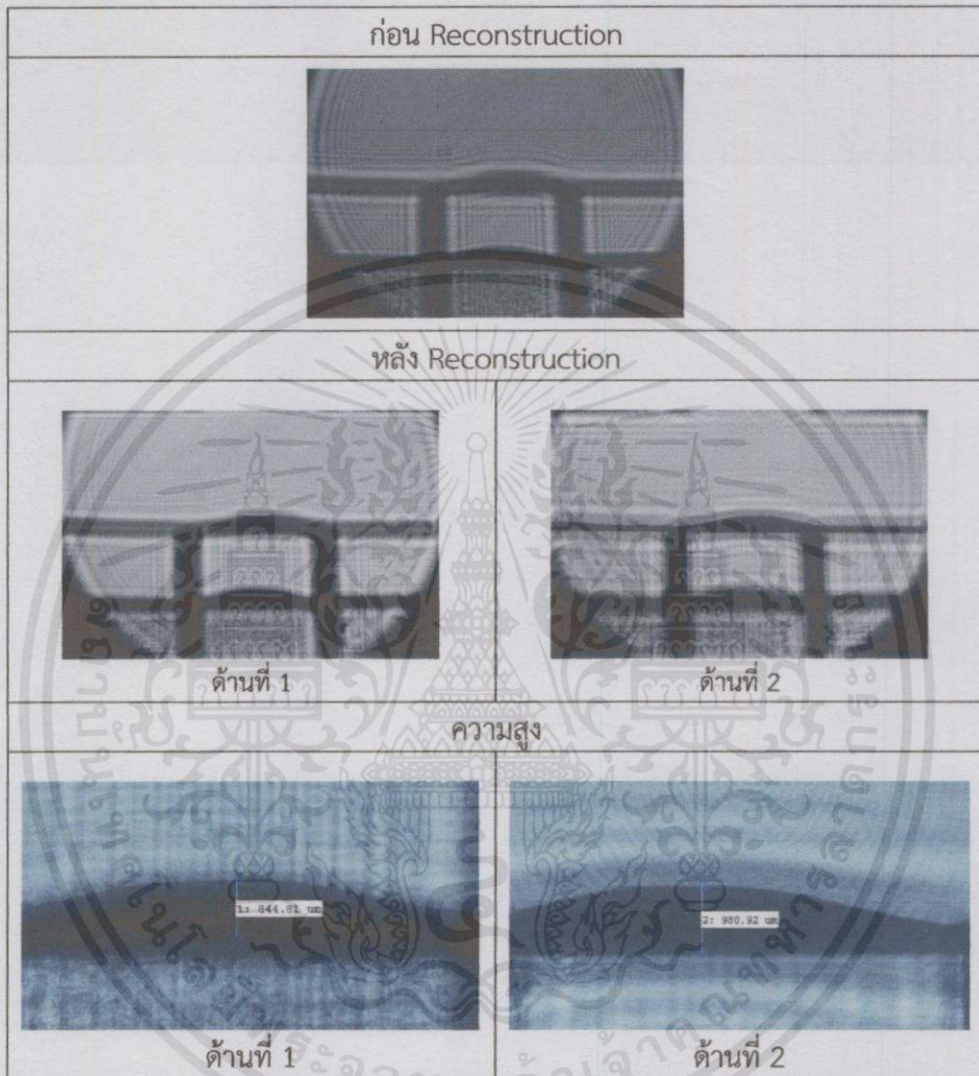
ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 841.50 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 871.37 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับความสูงเท่ากับ 856.43 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3) ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีน 0.05%

1) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05% ตัวอย่างที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05% ตัวอย่างที่ 1

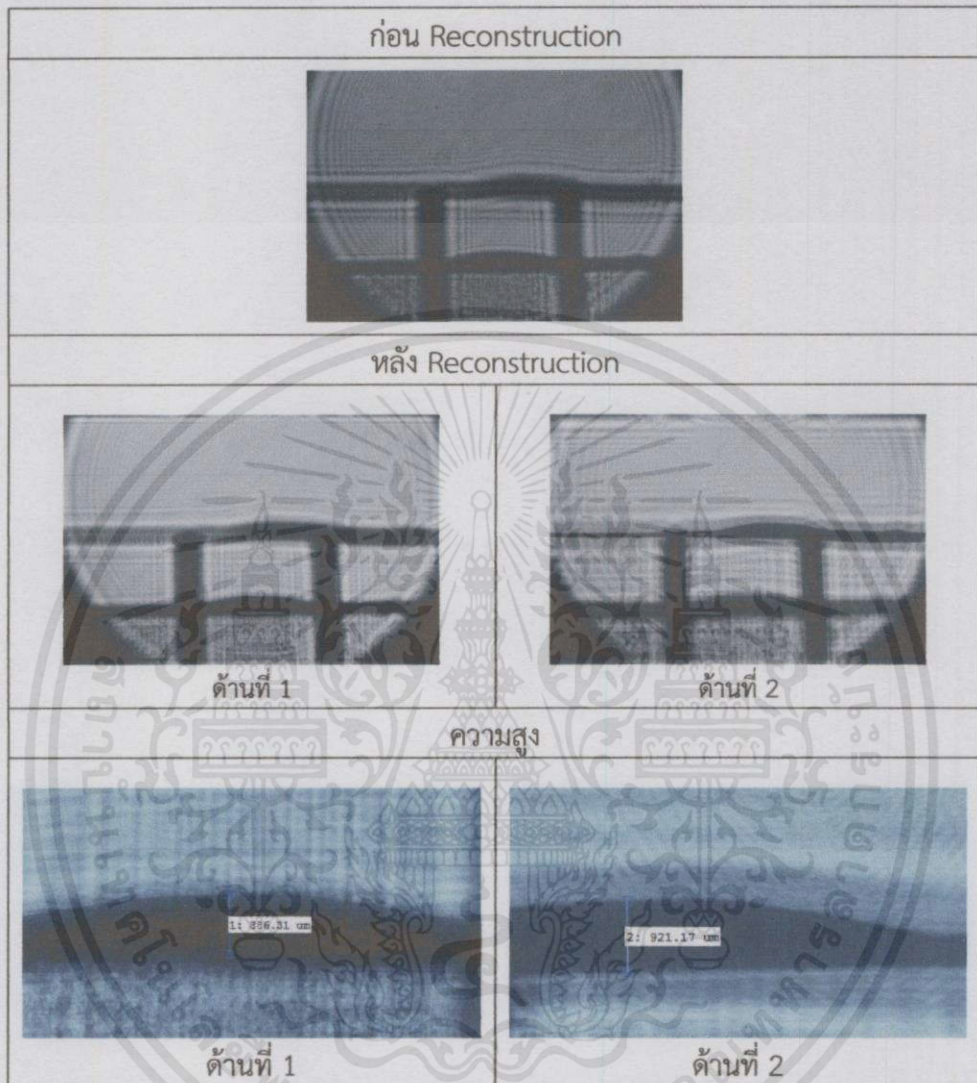


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 844.81 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 980.92 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับความสูงเท่ากับ 912.86 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05% ตัวอย่างที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05% ตัวอย่างที่ 2

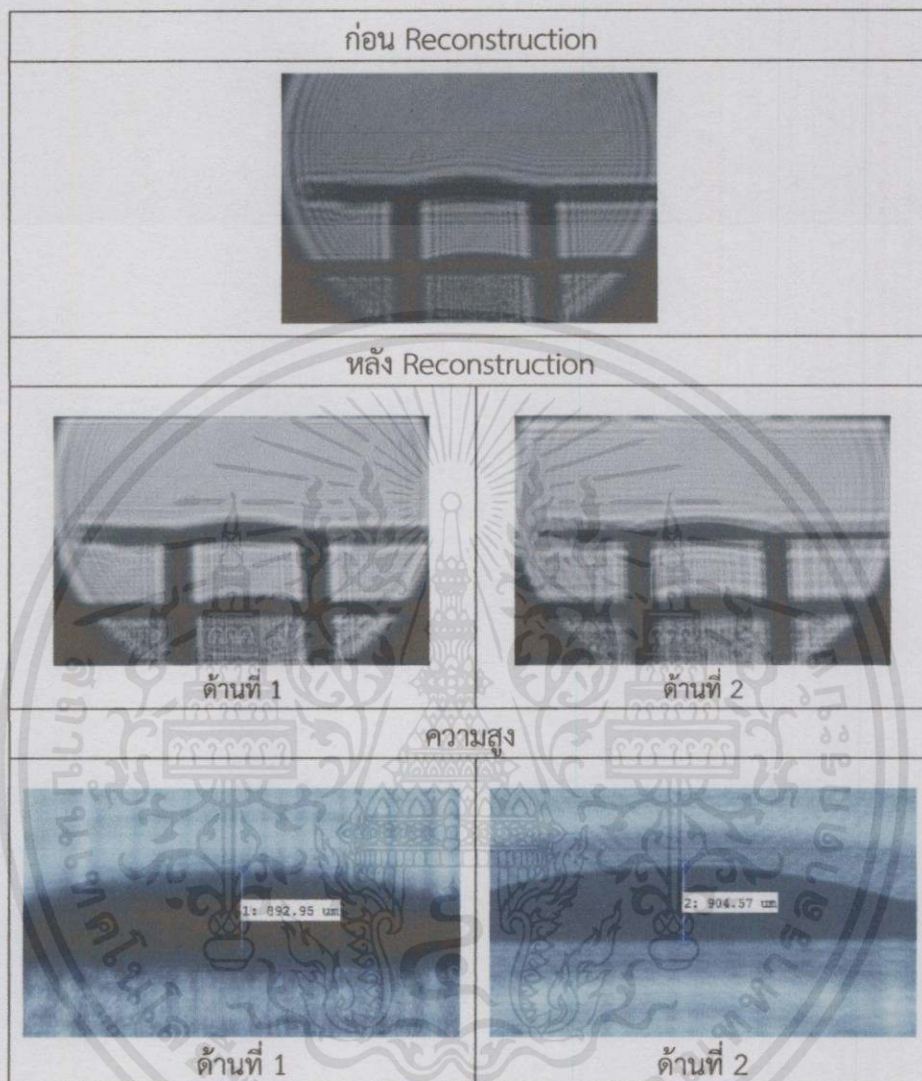


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 886.31 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 921.17 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับความสูงเท่ากับ 903.74 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05% ตัวอย่างที่ 3 แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05% ตัวอย่างที่ 3



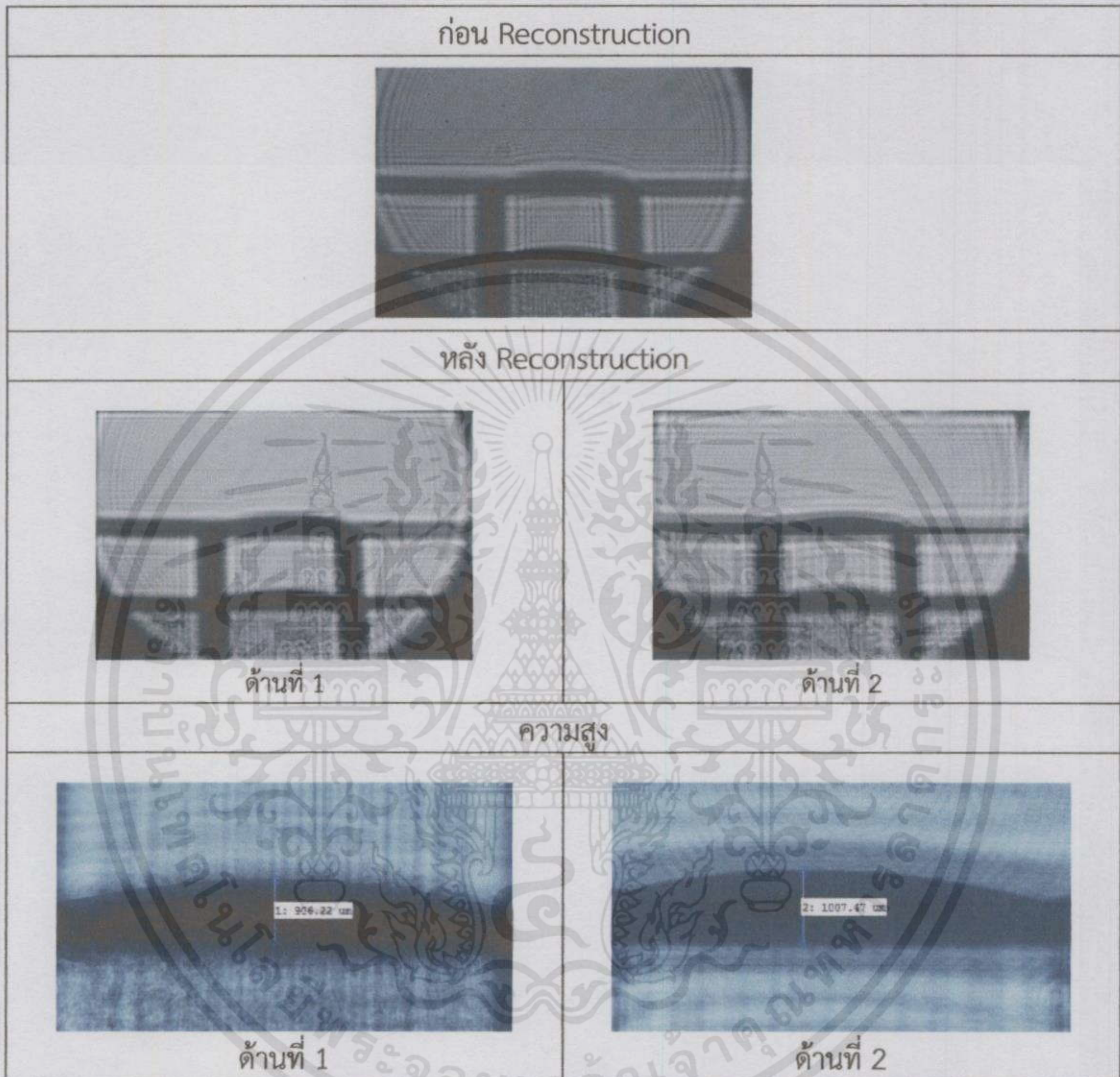
ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 892.95 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 904.57 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับความสูงเท่ากับ 898.76 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4) ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีน 0.1%

1) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1% ตัวอย่างที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1% ตัวอย่างที่ 1

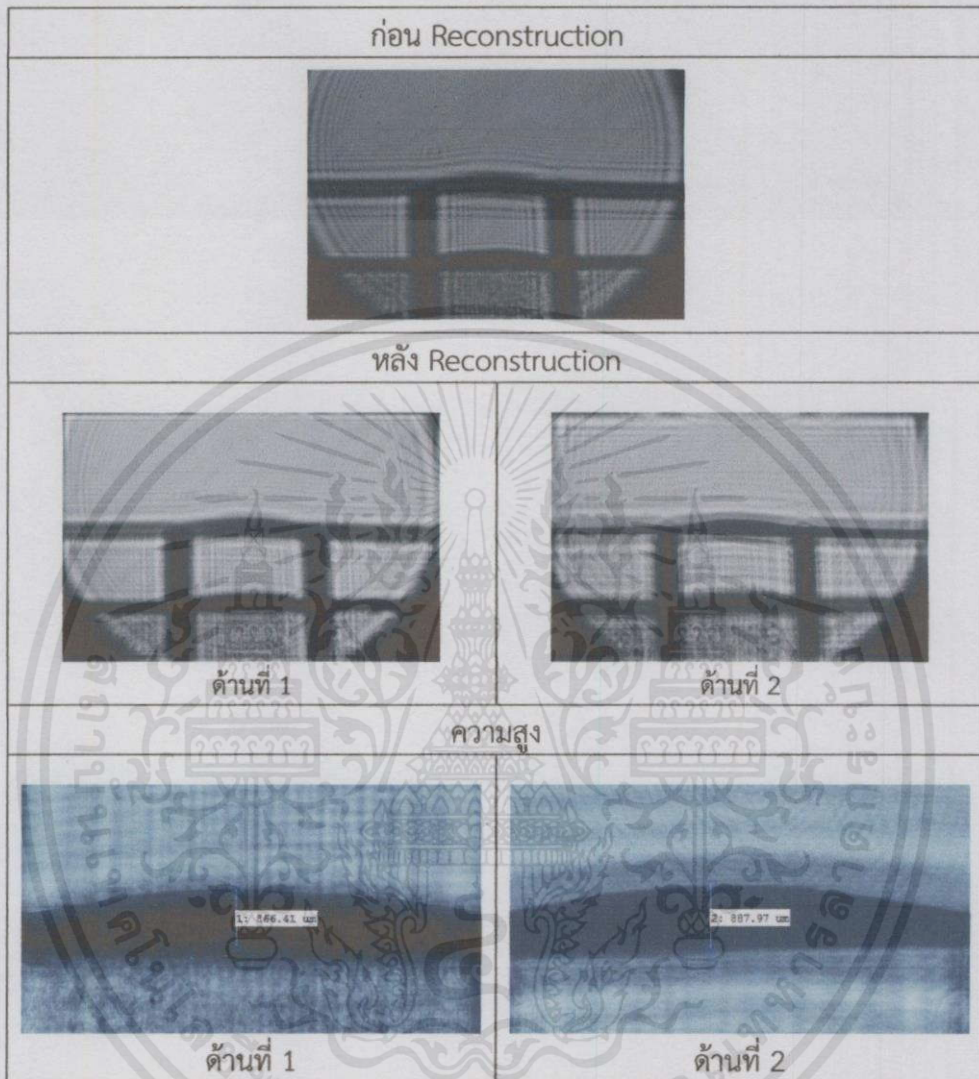


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 603.22 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 1,007.47 ไมโครเมตร ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับความสูงเท่ากับ 956.84 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1% ตัวอย่างที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1% ตัวอย่างที่ 2

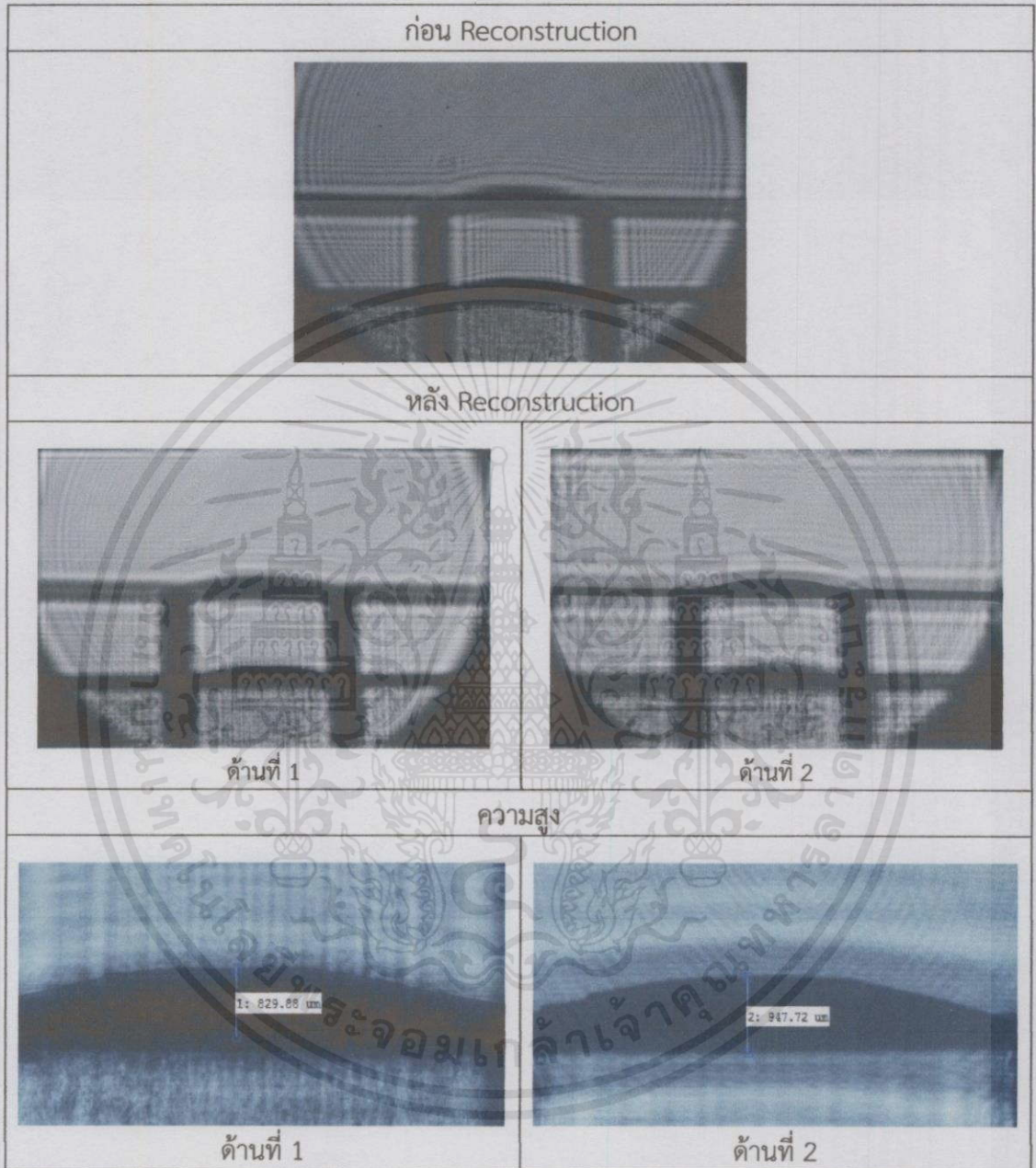


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 866.41 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 887.97 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับความสูงเท่ากับ 903.74 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1% ตัวอย่างที่ 3 แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1% ตัวอย่างที่ 3



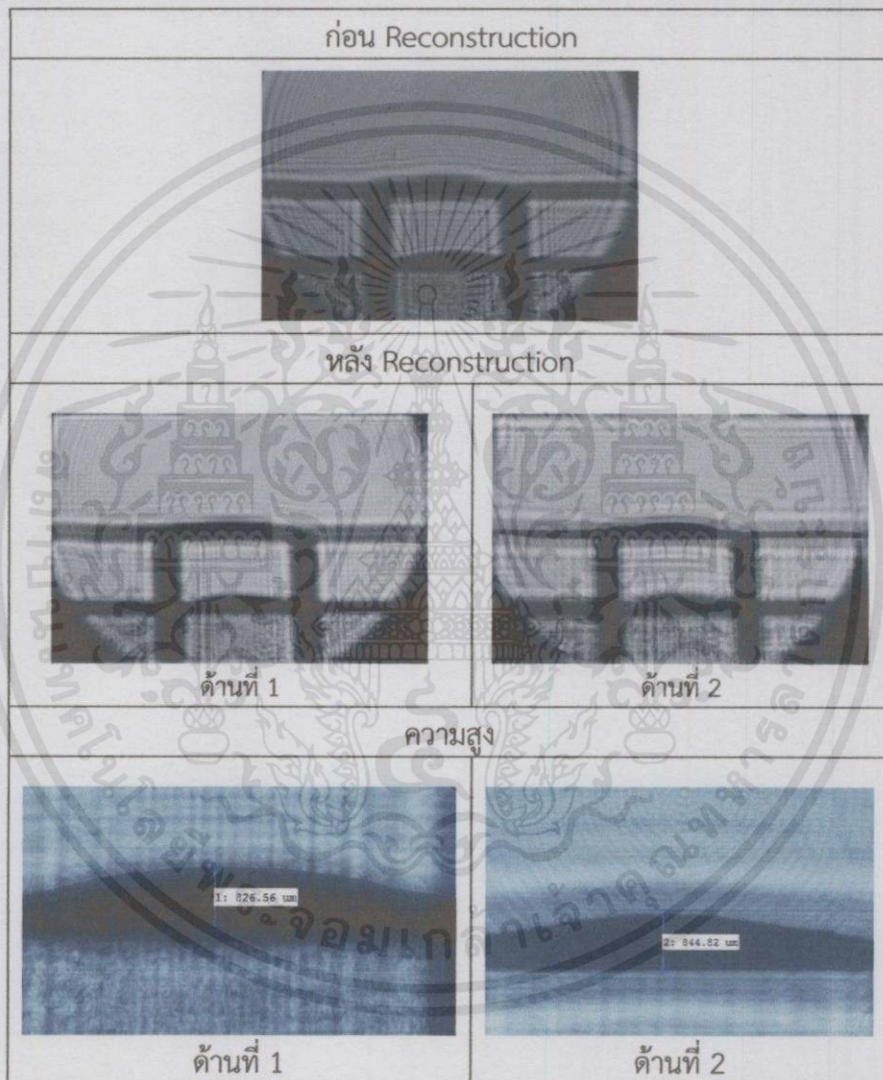
ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 829.88 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 947.72 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับความสูงเท่ากับ 888.80 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5) ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีนออกไซด์ 0.02%

1) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมผสมที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02% ตัวอย่างที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมผสมที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02% ตัวอย่างที่ 1

