

การศึกษาสมบัติพื้นฐานของสารเชื่อมประสานผสมกับคาร์บอน
อัลโลโทรปโดยใช้วิธีดิจิตอลโฮโลกราฟี

THE PROPERTIE OF SOLDER MIXED CARBON
ALLOTROPE BY USING DIGITAL HOLOGRAPHY



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE PROPERTIES OF SOLDER MIXED CARBON
ALLOTROPE BY USING DIGITAL HOLOGRAPHY



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาสมบัติพื้นฐานของสารเชื่อมผสมคาร์บอนอัล
โลโทรปโดยใช้วิธีดิจิทัลโฮโลกราฟี

The Properties of Solder Mixed Carbon Allotrope by
Using Digital Holography

ชื่อนักศึกษา

นางสาวณัฐมนต์ พิงศรี รหัสนักศึกษา 58051059

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ประธาน บุรณะศิริ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์
ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ประธานกรรมการ	
อ.สุรชาติ กมลติล กรรมการ	
ผศ.ดร.ประธาน บุรณะศิริ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาสมบัติพื้นฐานของสารเชื่อมผสมผสานกับคาร์บอนอัลโลโทรปโดยใช้วิธีดิจิทัลโฮโลกราฟี
ชื่อนักศึกษา	นางสาว อนุมนต์ พิงศรี รหัสนักศึกษา 58051059
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติพื้นฐานของสารเชื่อมผสมผสานกับคาร์บอนอัลโลโทรป โดยสารเชื่อมผสมผสานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ Sn3.0Ag-0.5Cu (SAC305) ผสมกับแกรไฟต์และฟลูออรีน ตามความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% โดยทำการศึกษาคุณสมบัติของสารเชื่อมผสมผสานที่ได้ทำการหลอมแล้วในอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นนำสารเชื่อมผสมผสานมาทำการถ่ายภาพดิจิทัลโฮโลกราฟี และแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้เป็นเลเซอร์ไดโอดมีความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร จากนั้นนำภาพที่ได้ไปอ่านโดยหลักการดิจิทัลโฮโลกราฟี แล้วหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสมผสานที่ผสมกับแกรไฟต์และ ฟลูออรีน ที่มีความเข้มข้นโดยน้ำหนักตามที่ได้กำหนดไว้ โดยผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสารเชื่อมผสมผสานที่ผสมกับแกรไฟต์และฟลูออรีนที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นโดยน้ำหนักมากขึ้นจะทำให้มีอัตราการแผ่ที่ต่ำกว่าสารเชื่อมผสมผสานที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นโดยน้ำหนักน้อยกว่า

คำสำคัญ : แกรไฟต์ ฟลูออรีน ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ สารเชื่อมผสมผสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The Properties of Solder Mixed Carbon Allotrope by Using Digital Holography
Students	Miss Nartamon Peungsri Student ID 58051059
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2561
Advisor	Asst.Prof Dr.Prathan Boonranasiri

Abstract

The purpose of this research is to investigate the properties of solder mixed carbon allotrope. Sn3.0Ag-0.5Cu (SAC305) mixed with graphite and fullerene by the mass concentration 0.00%, 0.02%, 0.05% and 0.10%. were used in this project. The samples had been melted at a temperature 250 °C for 30 seconds. The in-line digital holography system was setup to explore the contact angle of the samples on copper plate using a diode laser at wavelength 635 nanometers and Cannon digital camera. The records of the images were reconstruct by using digital holographic numerical computer programing. Using the reconstructed images, the cinctact angles of the solder mixed with different carbon carbon allotrope, graophite and fullerene with different specified mass concentration above were measured. From our inverstigating, the contact angles of the samples was decreased with the concentration percentage of both graphite and fullerene.

Keywords : Graphite, Fullerene, in-line digital holography, Solder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ประธาน บุรณศิริ อาจารย์ที่
 ปรึกษางานวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆมาโดยตลอด
 จนงานวิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งการให้
 กำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำต่างๆเกี่ยวกับการแก้ปัญหาใน
 การทำงานวิจัย การเลือกใช้คำในงานวิจัยนี้ และการให้กำลังใจที่ดีมาเสมอ