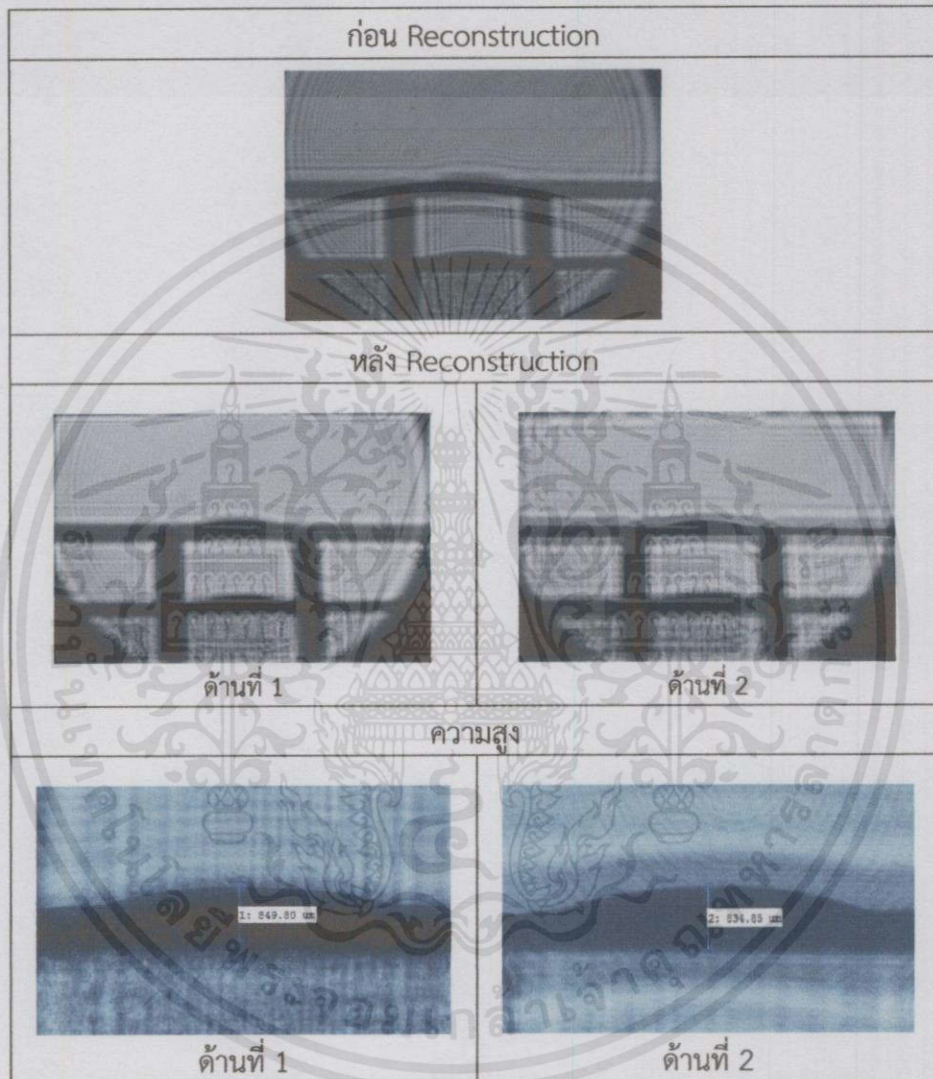


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 826.56 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 884.82 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 855.69 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02% ตัวอย่างที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02% ตัวอย่างที่ 2

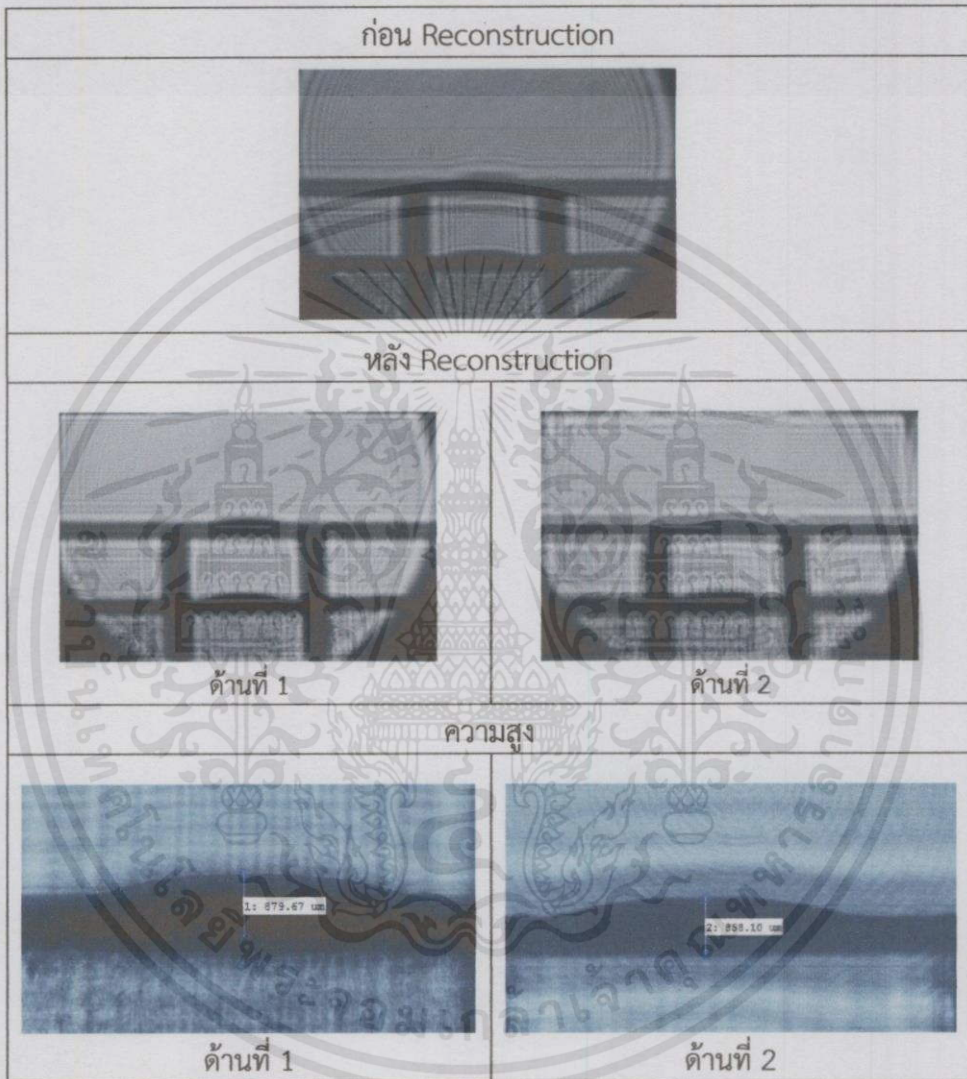


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 849.80 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 834.85 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 842.32 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02% ตัวอย่างที่ 3 แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02% ตัวอย่างที่ 3



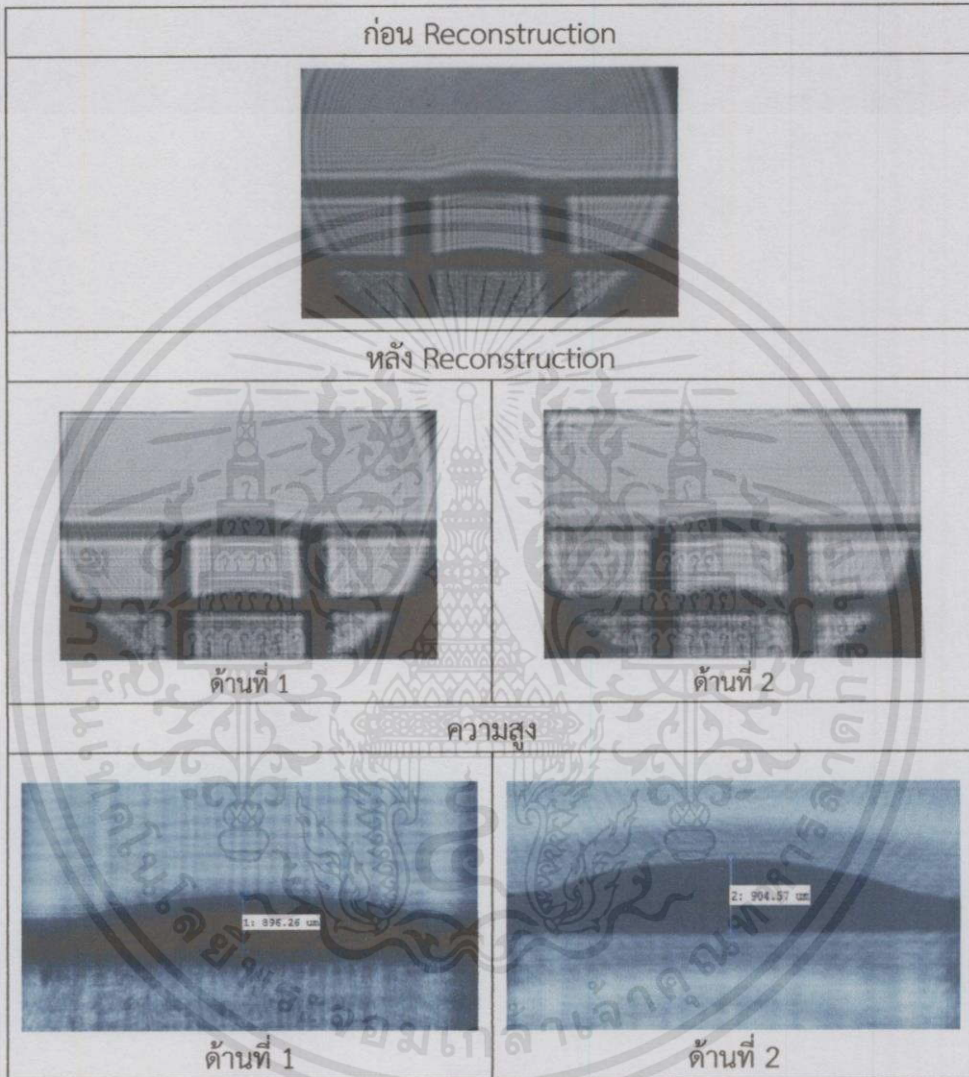
ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 879.67 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 858.10 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 868.88 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6) ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีนออกไซด์ 0.05%

1) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05% ตัวอย่างที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05% ตัวอย่างที่ 1

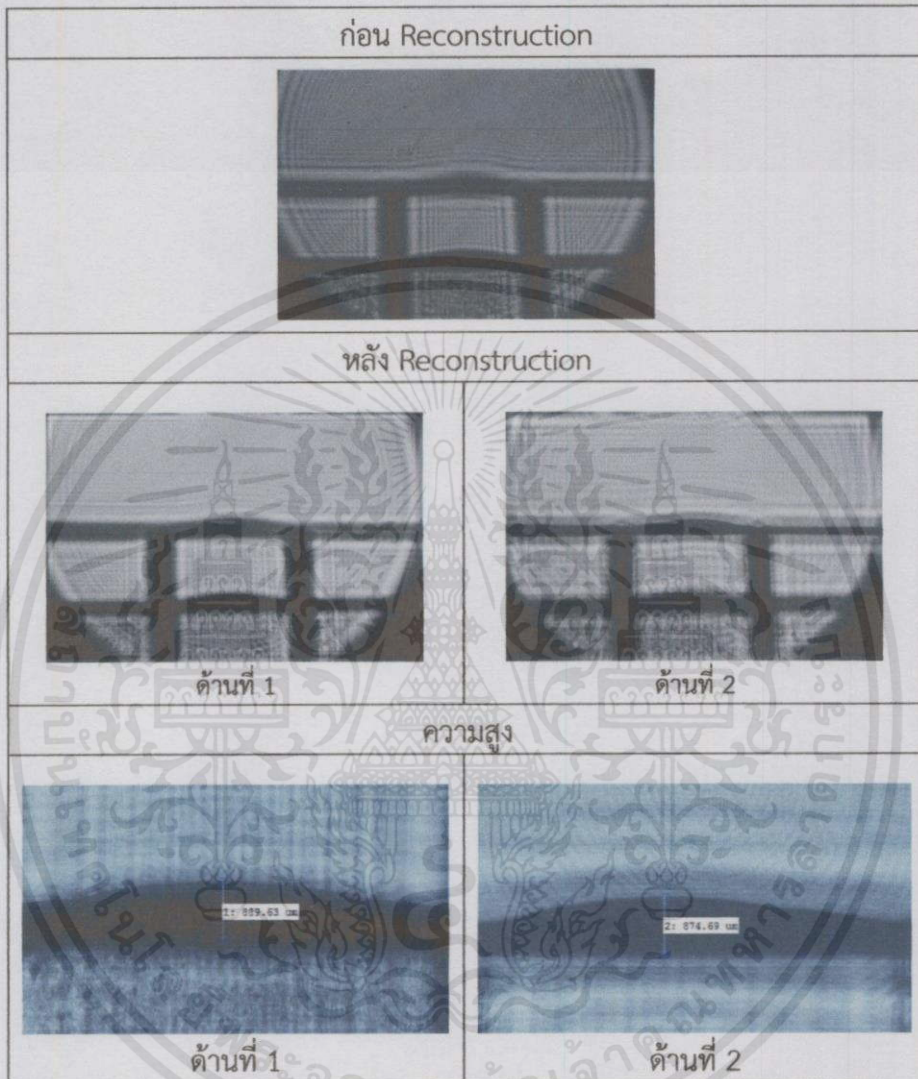


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 896.26 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 904.57 ไมโครเมตร ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 900.41 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) รูปแสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05% ตัวอย่างที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05% ตัวอย่างที่ 2

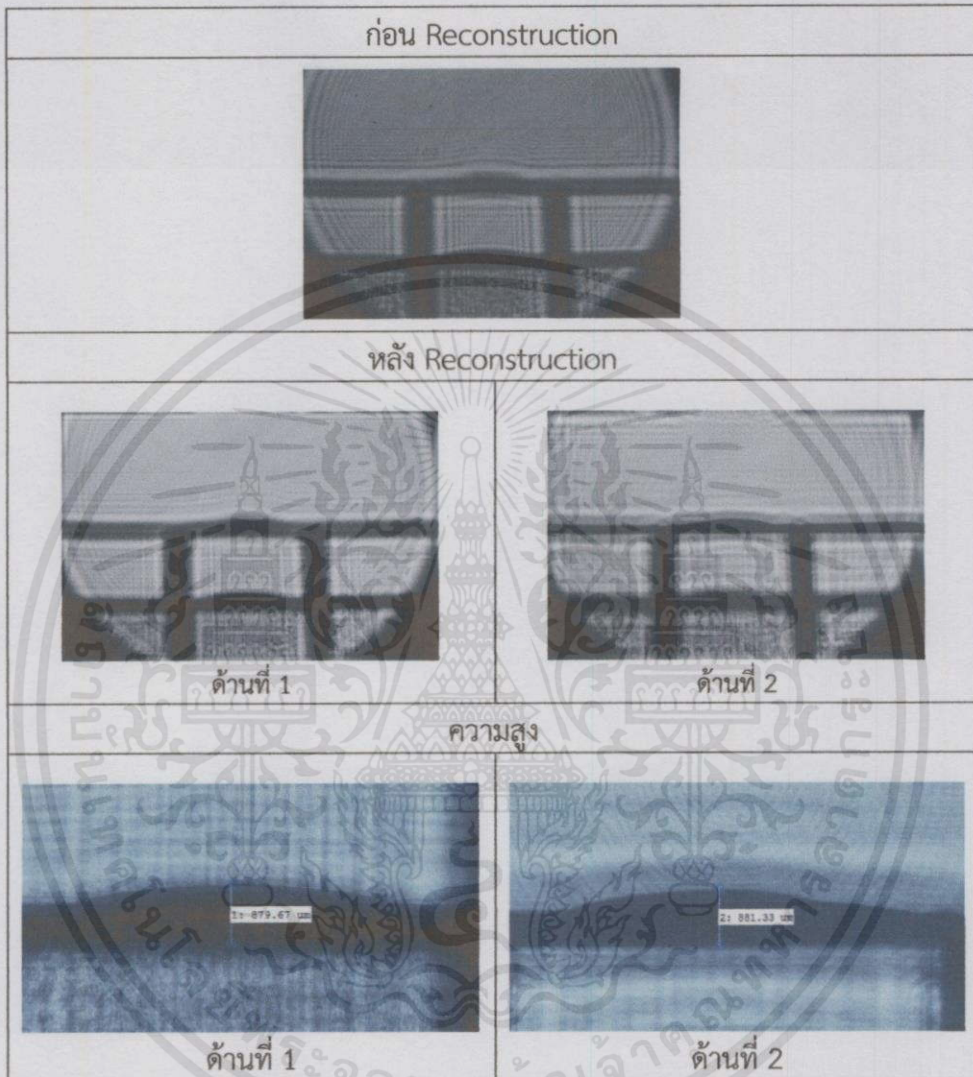


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 889.63 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 874.69 ไมโครเมตร ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 882.16 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05% ตัวอย่างที่ 3 แสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05% ตัวอย่างที่ 3



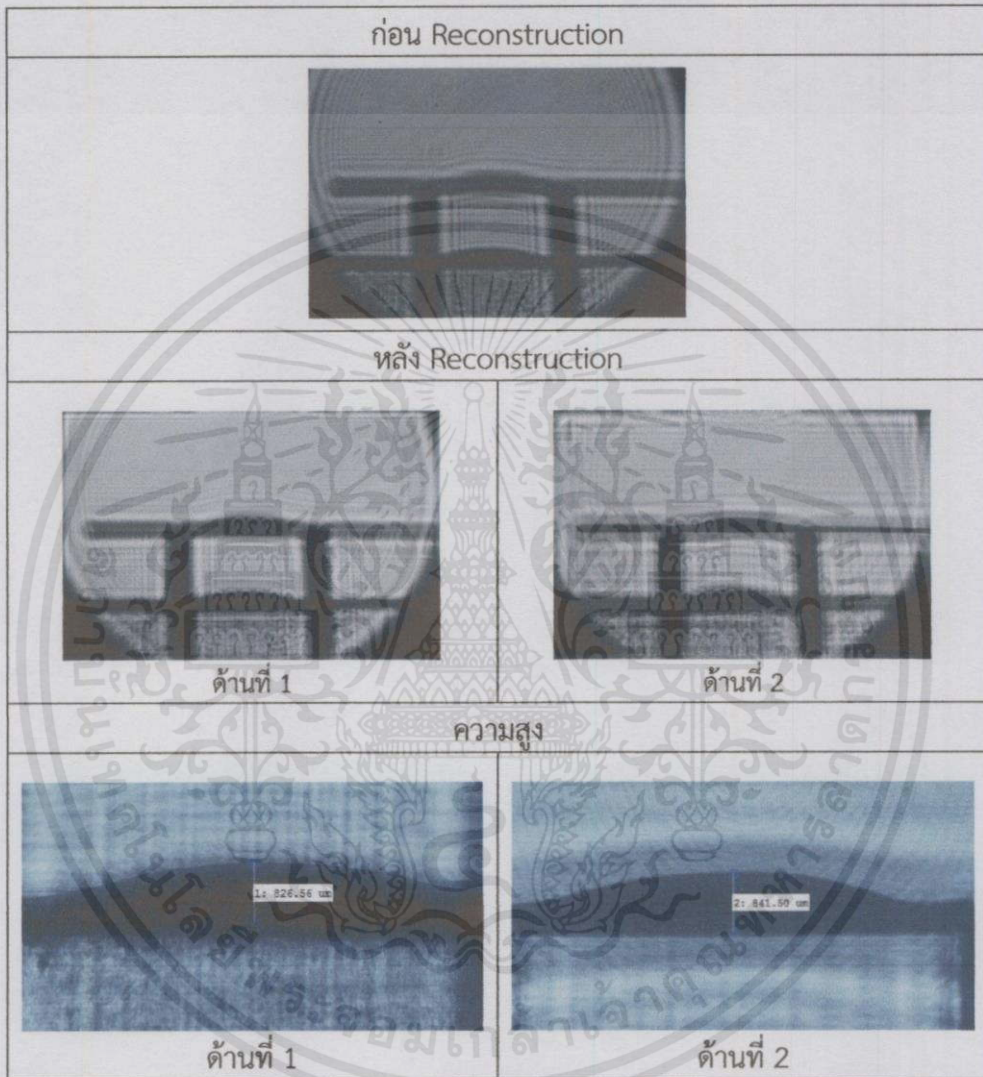
ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 879.67 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 881.33 ไมโครเมตร ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 880.50 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7) ผลการทดลองเมื่อมีการผสมกราฟีนออกไซด์ 0.1%

1) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1% ตัวอย่างที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1% ตัวอย่างที่ 1

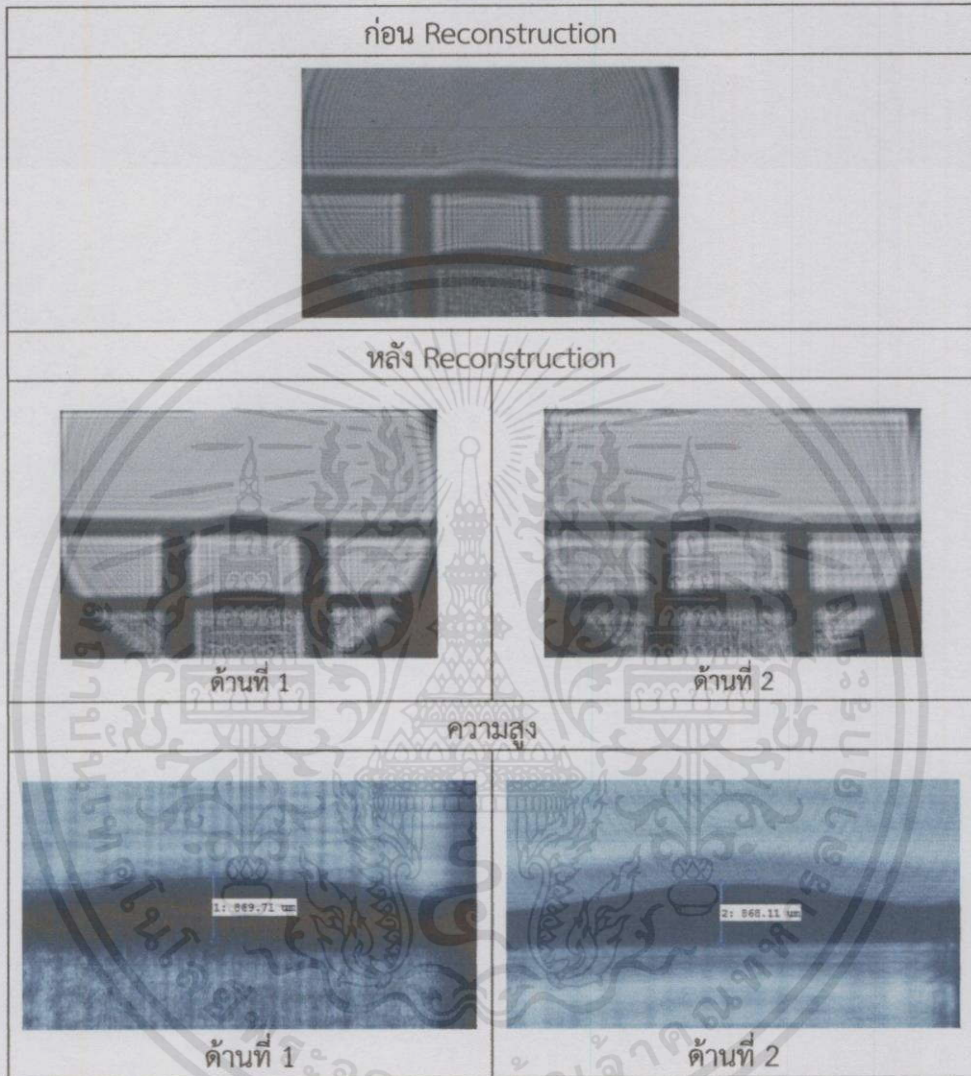


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 826.56 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 841.50 ไมโครเมตร
ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 834.03 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1% ตัวอย่างที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1% ตัวอย่างที่ 2

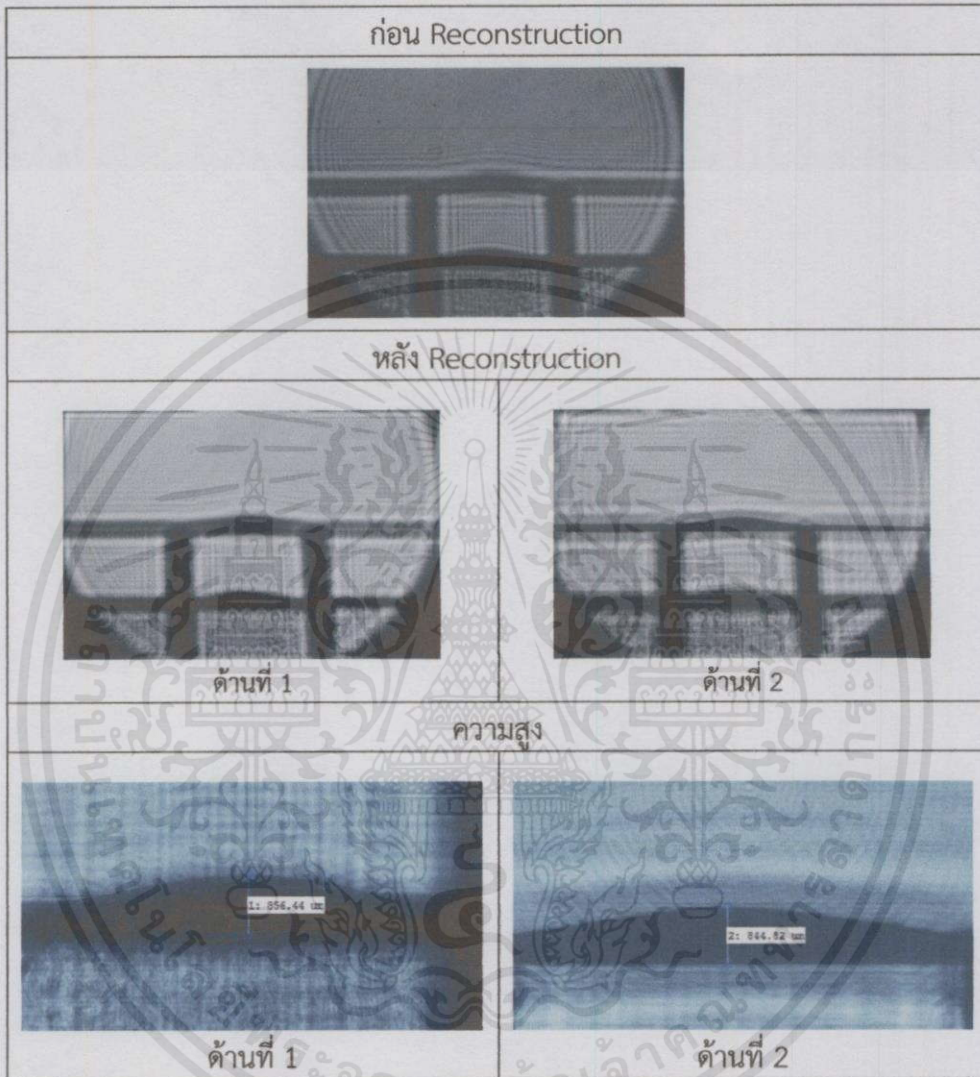


ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 869.71 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 868.11 ไมโครเมตร ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 868.91 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) รูปแสดงตัวอย่างของสารเชื่อมผสมที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1% ตัวอย่างที่ 3 แสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมผสมที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1% ตัวอย่างที่ 3