ณัฐมนต์ พิงศรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป	๗
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	๗
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 Hologram.....	3
2.1.1 ประวัติและความเป็นมา.....	3
2.1.2 หลักการทำงาน.....	4
2.1.3 Digital holography	5
2.2 Fullerene.....	6
2.2.1 ลักษณะของ Fullerene	6
2.3 Graphite.....	7
2.3.1 ลักษณะของ Graphite	7
2.3.2 คุณสมบัติของ Graphite.....	8
2.4 เลเซอร์ไดโอด.....	8
2.4.1 หลักการทำงานของเลเซอร์ไดโอด	8
2.5 Interometry.....	9
2.5.1 Michelson Interometry	9
2.6 สารเชื่อมประสาน.....	10
2.7 ความสามารถในการเปียก.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.1 มุมสัมผัส.....	12
2.8 เครื่อง Contact Angle.....	13
2.8.1 หลักการทำงาน.....	13
2.8.2 ลักษณะของผลที่ได้.....	13
2.9 โปรแกรม ImageJ.....	14
2.9.1 เริ่มต้นใช้โปรแกรม ImageJ.....	14
2.9.2 การเทียบหน่วย pixle เป็นหน่วยความยาวจริง.....	14
2.9.3 การแสดงผลการวัด.....	17
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	19
3.1 การเตรียมชิ้นงาน.....	19
3.1.1 การเตรียมสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite และ Fullerene.....	19
3.1.2 การเตรียมการถ่ายดิิจิตอลโฮโลกราฟีแบบออนไลน์.....	21
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	22
3.3.1 ไดอะแกรมการใช้โปรแกรมในการประมวลภาพ.....	22
3.4 เกณฑ์การเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	25
4.1 ผลจากการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene โดยใช้วิธีดิิจิตอลโฮโลกราฟี.....	25
4.1.1 ผลของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00%.....	25
4.1.2 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02%.....	27
4.1.3 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05%.....	29
4.1.4 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10%.....	31
4.1.5 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02%.....	33
4.1.6 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05%.....	35
4.1.7 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10%.....	37
4.2 ผลการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite Fullerene โดยใช้	
เครื่อง Contact Angle.....	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 ผลของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00%.....	39
4.2.2 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02%.....	41
4.2.3 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05%.....	42
4.2.4 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10%.....	44
4.2.5 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02%.....	45
4.2.6 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05%.....	47
4.2.7 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10%.....	48
4.3 ผลการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite Fullerene โดยใช้โปรแกรม ImageJ	50
4.3.1 ผลของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00%.....	50
4.3.2 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02%.....	51
4.3.3 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05%.....	53
4.3.4 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10%.....	54
4.3.5 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02%.....	56
4.3.6 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05%.....	57
4.3.7 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10%.....	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	2
2.1 การแสดงคำมูสัมพัทธ์ต่างๆและปฏิสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้อง	12
4.1 คำมูสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite Fullerene ที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ตอน	60
4.1 คำมูสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite Fullerene ที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ตอน (ต่อ).....	61
4.2 คำมูสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite Fullerene ที่ได้จากการทดลอง ทั้ง 3 ตอน.....	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การบันทึกภาพของโฮโลแกรม.....	4
2.2 การแสดงภาพโฮโลแกรม	5
2.3 การบันทึกภาพของโฮโลแกรมแบบดิจิทัลโฮโลกราฟี	5
2.4 โครงสร้างโมเลกุลของ Fullerene	6
2.5 ผง Fullerene	7
2.6 โครงสร้างโมเลกุลของ Graphite	7
2.7 ผลึกของ Graphite.....	8
2.8 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด.....	9
2.9 พื้นฐานของไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	10
2.10 ลักษณะของรีจิวการแทรกสอด	10
2.11 Solder paste.....	11
2.12 รูปทรงหยดน้ำในอดมคติ.....	12
2.13 ลักษณะชิ้นงานและผลจากการทดลอง	13
2.14 เมนูคำสั่งและไอคอนสัญลักษณ์เครื่องมือ.....	14
2.15 แสดงขนาดของภาพในหน่วย pixle และโหมดสี.....	14
2.16 เลือkpุ่ม straight tool.....	15
2.17 ลากเส้นตามแนว Marker scale	15
2.18 การตั้งค่าขนาด set scales.....	16
2.19 การกำหนดค่า.....	16
2.20 การแสดงผลบนภาพ.....	17
2.21 ขั้นตอนการเลือก	17
3.1 สารเชื่อมประสานที่ยังไม่หลอม	20
3.2 สารเชื่อมประสานที่ผ่านการหลอมเหลวแล้ว	20
3.3 การเตรียมอุปกรณ์แบบอินไลน์ (in-line)	21
3.4 รูปแสดงการจัดอุปกรณ์จริงในการถ่ายภาพดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์.....	22
3.5 ไดอะแกรมแสดงการสร้างภาพใหม่.....	23
3.6 เครื่อง Contact Angle	24
4.1 สารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้น 0.00% ที่ได้จากการทดลอง.....	25
4.2 สารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้น 0.00% ที่นำไปสร้างใหม่.....	26