ค่าความสูงที่วัดได้คือด้านที่ 1 เท่ากับ 856.44 ไมโครเมตร และด้านที่ 2 เท่ากับ 844.82 ไมโครเมตร ได้ค่าเฉลี่ยความสูงเท่ากับ 850.63 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของความสูง

ค่าความคลาดเคลื่อนแสดงดังตารางที่ 4.22

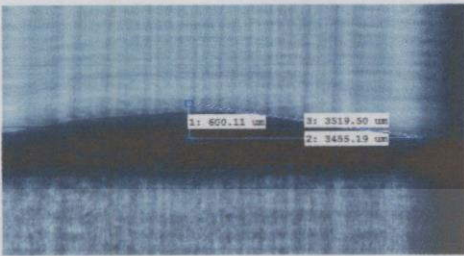
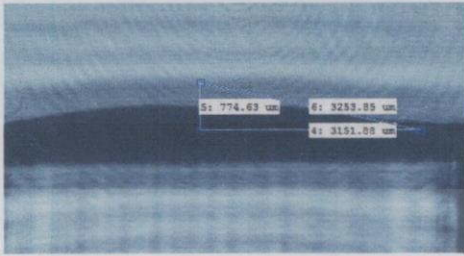



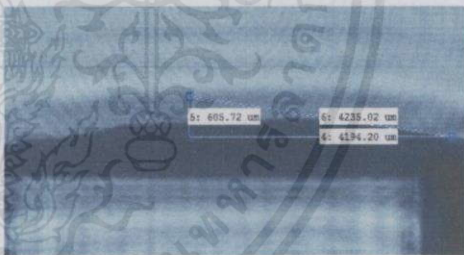
ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงความสูงของสารเชื่อมประสานที่วัดจากเวอร์เนียและจากภาพที่ผ่านการ Reconstruction

สารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้นต่างๆ	เวอร์เนีย	Reconstruction	ค่าความแตกต่าง
ไม่มีการผสม	820	874.69	6.454
	850	897.93	5.484
	860	884.655	2.826
ผสมกราฟีน 0.02%	860	956.845	10.66
	850	877.19	3.148
	840	888.8	5.645
ผสมกราฟีน 0.05%	900	912.865	1.419
	880	903.74	2.661
	840	898.76	6.758
ผสมกราฟีน 0.1%	870	883.82	1.575
	880	935.27	6.089
	840	856.435	1.937
ผสมกราฟีนออกไซด์ 0.02%	800	834.03	4.165
	820	868.91	5.791
	850	850.63	0.074
ผสมกราฟีนออกไซด์ 0.05%	810	900.415	10.572
	820	882.16	7.303
	810	880.5	8.34
ผสมกราฟีนออกไซด์ 0.1%	810	855.69	5.486
	840	842.325	0.276
	800	868.885	8.255
ค่าความแตกต่างเฉลี่ย			4.996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมพันธ์ของสารเชื่อมประสานที่ไม่มี การผสม

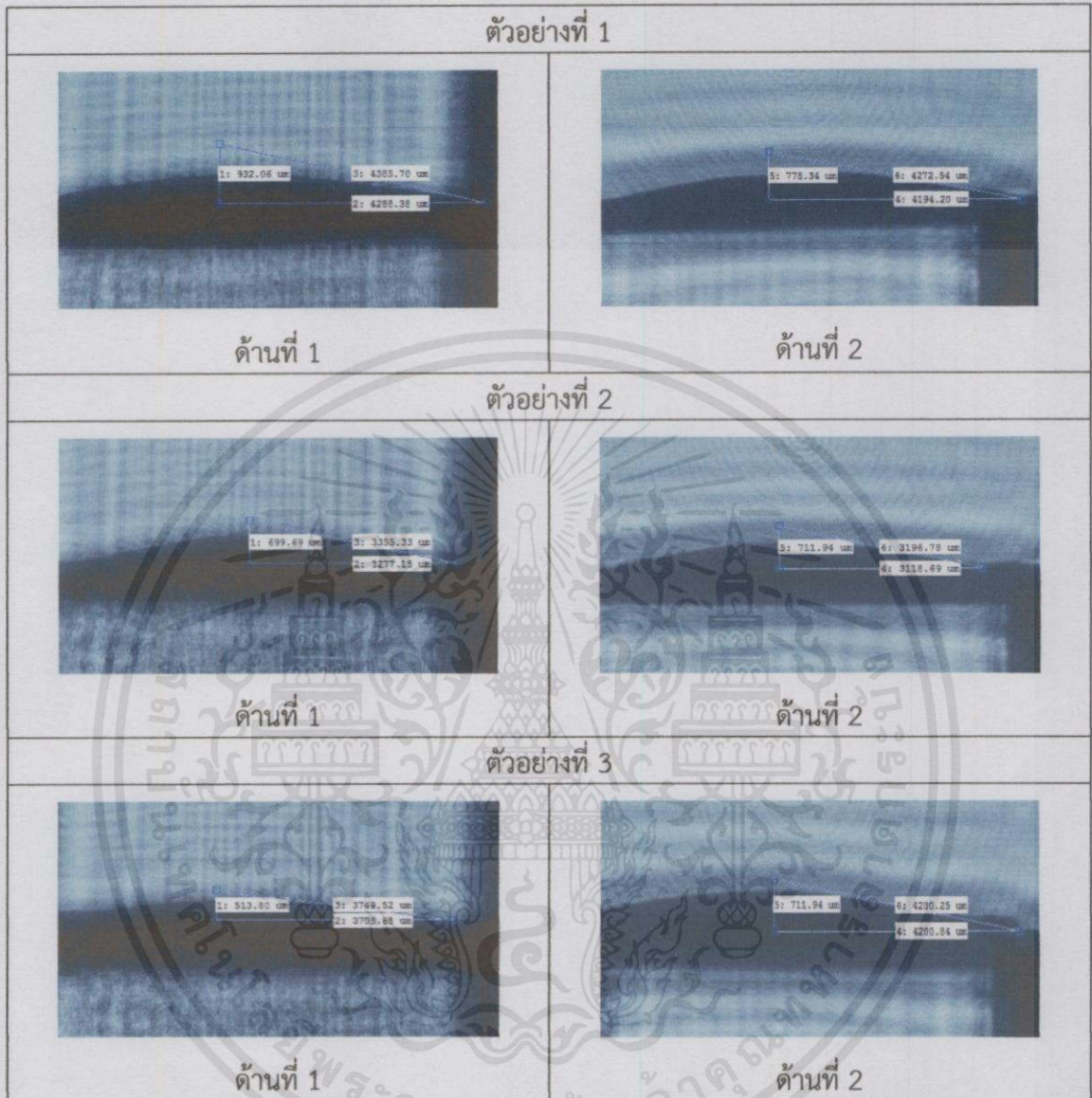
ตารางที่ 4.23 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่ไม่มี การผสม

ตัวอย่างที่ 1	
	
ด้านที่ 1	ด้านที่ 2
ตัวอย่างที่ 2	
	
ด้านที่ 1	ด้านที่ 2
ตัวอย่างที่ 3	
	
ด้านที่ 1	ด้านที่ 2

ทำการหาค่ามุมสัมพันธ์ด้วยวิธีรูปสามเหลี่ยมมุมฉากพีทาโกรัสในแต่ละด้านของตัวอย่างที่ไม่มี การผสม ตัวอย่างที่ 1 ด้านที่ 1 เท่ากับ 9.85° และด้านที่ 2 เท่ากับ 13.80° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 11.83° ตัวอย่างที่ 2 ด้านที่ 1 เท่ากับ 12.75° และด้านที่ 2 เท่ากับ 10.93° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 11.84° ตัวอย่าง ที่ 3 ด้านที่ 1 เท่ากับ 11.21° และด้านที่ 2 เท่ากับ 8.22° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 9.72°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

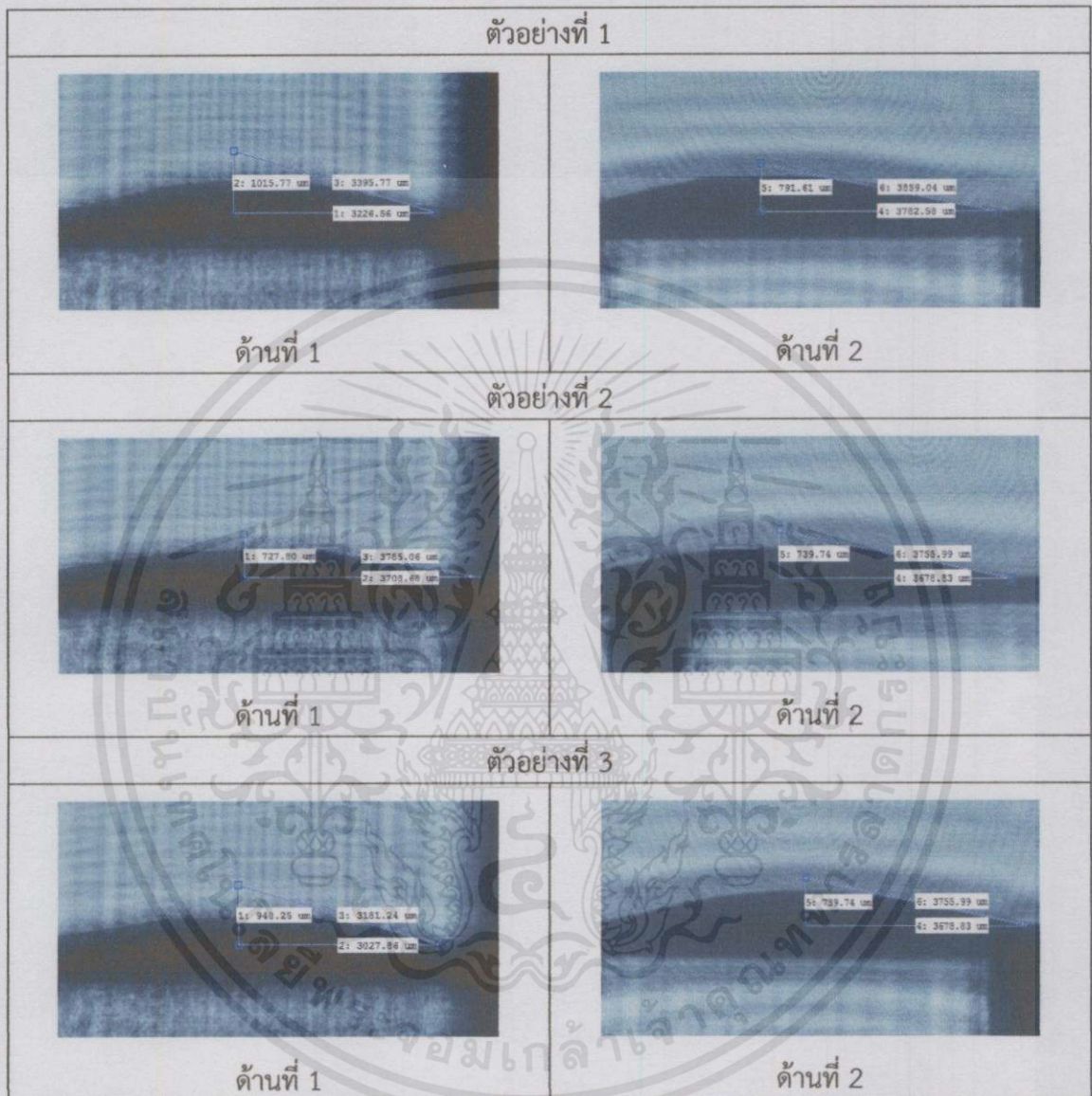
4.10 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมพันธ์ของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02%
ตารางที่ 4.24 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02%