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 มุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานที่ความเข้มข้น 0.00% ชั้นที่ 1	26
4.4 มุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานที่ความเข้มข้น 0.00% ชั้นที่ 2	26
4.5 มุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานที่ความเข้มข้น 0.00% ชั้นที่ 3	27
4.6 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ที่ได้จากการทดลอง	27
4.7 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ที่นำไปสร้างใหม่	28
4.8 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 1	28
4.9 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 2	28
4.10 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 3	29
4.11 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ที่ได้จากการทดลอง	29
4.12 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ที่นำไปสร้างใหม่	30
4.13 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 1	30
4.14 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 2	30
4.15 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 3	31
4.16 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ที่ได้จากการทดลอง	31
4.17 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ที่นำไปสร้างใหม่	32
4.18 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 1	32
4.19 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 2	32
4.20 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 3	33
4.21 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ที่ได้จากการทดลอง	33
4.22 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ที่นำไปสร้างใหม่	34
4.23 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 1	34
4.24 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 2	34
4.25 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 3	35
4.26 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ที่ได้จากการทดลอง	35
4.27 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ที่นำไปสร้างใหม่	36
4.28 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 1	36
4.29 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 2	36
4.30 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 3	37
4.31 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ที่ได้จากการทดลอง	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ที่นำไปสร้างใหม่.....	38
4.33 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 1	38
4.34 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 2	38
4.35 สารเชื่อมผสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 3	39
4.36 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่ 1 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	39
4.37 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่ 2 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	40
4.38 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่ 3 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	40
4.39 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.02% ชั้นที่ 1 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	41
4.40 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.02% ชั้นที่ 2 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	41
4.41 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.02% ชั้นที่ 3 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	42
4.42 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.05% ชั้นที่ 1 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	42
4.43 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.05% ชั้นที่ 2 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	43
4.44 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.05% ชั้นที่ 3 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	43
4.45 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.10% ชั้นที่ 1 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	44
4.46 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.10% ชั้นที่ 2 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	44
4.47 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.10% ชั้นที่ 3 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.48 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.02% ชั้นที่ 1 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	45
4.49 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.02% ชั้นที่ 2 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	46
4.50 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.02% ชั้นที่ 3 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	46
4.51 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.05% ชั้นที่ 1 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	47
4.52 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.05% ชั้นที่ 2 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	47
4.53 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.05% ชั้นที่ 3 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	48
4.54 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.10% ชั้นที่ 1 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	48
4.55 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.10% ชั้นที่ 2 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	49
4.56 มุมสัมผัสของของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.10% ชั้นที่ 3 โดยใช้เครื่อง Contact Angle.....	49
4.57 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่ 1 โดยใช้ โปรแกรม ImageJ.....	50
4.58 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่ 2 โดยใช้ โปรแกรม ImageJ.....	50
4.59 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่ 3 โดยใช้ โปรแกรม ImageJ.....	51
4.60 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 1 โดยใช้ โปรแกรม ImageJ.....	51
4.61 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 2 โดยใช้ โปรแกรม ImageJ.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.62 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 3 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	52
4.63 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	53
4.64 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	53
4.65 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 3 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	54
4.66 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	54
4.67 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	55
4.68 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 3 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	55
4.69 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	56
4.70 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	56
4.71 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 3 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	57
4.72 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	57
4.73 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	58
4.74 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 3 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	58
4.75 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.76 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	59
4.77 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 3 โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CCD	Charge Couple Devices



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในหลายปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีและความก้าวหน้าทางวิทยาการได้มีการพัฒนาอย่างมากในปัจจุบัน มักเกิดจากนักพัฒนาที่นำความรู้ที่มีมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆไม่ว่าจะเป็นคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ซึ่งทุกๆสาขาวิชาที่กล่าวมาได้มีความสำคัญต่อการพัฒนาทำให้มนุษย์ทุกคนได้รับความสะดวกสบายจากเทคโนโลยี โดยส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้ชีวิตก็คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในช่วงก่อนหน้านี้นั้นมักมีขนาดใหญ่ทำให้ยากต่อการพกพา จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้มีขนาดที่เล็กลงง่ายต่อการพกพาโดยมีหลายวิทยาการในด้านวิทยาศาสตร์ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือเทคโนโลยี Surface Mount Technology (SMT) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการยึดพื้นผิวทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลงโดยเทคนิคนี้มาใช้ในการเชื่อมวงจรรวม (Integrated Circuit) ตัวต้านทาน (Resistor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) ลงในแผงวงจร (Printed Circuit Board) โดยใช้สารเชื่อมประสาน (Solder paste)

เทคโนโลยีการยึดพื้นผิวเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดการพัฒนารวดเร็วโดยสารที่นำมาเป็นตัวยึดพื้นผิวคือสารเชื่อมประสาน (Solder paste) เป็นโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของการยึดพื้นผิว โดยสารเชื่อมประสานจะต้องนำไฟฟ้าได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี มีการแผ่กระจายได้ดี

ในการสังเคราะห์สารเชื่อมประสานได้นำหลักการการบันทึกรูปจากระบบดิจิทัลโฮโลกราฟี (Digital Holography) เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้แสงในการสังเคราะห์วัตถุกับลำแสงอ้างอิงมาแทรกสอดกันและใช้กล้องดิจิทัลมาบันทึกภาพ ซึ่งในปีค.ศ.1948 ได้มีการค้นพบการถ่ายภาพแบบโฮโลกราฟีขึ้นในการจัดอุปกรณ์แบบโฮโลกราฟีมีการจัดหลายแบบไม่ว่าจะเป็นแบบอินไลน์ (In-line) แบบไมเคลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ (Michelson Interferometer) และแบบมัค-เซนเดอร์ (Mach-Zehnder Interferometer) ที่เกิดจากแสงที่มีความอาพันธ์ (Coherent) โดยลำแสงทั้งสองลำมาแทรกสอดกันทำให้เกิดริ้วการแทรกสอดโดยริ้วการแทรกสอดเกิดจากแสงที่มีเฟส (Phase) ที่แตกต่างกัน จึงนำมาใช้ในการสังเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angle)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการทำงานของดิจิทัลโฮโลกราฟี
- 2) ศึกษาสารเชื่อมประสานกับแผ่นทองแดงเพื่อหามุมสัมผัส
- 3) การประยุกต์ใช้ดิจิทัลโฮโลกราฟีในการศึกษาสารเชื่อมประสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.) ศึกษาการเตรียมสารเชื่อมผสมที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene ที่ความเข้มข้น น้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05%, 0.10%
- 2.) นำระบบดิจิทัลมาศึกษาสมบัติสารเชื่อมผสม
- 3.) การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลเพื่อศึกษาสารเชื่อมผสม
- 4.) นำหลักการดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบออนไลน์เพื่อศึกษามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสม

1.4 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1.) ศึกษาหลักการการทำงานของดิจิทัลโฮโลกราฟี
- 2.) ศึกษาคุณสมบัติของ Graphite และ Fullerene
- 3.) ออกแบบ Digital Holography ในการศึกษาสารเชื่อมผสม
- 4.) ทำการทดลอง
- 5.) สรุปผลการทดลอง
- 6.) เขียนรูปเล่ม

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานที่ต้องทำในแต่ละเดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
ศึกษาหลักการการทำงานของดิจิทัลโฮโลกราฟี						
ศึกษาคุณสมบัติของ Graphite และ Fullerene						
ออกแบบ Digital Holography ในการศึกษาสารเชื่อมผสม						
ทำการทดลอง						
สรุปผลการทดลอง						
เขียนรูปเล่ม						

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงคุณสมบัติของของสารเชื่อมผสมที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene ว่ามีความเข้มข้นเท่าไรถึงที่จะได้มุมสัมผัสของสารเชื่อมผสมที่พอดี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Hologram

เป็นภาพชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะ 3 มิติ ถูกสร้างขึ้นมาจากการบันทึกข้อมูลด้วยแสงเลเซอร์ โดยบันทึกการแทรกสอด (Interference Pattern) ของแสงเลเซอร์ ทำให้เราสามารถมองเห็นภาพเป็นลักษณะ 3 มิติ แตกต่างจากภาพทั่วไปซึ่งเราจะมองเป็นเพียงภาพสองมิติ ไม่มีความลึกทางมิติของภาพเป็นภาพแบนๆ เรียบๆ ทำให้ภาพนั้นดูสวยงามมากขึ้นและยังมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีกด้วย ฮอโลแกรมถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการที่เรียกว่า ฮอโลกราฟี (Holography) โดยฮอโลกราฟีเป็นเทคนิคที่ช่วยให้แสงกระจายจากวัตถุที่จะบันทึกและถูกสร้างขึ้นใหม่เพื่อให้ปรากฏเป็นวัตถุอยู่ในตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับการบันทึก การเปลี่ยนแปลงรูปแบบตำแหน่งและทิศทางของระบบการมองเห็นเป็นไปอย่างถูกต้องเหมือนกับว่าวัตถุก็ยังคงเป็นปัจจุบันจึงทำให้ภาพที่บันทึกปรากฏเป็นสามมิติ เป็นเทคโนโลยีรูปแบบหนึ่งที่ใช้เป็นเครื่องมือในการสื่อสารระยะไกลระหว่างบุคคลต้นทางและปลายทางที่อยู่ต่างสถานที่กันสามารถโต้ตอบแบบตัวต่อตัว ฮอโลแกรมแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ white-light hologram ซึ่งภาพฮอโลแกรมที่บันทึกนั้น สามารถมองเห็นได้ด้วยการส่องแสงสว่างจากธรรมชาติ และอีกประเภทหนึ่งคือ ภาพฮอโลแกรม ที่ต้องถูกส่องด้วยแสงเลเซอร์หรือแสงที่มีสภาพหน้าคลื่นสอดคล้องกันในระดับหนึ่งถึงจะมองเห็นภาพ 3 มิติได้

2.1.1 ประวัติและความเป็นมา

โฮโลแกรมนี้ถูกค้นพบโดยเดนนิส กาบอร์ (Dennis Gabor, 1900-1979) วิศวกรไฟฟ้าชาวฮังการี ในวันที่ 13 ตุลาคม ค.ศ. 1947 โดยกาบอร์ได้ค้นพบหลักการของฮอโลกราฟีโดยบังเอิญ ในระหว่างที่พัฒนาปรับปรุงคุณภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่บริษัท British Thomson-Houston ที่เมือง Rugby ประเทศอังกฤษ จากการค้นพบนี้กาบอร์ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1971 เทคนิคที่คิดค้นเดิมยังใช้อยู่ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ที่เป็นที่รู้จักกันในชื่อภาพสามมิติอิเล็กตรอน แต่ภาพสามมิติเป็นเทคนิคแสงซึ่งไม่ได้มีการพัฒนาอย่างจริงจังจนกระทั่งมีการพัฒนาของเลเซอร์ในปี ค.ศ. 1960

โฮโลแกรมแสงที่ใช้ได้จริงชิ้นแรกถูกบันทึกอยู่ในรูปของวัตถุ 3D ซึ่งถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1962 โดย Yuri Denisyuk ในสหภาพโซเวียตและโดย Emmett Leith และ Juris Upatnieks ที่ University of Michigan ประเทศ USA ความก้าวหน้าในเทคนิคการประมวลผลโฟโตเคมีคือเป็นการผลิต เพื่อแสดงภาพโฮโลแกรมที่มีคุณภาพสูงซึ่งทำได้สำเร็จโดย Nicholas J. Phillips

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 หลักการทำงาน

โฮโลแกรมจะใช้หลักการสร้างภาพให้มีการแทรกสอดของแสงที่มากกระทบรูปภาพ โดยการฉายแสงเลเซอร์จากแหล่งเดียวกันแยกเป็น 2 ลำแสง ลำแสงหนึ่งเป็นลำแสงอ้างอิงเล็งตรงไปที่แผ่นฟิล์มอีกลำแสงหนึ่งเล็งไปที่วัตถุและสะท้อนไปยังฟิล์ม แสงจากทั้งสองแหล่งจะถูกบันทึกไว้บนฟิล์มในรูปแบบของการแทรกสอด (Interference Pattern) ซึ่งมองไม่คล้ายกับรูปของวัตถุต้นแบบ ก่อให้เกิดภาพเสมือน (Virtual image) ขึ้นมาตามมุมของแสงที่มาตกกระทบทำให้ตาของเรารับแสงอีกด้านหนึ่งของแผ่น Hologram เกิดเห็นภาพ 3 มิติขึ้น