ทำการหาค่ามุมสัมพันธ์ด้วยวิธีรูปสามเหลี่ยมมุมฉากพีทาโกรัสในแต่ละด้านของตัวอย่างที่มีการผสมของกราฟีน 0.02% ของน้ำหนัก ตัวอย่างที่ 1 ด้านที่ 1 เท่ากับ 12.26° และด้านที่ 2 เท่ากับ 10.51° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 11.39° ตัวอย่างที่ 2 ด้านที่ 1 เท่ากับ 12.05° และด้านที่ 2 เท่ากับ 12.85° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 12.45° ตัวอย่างที่ 3 ด้านที่ 1 เท่ากับ 7.88° และด้านที่ 2 เท่ากับ 9.62° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 8.75°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

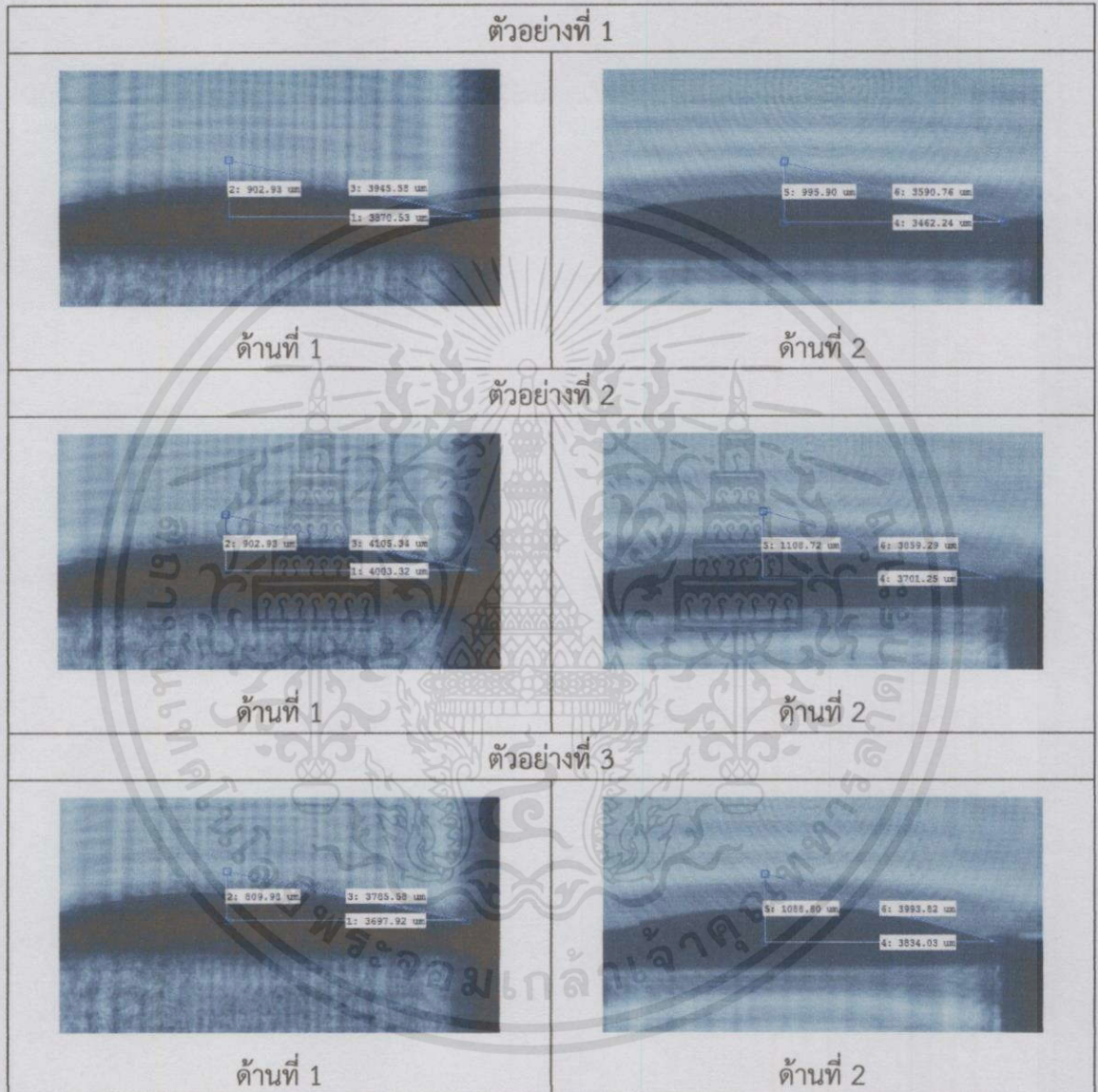
4.11 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมพันธ์ของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05% ตารางที่ 4.25 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05%



ทำการหาค่ามุมสัมพันธ์ด้วยวิธีรูปสามเหลี่ยมมุมฉากพีทาโกรัสในแต่ละด้านของตัวอย่างที่มีการผสมของกราฟีน 0.05% ของน้ำหนัก ตัวอย่างที่ 1 ด้านที่ 1 เท่ากับ 17.47° และด้านที่ 2 เท่ากับ 11.82° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 14.65° ตัวอย่างที่ 2 ด้านที่ 1 เท่ากับ 11.10° และด้านที่ 2 เท่ากับ 11.37° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 11.24° ตัวอย่างที่ 3 ด้านที่ 1 เท่ากับ 17.39° และด้านที่ 2 เท่ากับ 11.37° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 14.38°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1%
ตารางที่ 4.26 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1%

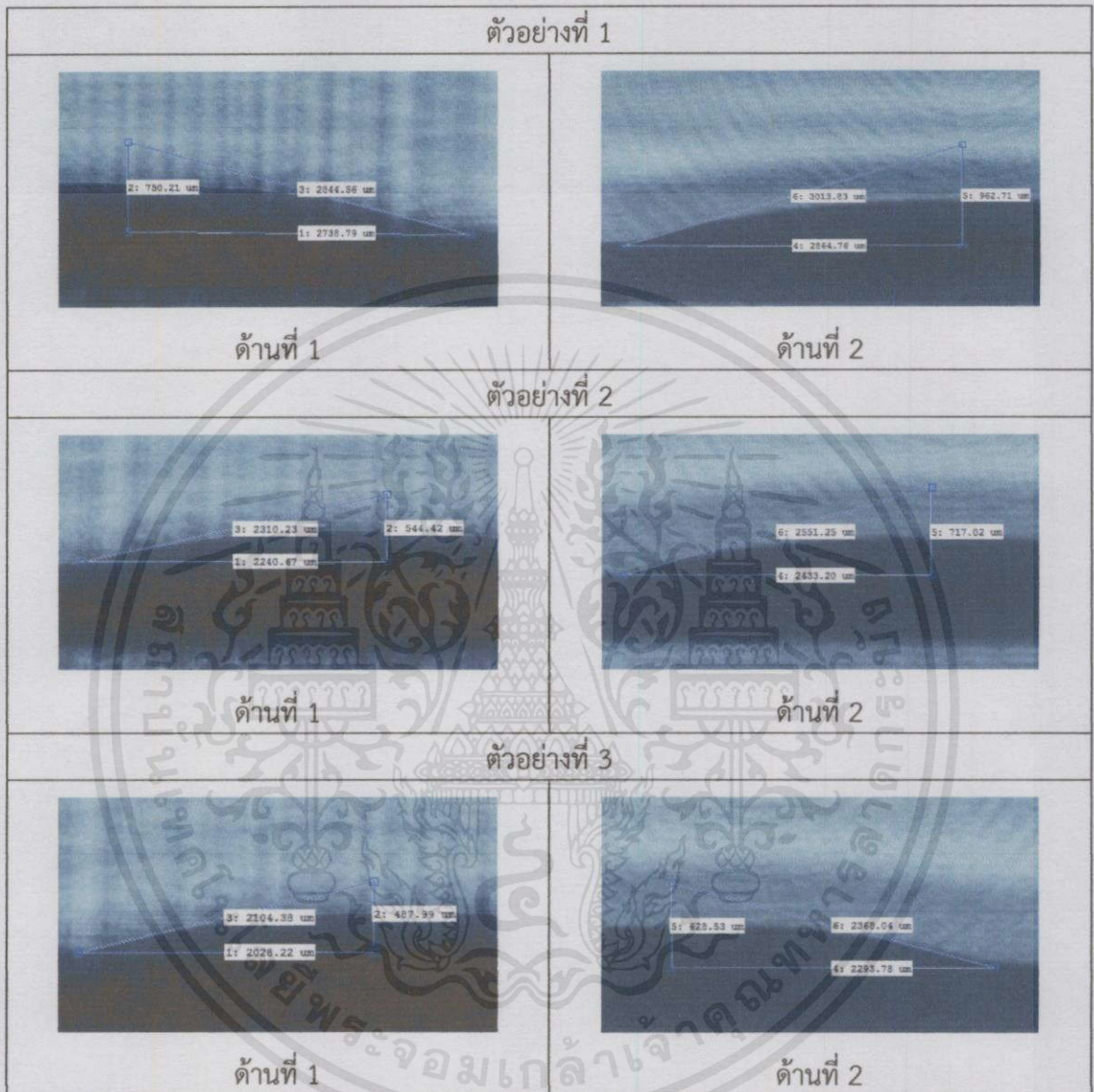


ทำการหาค่ามุมสัมผัสด้วยวิธีรูปสามเหลี่ยมมุมฉากพีทาโกรัสในแต่ละด้านของตัวอย่างที่มีการผสมของกราฟีน 0.1% ของน้ำหนัก ตัวอย่างที่ 1 ด้านที่ 1 เท่ากับ 13.13° และด้านที่ 2 เท่ากับ 16.05° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 14.59° ตัวอย่างที่ 2 ด้านที่ 1 เท่ากับ 12.71° และด้านที่ 2 เท่ากับ 16.68° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 14.70° ตัวอย่างที่ 3 ด้านที่ 1 เท่ากับ 12.35° และด้านที่ 2 เท่ากับ 15.85° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 14.10°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมพันธ์ของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02%

ตารางที่ 4.27 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02%

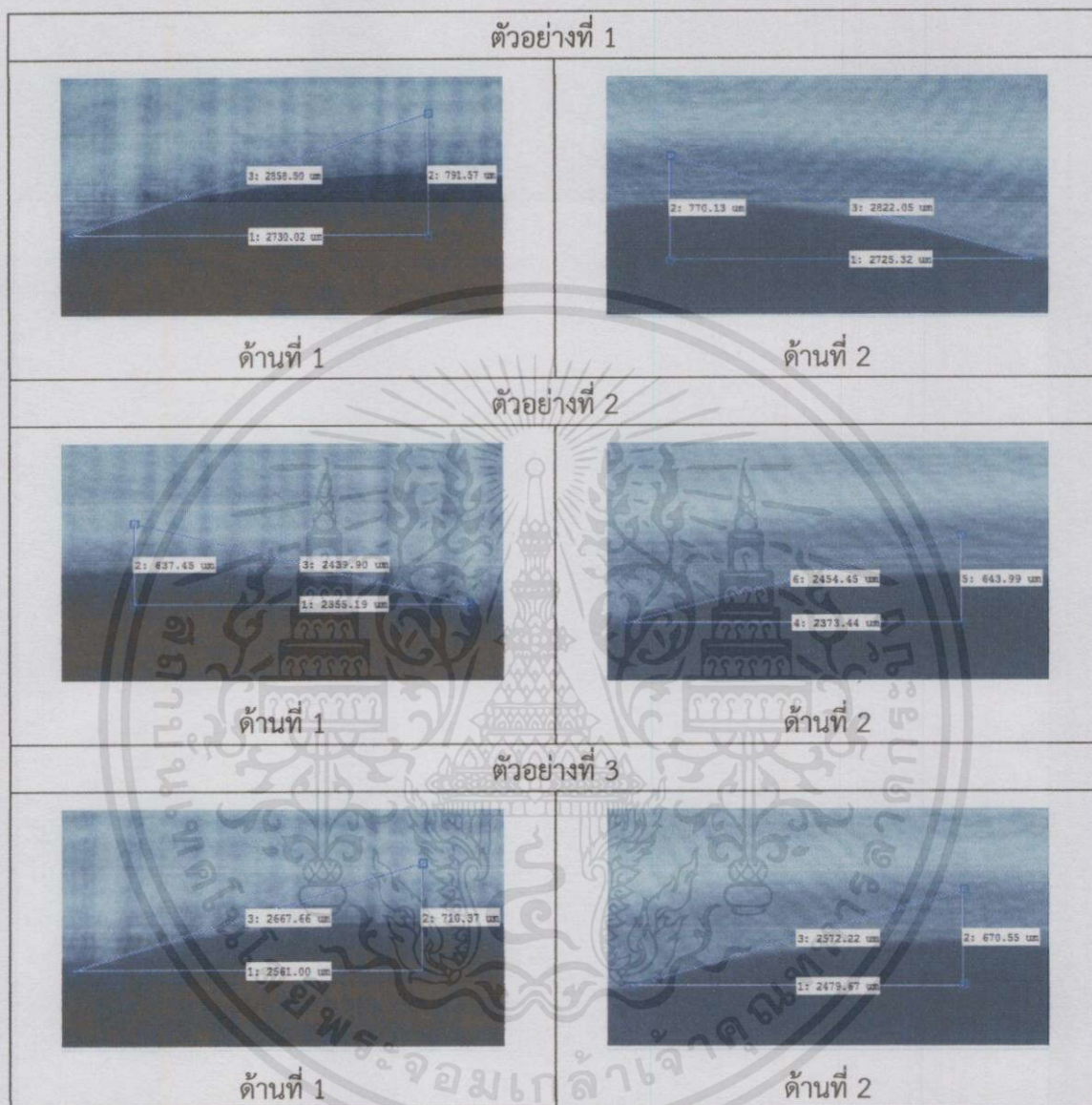


ทำการหาค่ามุมสัมพันธ์ด้วยวิธีรูปสามเหลี่ยมมุมฉากพีทาโกรัสในแต่ละด้านของตัวอย่างที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.02% ของน้ำหนักรวม ตัวอย่างที่ 1 ด้านที่ 1 เท่ากับ 15.32° และด้านที่ 2 เท่ากับ 18.57° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 16.95° ตัวอย่างที่ 2 ด้านที่ 1 เท่ากับ 13.65° และด้านที่ 2 เท่ากับ 16.42° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 15.04° ตัวอย่างที่ 3 ด้านที่ 1 เท่ากับ 13.53° และด้านที่ 2 เท่ากับ 15.32° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 14.43°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมพันธ์ของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05%