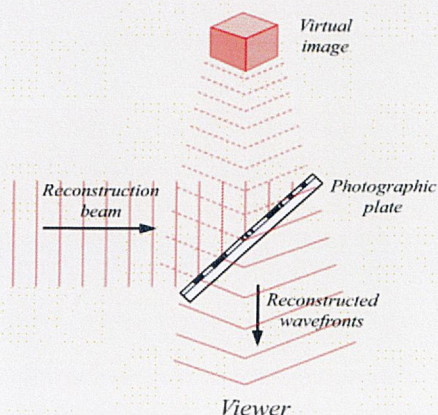
การสร้างโฮโลแกรมแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

- (1) การบันทึกภาพ (recording of image) เป็นการบันทึกแถบการสอดแทรกเชิงซ้อน (Complex interference patterns) ซึ่งเกิดจากที่แต่ละแสงเลเซอร์ 2 ลำแสงซ้อนทับกันอยู่ (Superposition) แถบการสอดแทรกเชิงซ้อนนี้จะถูกบันทึกไว้บนฟิล์มถ่ายรูป (Photographic film)
- (2) การสร้างภาพ (reconstruction of image) เป็นการสร้างภาพ 3 มิติขึ้นจากแผ่นฟิล์ม



รูปที่ 2.1 การบันทึกภาพโฮโลแกรม

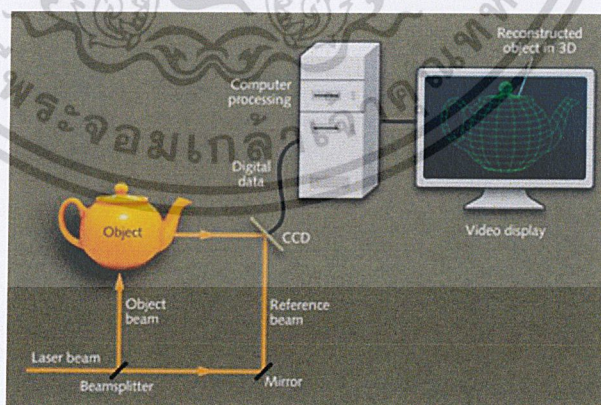
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การแสดงภาพโฮโลแกรม

2.1.3 Digital holography

การถ่ายโฮโลแกรมแบบเดิมจะมีข้อจำกัดเนื่องจากแผ่นรับแสงที่ทำจากฟิล์มสามารถใช้ได้เพียงครั้งเดียว ดังนั้นดิจิทัลโฮโลกราฟฟีจึงถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อแก้ไขในเรื่องการใช้งานที่ใช้ได้เพียงครั้งเดียว โดยจะใช้กล้องดิจิทัลเป็นตัวบันทึกข้อมูลภาพจะประกอบไปด้วยเฟสและแอมพลิจูด ดังภาพที่ 2.1 รูปภาพภาพที่ได้จะถูกบันทึกลงบนคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์รับภาพที่เรียกว่า Charge Couple Devices (CCD) ซึ่งข้อมูลภาพนี้จะถูกนำไปสร้างเป็นภาพโฮโลแกรม การได้ข้อมูลภาพและการประมวลผลของโฮโลแกรมด้วยอาร์เรย์เซ็นเซอร์ดิจิทัลโดยทั่วไปจะใช้กล้อง CCD หรืออุปกรณ์ที่คล้ายคลึงกัน



รูปที่ 2.3 การบันทึกภาพของโฮโลแกรมแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

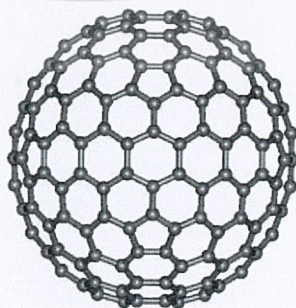
ภาพหรือการสร้างข้อมูลวัตถุใหม่จะใช้เป็นตัวเลขจากอินเทอร์กราฟแบบดิจิทัล โดยเป็นภาพสามมิติ ดิจิตอลจะเป็นการเสนอวิธีการวัดข้อมูลเฟสออปติคอลและโดยทั่วไปจะให้ภาพพื้นผิวแบบสามมิติหรือภาพความหนาออปติคัลหลายรูปแบบการบันทึกและการประมวลผลได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อประเมินลักษณะของคลื่นแสงเช่น แอมพลิจูดเฟสและสถานะโพลาไรเซชัน ทำให้โฮโลแกรมดิจิตอลเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานด้านมาตรวิทยา และยังสามารถกำหนดค่านอกแกนในการกำหนดค่าแบบปิดแกนมุมเล็กๆ ระหว่างแขนกระจกอ้างอิงและแขนวัตถุ ถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันการซ้อนทับกันของระนาบระหว่างวัตถุและข้อมูลออปติคัลอ้างอิง สำหรับภาพสามมิติแบบอะนาล็อก และปรับให้เข้ากับภาพสามมิติแบบดิจิทัล ในการกำหนดค่านี้จำเป็นต้องใช้อินเตอร์โปรแกรมแบบดิจิทัลที่บันทึกไว้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นสำหรับการสร้างภาพใหม่ แต่การกำหนดค่านี้สามารถใช้ร่วมกับวิธีการปรับแบบชั่วคราวเช่น การเปลี่ยนเฟสและการเปลี่ยนความถี่