ตารางที่ 4.28 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05%

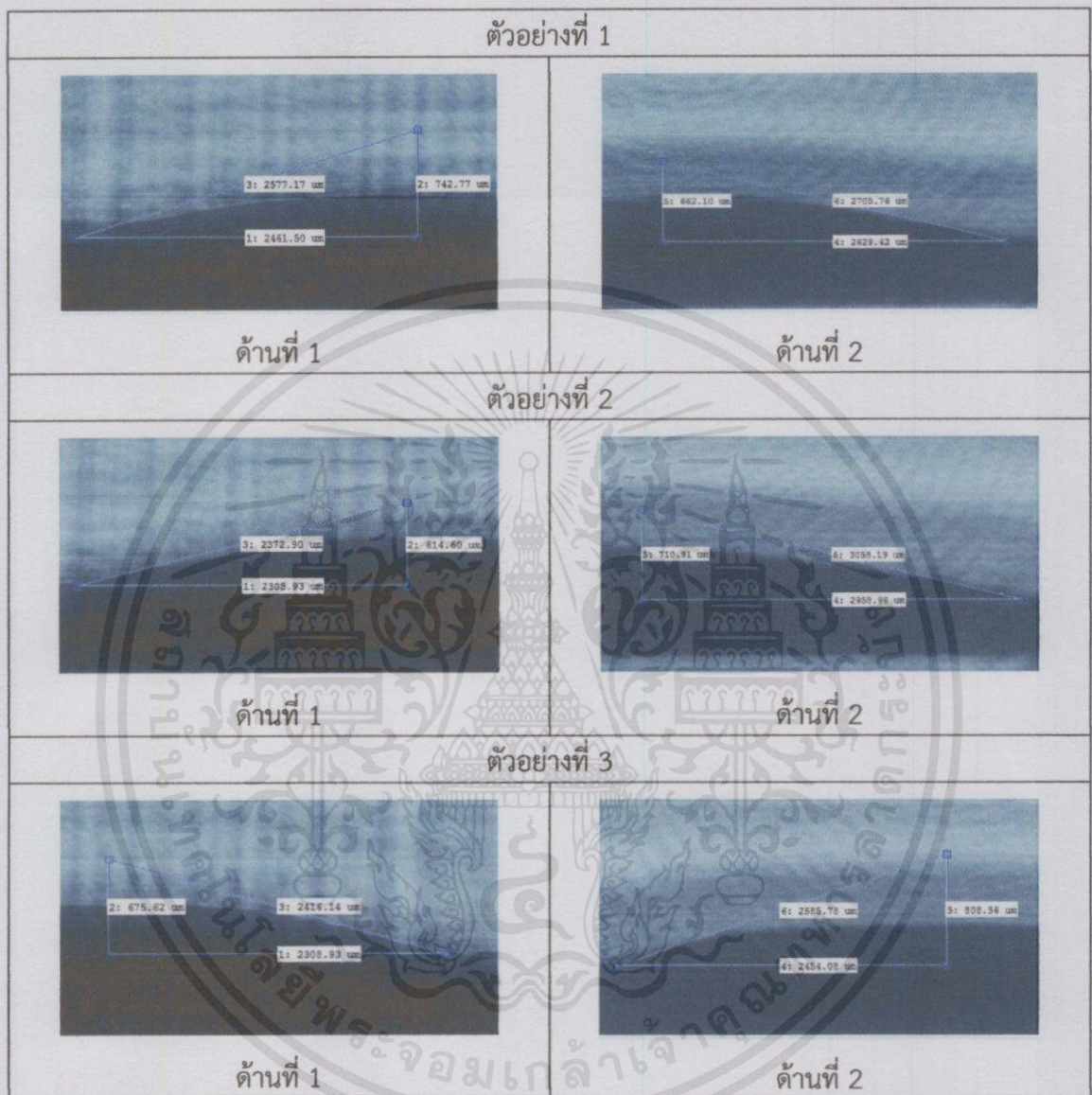


ทำการหาค่ามุมสัมพันธ์ด้วยวิธีรูปสามเหลี่ยมมุมฉากพีทาโกรัสในแต่ละด้านของตัวอย่างที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05% ของน้ำหนัก ตัวอย่างที่ 1 ด้านที่ 1 เท่ากับ 16.17° และด้านที่ 2 เท่ากับ 15.78° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 15.97° ตัวอย่างที่ 2 ด้านที่ 1 เท่ากับ 15.14° และด้านที่ 2 เท่ากับ 15.63° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 15.39° ตัวอย่างที่ 3 ด้านที่ 1 เท่ากับ 15.50° และด้านที่ 2 เท่ากับ 15.12° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 15.31°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.15 รูปแสดงการวัดค่ามุมสัมพันธ์ของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1%

ตารางที่ 4.29 แสดงตัวอย่างของสารเชื่อมผสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1%



ทำการหาค่ามุมสัมพันธ์ด้วยวิธีรูปสามเหลี่ยมมุมฉากพีทาโกรัสในแต่ละด้านของตัวอย่างที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1% ของน้ำหนัก ตัวอย่างที่ 1 ด้านที่ 1 เท่ากับ 16.79° และด้านที่ 2 เท่ากับ 14.13° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 15.46° ตัวอย่างที่ 2 ด้านที่ 1 เท่ากับ 14.91° และด้านที่ 2 เท่ากับ 13.51° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 14.21° ตัวอย่างที่ 3 ด้านที่ 1 เท่ากับ 16.31° และด้านที่ 2 เท่ากับ 18.24° มุมเฉลี่ยเท่ากับ 17.27°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.16 ตารางค่ามุมสัมพัทธ์รวมที่วัดได้
 ตารางค่ามุมสัมพัทธ์ที่วัดได้ ดังตารางที่ 4.30
 ตารางที่ 4.30 แสดงค่ามุมสัมพัทธ์ของแต่ละตัวอย่าง

สารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้นต่างๆ	มุมด้านที่ 1	มุมด้านที่ 2	มุมเฉลี่ยทั้ง 2 ด้าน
ไม่มีการผสม	9.85	13.8	11.825
	12.75	10.93	11.840
	11.21	8.22	9.715
มุมเฉลี่ย			11.127
ผสมกราฟีน 0.1%	13.13	16.05	14.590
	12.71	16.68	14.695
	12.35	15.85	14.100
มุมเฉลี่ย			14.462
ผสมกราฟีน 0.05%	17.47	11.82	14.645
	11.1	11.37	11.235
	17.39	11.37	14.380
มุมเฉลี่ย			13.420
ผสมกราฟีน 0.02%	12.26	10.51	11.385
	12.05	12.85	12.450
	7.88	9.62	8.750
มุมเฉลี่ย			10.862
ผสมกราฟีนออกไซด์ 0.1%	16.79	14.13	15.462
	14.91	13.51	14.207
	16.31	18.24	17.272
มุมเฉลี่ย			15.647
ผสมกราฟีนออกไซด์ 0.05%	16.17	15.78	15.974
	15.14	15.63	15.386
	15.50	15.12	15.311
มุมเฉลี่ย			15.557
ผสมกราฟีนออกไซด์ 0.02%	15.32	18.57	16.946
	13.65	16.42	15.037
	13.53	15.32	14.425
มุมเฉลี่ย			15.470

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะริเฉยทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.17 รูปของตัวอย่างที่ได้ทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4.17.1 รูปกราฟีนและกราฟีนออกไซด์ที่ถ่ายด้วยกำลังขยาย 500 เท่า



ก)

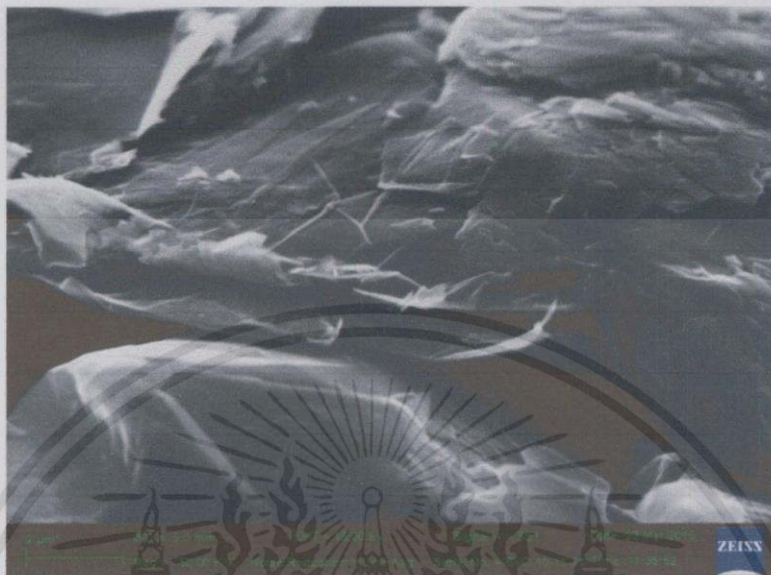


ข)

รูปที่ 4.1 ถ่ายด้วยกำลังขยาย 500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อ (ข) กราฟีนออกไซด์ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.17.2 รูปกราฟีนและกราฟีนออกไซด์ที่ถ่ายด้วยกำลังขยาย 50,000 เท่า



ข)

รูปที่ 4.2 ถ่ายด้วยกำลังขยาย 50,000 เท่า

ก) กราฟีน

ข) กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.17.3 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่ไม่มีการผสม



รูปที่ 4.3 ถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่ไม่มีการผสม

4.17.4 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02%



ก)



ข)

รูปที่ 4.4 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02%

ก) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสาน

ข) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่เห็นกราฟีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.17.5 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05%



ก)

ข)

รูปที่ 4.5 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05%

ก) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสาน

ข) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่เห็นกราฟีน

4.17.6 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1%



ก)

ข)

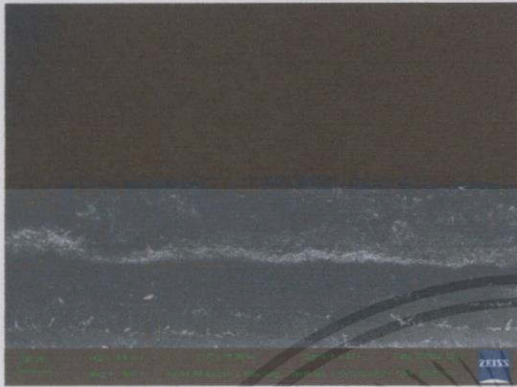
รูปที่ 4.6 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1%

ก) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสาน

ข) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่เห็นกราฟีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.17.7 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.2%



ก)



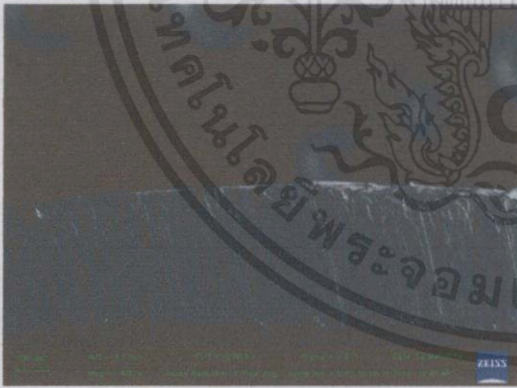
ข)

รูปที่ 4.7 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.02%

ก) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสาน

ข) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่เห็นกราฟีนออกไซด์

4.17.8 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.05%



ก)



ข)