2.2 Fullerene

คือสารเคมีโมเลกุลเดี่ยวที่ประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอนโครงสร้างนาโนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของโครงสร้างเพียง 1 นาโนเมตรโดยโครงสร้างโมเลกุลจะประกอบไปด้วยอะตอมของธาตุคาร์บอนจำนวน 60 อะตอม เชื่อมต่อกันเป็นรูปร่างลักษณะทรงกลมคล้ายกับลูกฟุตบอล ฟลูเลอรีนจะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับแกรไฟต์ จะประกอบไปด้วยแผ่นวงแหวนหกเหลี่ยมหรือห้าเหลี่ยมบ้างอาจจะมีแผ่นวงแหวนแบบเจ็ดเหลี่ยมโดยจะกั้นไม่ให้แผ่นวงแหวนเป็นแผ่นเรียบ

2.2.1 ลักษณะของFullerene

อยู่ในสถานะเป็นของแข็งมีลักษณะเป็นผงสีดำมีรูปร่างเป็นทรงกลมกลวง ไม่นำไฟฟ้า เนื่องจากเป็นพันธะโคเวเลนต์มีประจุไฟฟ้าเป็นกลางเพราะไม่มีอิเล็กตรอนอิสระที่คอยช่วยในการไฟฟ้า ไม่นำความร้อน จุดเดือดและจุดหลอมเหลวจะขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 2.4 รูปร่างโครงสร้างโมเลกุลของ Fullerene** นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



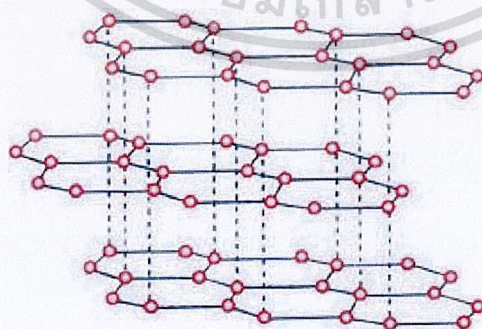
รูปที่ 2.5 ผง Fullerene

2.3 Graphite

อีกรูปหนึ่งของธาตุคาร์บอน มีชื่อสามัญเรียกว่า พลัมเบโก (plumbago) หรือแร่ดินสอดำ มีลักษณะเป็นของแข็ง มีรูปผลึกเป็นแผ่นบาง ๆ ทึบแสง อ่อนนุ่ม สีเทาเข้มถึงดำ เนื้ออ่อน เป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี มักใช้ทำไส้ดินสอดำ ระบายความร้อน น้ำมันหล่อลื่นบางชนิด ไส้ถ่านไฟฉาย ไส้ไฟอาร์ก ใช้เป็นตัวลดความเร็ว ช่วยควบคุมจำนวนอนุภาคนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ นิวเคลียร์ ซึ่งแร่ที่พบมีลักษณะบริสุทธิ์ ไม่แข็ง แตกหักง่าย และมีรูปแบบการสะสมตัวอัดแน่นกัน

2.3.1 ลักษณะของ Graphite

แร่เรียงตัวเป็นชั้น ๆ คาร์บอนมีการจัดเรียงตัวแบบแอลฟา หรือเป็นรูปผลึก 6 หน้า (hexagonal) และจัดเรียงตัวแบบเบตาหรือรูปผลึกขนมเปียกปูน (rhombohedral) โดยมีลักษณะทางกายภาพเหมือนกัน แผ่นแร่รูปผลึก 6 หน้า มีลักษณะบางและไม่แข็ง ผลึกแบบแอลฟาสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นเบตาได้เมื่อแรงกดดัน และผลึกแบบเบตาสามารถเปลี่ยนกลับเป็นผลึกแบบแอลฟา เมื่อได้รับความร้อนมากกว่า 1300 องศาเซลเซียส โดยแผ่นแร่แต่ละแผ่นมีความหนาแน่นน้อย



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ Graphite

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ผลึกของ Graphite

2.3.2 คุณสมบัติของ Graphite

มีการนำไฟฟ้าเพราะการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนแต่ละระนาบ โดยอิเล็กตรอนวงนอกสุดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ จึงสามารถนำไฟฟ้าได้ แต่แร่แกรไฟต์สามารถนำไฟฟ้าได้ระนาบเดียวเท่านั้น

2.4 เลเซอร์ไดโอด

เป็นเลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งทำจากสารประกอบ เช่น GaAs (แกลเลียมอาร์เซไนด์) GaAlAs (แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์) In GaAsP (อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสฟายด์) ซึ่งมีค่าแถบพลังงานต่างกัน จึงเป็นตัวกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ ซึ่งเลเซอร์ไดโอดแต่ละชนิดจึงมีการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะ และคุณสมบัติของค่าความยาวคลื่นนั้นๆ เช่น เลเซอร์ไดโอดที่ให้สีแดง จะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