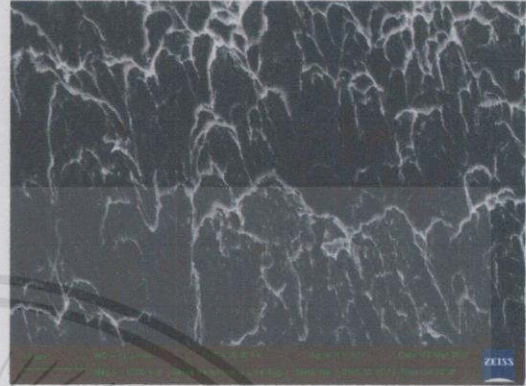
รูปที่ 4.8 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.05%

ก) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสาน

ข) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่เห็นกราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.17.9 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนออกไซด์ 0.1%



ก)

ข)

รูปที่ 4.9 รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1%

ก) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสาน

ข) รูปถ่ายตัดขวางของสารเชื่อมประสานที่เห็นกราฟีนออกไซด์

4.18 การวัดค่าความต้านทานของสารเชื่อมประสาน

ตารางแสดงค่าความต้านทานของสารเชื่อมประสาน

ตารางที่ 4.31 ตารางแสดงค่าความต้านทานของสารเชื่อมประสาน

สารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้นต่างๆ	ค่าความต้านทาน(Ω)			ค่าเฉลี่ย
ไม่มีการผสม	0.04	0.04	0.04	0.0400
ผสมกราฟีน 0.1%	0.03	0.03	0.03	0.0300
ผสมกราฟีน 0.05%	0.03	0.03	0.03	0.0300
ผสมกราฟีน 0.02%	0.03	0.04	0.03	0.0333
ผสมกราฟีนออกไซด์ 0.1%	0.03	0.03	0.03	0.0300
ผสมกราฟีนออกไซด์ 0.05%	0.04	0.03	0.04	0.0367
ผสมกราฟีนออกไซด์ 0.02%	0.04	0.04	0.04	0.0400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของสารเชื่อมประสานและระบบการทำงานและพัฒนาเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟีในการถ่ายภาพดิจิทัลโฮโลแกรมให้ได้ 2 มุมมองในการถ่ายครั้งเดียว โดยในการศึกษาเราได้กำหนดตัวแปรและเงื่อนไขในการศึกษาไว้ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมสารเชื่อมประสานได้กำหนดความเข้มข้นต่อมวลไว้ 0.10, 0.05 และ 0.02% โดยได้ชั่งน้ำหนักตามสมการที่ 3.1

$$WT\% = \frac{\text{weight nano}}{\text{weight nano} + \text{weight solder}} \times 100\%$$

2. การเตรียมสารเชื่อมประสานที่จะใช้การหลอมได้ใช้แม่พิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4.8 มิลลิเมตร สูง 1.5 มิลลิเมตร ในการเตรียมเพื่อให้ได้ความสูงของสารเชื่อมประสานที่ใช้ในการศึกษามีขนาดที่กั้น

3. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการหลอมของสารเชื่อมประสานได้กำหนดอุณหภูมิ 250 - 260 องศาเซียส และเวลาที่ใช้ในการหลอมอยู่ที่ 30 วินาที

ในการศึกษาในครั้งนี้เราได้ศึกษาความสูงของสารเชื่อมประสานที่ได้แสดงในบทที่ 4 ทำให้ได้ความสูงของสารเชื่อมประสานมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยเฉลี่ยรวมคือ 4.996% เนื่องจากค่าที่ยอมรับได้ใช้เวอร์เนียร์เนยคาลิปเปอร์ในการวัดทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนที่มาก แต่ในตารางที่ 4.22 แสดงค่าความแตกต่างของแต่ละตัวอย่างมีบางตัวอย่างเท่านั้นที่มีค่าความแตกต่างเกิน 10% ทั้งนี้อาจจะเพราะแผ่นทองมีรูปร่างเรียบไม่เสมอกันจึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการ Reconstruction ทำให้ได้ค่าที่ผิดพลาดไป

ในการหามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานที่ไม่มีการผสมจะเห็นได้ว่ามีค่ามุมเฉลี่ย 11.127 องศา โดยจะใช้ค่ามุมของสารเชื่อมประสานที่ไม่มีการผสมเป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบ และมุมของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีน 0.1 , 0.05 และ 0.02% ของน้ำหนัก โดยมีค่าเป็น 14.462 องศา , 13.420 องศา และ 10.802 องศา ตามลำดับโดยจะเห็นได้ว่ามุมของสารเชื่อมประสานที่มีการผสมของกราฟีนมีขนาดลดลงอย่างเห็นได้ชัด และสารเชื่อมประสานที่มีการผสมกราฟีนออกไซด์ 0.1 , 0.05 และ 0.02% ของน้ำหนัก โดยมีค่าเป็น 15.647 องศา, 15.557 องศาและ 15.470 องศา จะเห็นได้ว่ามีค่าลดลงแต่ไม่มากเท่ากับสารเชื่อมประสานที่ผสมด้วยกราฟีน แต่ทว่ามุมสัมผัสของทั้งสองชนิดยังมีค่ามากกว่าค่ามุมของสารเชื่อมประสานที่ไม่มีการผสม เว้นแต่สารเชื่อมประสานที่ผสมด้วยกราฟีน 0.02% มีค่ามุม 10.802 องศา ที่มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน จึงสรุปได้ว่าสารเชื่อมประสานที่มีการผสมด้วยกราฟีนที่มีความเข้มข้นต่อมวล 0.02% เป็นสารตัวอย่างที่ดีที่สุดสำหรับการใช้งาน

นอกจากนี้เป็นการศึกษาการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับสารเชื่อมประสานที่ไม่มีการผสมและที่มีการผสมของกราฟีน กราฟีนออกไซด์ นำไปส่งดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อดูภายในเนื้อสารของสารเชื่อมประสานว่ามีการแพร่เข้าไปหรือไม่ พบว่าที่กำลังขยาย 500 และ 50,000 เท่า

เห็นกราฟีนและกราฟีนออกไซด์ในตัวเนื้อสารผสมอยู่ ซึ่งลักษณะของกราฟีนและกราฟีนออกไซด์ที่พบ จะมีลักษณะเหมือนกันเป็นเกร็ดแผ่นบางๆขนาดเล็กซ้อนทับกันอยู่ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ขนาดโดย

กราฟีนออกไซด์จะมีขนาดเล็กกว่ากราฟีน จากนั้นนำสารเชื่อมผสมไปวัดความต้านทาน พบว่าสารเชื่อมผสมที่ไม่การผสมมีค่าความต้านทาน 0.040 โอห์ม โดยให้เป็นค่ามาตรฐาน และจากการวัดของสารเชื่อมผสมที่มีการผสมของกราฟีนที่มีความเข้มข้นต่อมวลเป็น 0.1 ,0.05 และ 0.02% มีค่าความต้านทานเป็น 0.030 ,0.030 และ 0.033 โอห์ม ตามลำดับ และที่ผสมด้วยกราฟีนออกไซด์มีค่าเป็น 0.030 ,0.036 และ 0.040 โอห์ม ตามลำดับ จากการศึกษาจะเห็นได้ว่ากราฟีนนำไฟฟ้าได้ดีกว่ากราฟีนออกไซด์ โดยที่ความเข้มข้นที่ 0.1% มีค่าความต้านทานเท่ากับ ที่ความเข้มข้นที่ 0.05% และ 0.02% เพราะฉะนั้น เราจึงสรุปได้ว่ากราฟีนสามารถนำไฟฟ้าได้ดีที่สุดในตารางที่ 4.23

จากการนำเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟีเข้ามาใช้ในการถ่ายภาพแล้วนำไป reconstruction พบว่าสามารถที่จะ reconstruction ภาพของสารเชื่อมผสมให้ชัดมากที่สุดเท่าที่จะชัดได้ ทำให้นำไปวิเคราะห์หรือคำนวณหาค่าอื่นๆง่ายขึ้นและสามารถที่จะเห็นความแตกต่างที่ชัดเจนของภาพ solder paste ในแต่ละภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กมลวิภา พึ่งเจียก, ชัยพนม หนูแก้ว และภรณ์ชัย กัลป์ยาศิริ. 2556. การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาบัดกรีที่มีต่อความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะระหว่างโลหะบัดกรี Sn-58Bi กับแผ่นรองทองแดง. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2556.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2014. กราฟีน. [Online]. Available :

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%9F%E0%B8%B5%E0%B8%99>

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2015. ทองแดง. [Online]. Available :

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%97%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%94%E0%B8%87>

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2015. โยโลกราฟี. [Online]. Available :

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AE%E0%B8%AD%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%9F%E0%B8%B5>

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2015. ดีบุก. [Online]. Available :

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%94%E0%B8%B5%E0%B8%9A%E0%B8%B8%E0%B8%81>

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2015. เงิน(โลหะ). [Online]. Available :

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%87%E0%B8%B4%E0%B8%99%28%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%AB%E0%B8%B0%29>

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2012. นาโนเทคโนโลยีจากการสังเคราะห์ [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit3-7.html>

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2012. การแทรกสอด. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/waves/properties/interference.html>

สำนักงานกลางศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์. 2556. การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical Exfoliation). [Online]. Available : http://thep-center.org/src/article_edu_t.php?article_edu_id=57

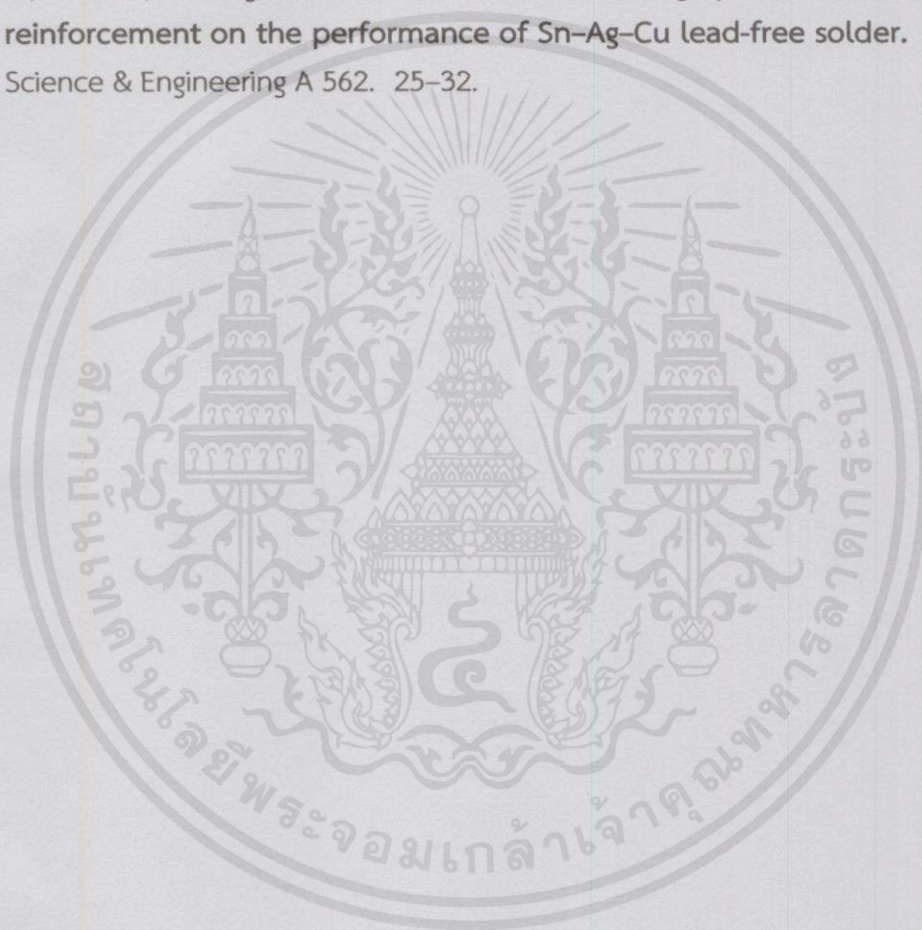
ธรรมบุญ อุดมมัน. 2556. Solder Paste ในอุตสาหกรรมประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารอ้างอิง [Online]. Available : http://www.eng.mut.ac.th/article_detail.php?id=31

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้ใช้ทั้งหมดยังคงต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ Riny. 2012. Hologram Technology ประตูดูดุคแห่งโลกเสมือนจริง. [Online]. Available :

<http://www.vcharkarn.com/blog/115383/60580>

- R. Durairaj, S. Ramesh, S. Mallik , A. Seman , N. Ekere. 2009. **Rheological characterisation and printing performance of Sn/Ag/Cu solder pastes.** *Materials and Design.* 3812-3818
- S.S. Zhang, Y.J. Zhang, H.W. Wang. 2010. **Effect of particle size distributions on the rheology of Sn/Ag/Cu lead-free solder pastes.** *Materials and Design.* 594-598
- U. Schnars & W. Jüptner. **Digital Hologram Recording, ไมโครเมตรrical Reconstruction, and Related Techniques.** Springer
- X.D. Liu, Y.D.Han, H.Y.Jing, J.Weil, L.Y.Xu. 2013. **Effect of graphene nanosheets reinforcement on the performance of Sn–Ag–Cu lead-free solder.** *Materials Science & Engineering A* 562. 25–32.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้