2.4.1 หลักการทำงานของเลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอดถูกสร้างโดยการเจือสารกระตุ้น (doping) เป็นชั้นบางมากบนพื้นผิวของแผ่นเวเฟอร์ของผลึก โดยผลึกจะถูกเจือเพื่อผลิตบริเวณของสารชนิด N และบริเวณของสารชนิด P (n-type region and a p-type region) ทำให้เกิดรอยต่อของสาร p-n หรือไดโอด เลเซอร์ไดโอดสร้างจากส่วนย่อยของการจัดหมวดหมู่ขนาดใหญ่ของไดโอดสารกึ่งตัวนำรอยต่อ p-n การไบแอสกระแสไฟฟ้าไปข้างหน้าข้ามผ่านเลเซอร์ไดโอดจะทำให้ประจุสื่อนำไฟฟ้าสองชนิดคือ โฮลและอิเล็กตรอนจะถูกฉีดจากแต่ละฝั่งที่อยู่ด้านตรงข้ามกันของรอยต่อ p-n เข้ามาในบริเวณเขตการพ่วง โฮลจะถูกฉีดจากบริเวณของสารกึ่งตัวนำที่เป็นสารเจือชนิด P และอิเล็กตรอนจากบริเวณของสารเจือชนิด N (คือบริเวณของการพ่วงปราศจากประจุสื่อนำทางไฟฟ้าใดๆในรูปแบบที่เป็นผล

มาจากความแตกต่างทางความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิด n (n-type) การค้าไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสารชนิด p (p-type) โดยที่พวกมันอยู่ในสถานะของการสัมผัสติดกันทางกายภาพซึ่งกันอยู่ เนื่องจากเป็นการใช้การฉีดของประจุในการสร้างกำลังแกเลเซอร์ไดโอดมากที่สุด ประเภทของเลเซอร์แบบนี้บางครั้งเรียกว่า "เลเซอร์ฉีด" หรือ "เลเซอร์ไดโอดฉีด" (ILD) เป็นเลเซอร์ไดโอดที่เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่พวกมันอาจถูกจัดจำแนกได้ว่าเป็นเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งเป็นการกำหนดคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีความแตกต่างจากเลเซอร์สถานะของแข็ง

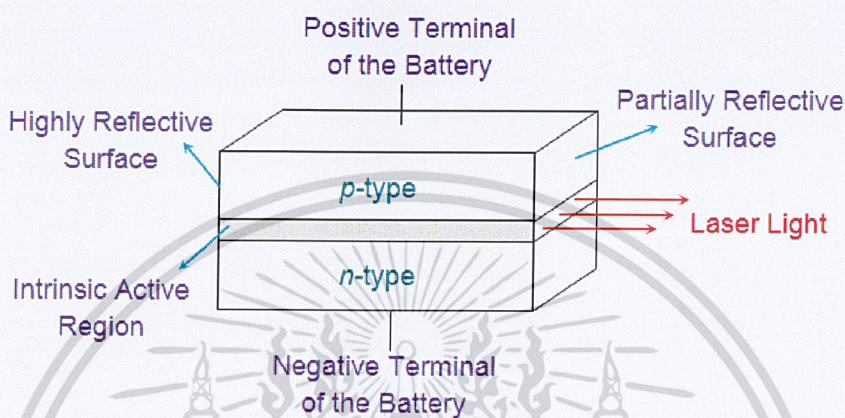


Figure 1 Laser Diode

รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอด

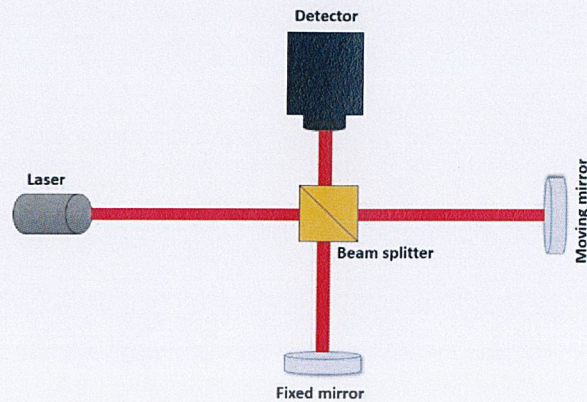
2.5 Interometry

การทับซ้อนกันเพื่อรวมคลื่นในลักษณะที่จะทำให้ผลลัพธ์ของการรวมกันของคลื่น เมื่อคลื่นสองลูกที่มีความถี่เดียวกันรวมกันรูปแบบความเข้มที่เกิดขึ้นจะถูกกำหนดโดยความแตกต่างของเฟสระหว่างคลื่นทั้งสองซึ่งคลื่นที่อยู่ในเฟสจะได้รับการรบกวนในขณะที่คลื่นที่อยู่นอกเฟส คลื่นที่ไม่สมบูรณ์ในเฟสหรือไม่สมบูรณ์จะมีรูปแบบความเข้มระดับกลางซึ่งสามารถใช้เพื่อกำหนดความแตกต่างของเฟสสัมพัทธ์ เครื่องวัดความถี่ส่วนใหญ่ใช้แสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบอื่น

2.5.1 Michelson Interometer

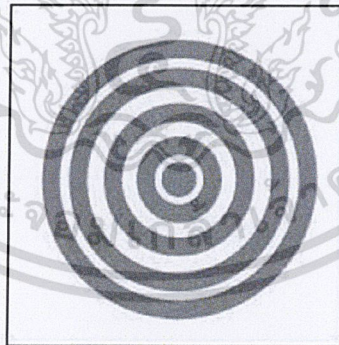
ในปีค.ศ.1802 มินักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษสามารถพิสูจน์ได้ว่าแสงสามารถแทรกสอดกันได้ ในปีค.ศ.1881 อัลเบิร์ต ไมเคิลสัน (Albuert A. Michelson) ได้สร้างเครื่องมือวัดที่อาศัยหลักการการแทรกสอดของแสงเรียกว่า ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ (Michelson Interometer) ต่อมาได้มีการนำไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์มาใช้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะงานด้านการตรวจวัดและมีการนำมาพัฒนาหลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการนำไปใช้ การใช้หลักการแทรกสอดของแสงจะให้ผลที่ถูกต้อง แม่นยำและมีความละเอียดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 พื้นฐานของไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

จากรูปที่ 2.10 แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้เป็นเลเซอร์ฮีเลียมนีออนมีความยาวคลื่น 632 nm. โดยฉายไปยังตัวแยกลำแสง หรือ Beam splitter แสงจะโดนแยกออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งลำแสงแรกจะสะท้อนไปยังกระจกที่อยู่กับที่แล้วสะท้อนกลับมาที่ตัวแยกลำแสงแล้วเข้าไปที่ตัวรับแสง ลำแสงที่สองจะทะลุผ่านตัวแยกลำแสงแล้วไปชนกระจกที่เคลื่อนที่ได้จากนั้นก็ถูกสะท้อนกลับมาที่ตัวแยกลำแสงซึ่งจะสะท้อนเข้าไปที่ตัวรับแสง เมื่อลำแสงทั้งสองมารวมกันที่ตัวรับแสงจะทำให้เกิดการแทรกสอดกันจนเกิดเป็นริ้วของการแทรกสอดที่มีลักษณะเป็นวงมืดและสว่างสลับกันดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 ลักษณะของริ้วการแทรกสอด

2.6 สารเชื่อมประสาน (Soldering)

คือการบัดกรีอ่อนเป็นวิธีการที่สามารถเชื่อมต่อโลหะตั้งแต่ 2 ชิ้นหรือมากกว่าเข้าด้วยกันโดยโลหะนั้นจะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ซึ่งจะอาศัยโลหะบัดกรีในการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน อุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรีจะมีอุณหภูมิน้อยกว่า 425 องศาเซลเซียส ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งโลหะที่ใช้จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ โลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงกับโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ โดยโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะนิยมใช้กับด้านอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากสามารถทนความร้อนได้ดี ส่วนโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำอุณหภูมิที่ใช้จะไม่เกิน 280 องศาเซลเซียส เช่นตะกั่ว หรือดีบุก เดิมลงไป ในรอยต่อของชิ้นงาน โลหะนี้จะหลอมและแทรกตัวเข้าไปในรอยต่อด้วย ปฏิกิริยาคาปิลารี (Capillary action) จะเห็นได้ว่าการต่อโลหะด้วยวิธีการบัดกรีอ่อนนั้นจะไม่หลอมละลายโลหะหลักให้เสียรูปทรง

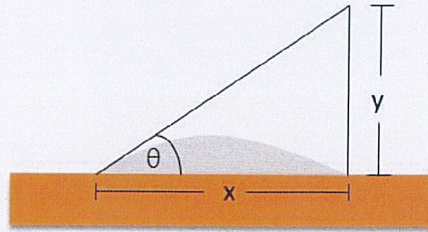


รูปที่ 2.11 Solder paste

2.7 ความสามารถในการเปียก

ความสามารถของของเหลวในการรักษาหน้าสัมผัสกับพื้นผิวของแข็งซึ่งเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุล โดยระดับชั้นของภาวะการเปียกขึ้นกับความสมดุลระหว่างแอดฮีชันและโคฮีชันภาวะการเปียกมีความสำคัญในการยึดติดกันของวัสดุสองชิ้น แรงยกตัว (capillary effect) ก็เป็นผลมาจากภาวะการเปียก และแรงพื้นผิวที่กำหนดภาวะการเปียก รูปร่างของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง จะมีรูปร่างเป็นรูปทรงหยดน้ำค้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 รูปทรงหยดน้ำในอุดมคติ

2.7.1 มุมสัมผัส

เป็นมุมระหว่างระนาบของปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-แก๊สกับระนาบของปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-ของแข็ง มุมสัมผัสนี้เกิดจากสมดุลของแรงแอดฮีชันกับแรงโคฮีชันมุมสัมผัสสามารถบอกแนวโน้มในการกระจายตัวในพื้นที่ผิวของของแข็งซึ่งมุมสัมผัสนี้มีการแปรผกผันกับการกระจายตัวของของเหลว โดยความสามารถในการเปียกนั้นที่มีมุมสัมผัสน้อยกว่า 90° แสดงว่ามีความสามารถในการเปียกที่ดีแต่ถ้าความสามารถในการเปียกนั้นที่มีมุมสัมผัสมากกว่า 90° แสดงว่ามีความสามารถในการเปียกไม่ค่อยดี ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแสดงค่ามุมสัมผัสต่างๆและปฏิสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้อง

มุมสัมผัส	ความสามารถในการเปียก	ความแข็งแรงของ	
		ปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-แก๊ส	ปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-ของแข็ง
$\theta = 0$	สมบูรณ์	แข็งแรง	อ่อนแอ
$0 < \theta < 90^\circ$	การเปียกสูง	แข็งแรง	แข็งแรง
		อ่อนแอ	อ่อนแอ
$90^\circ \leq \theta < 180^\circ$	การเปียกต่ำ	อ่อนแอ	แข็งแรง
$\theta = 180^\circ$	ไม่สมบูรณ์	อ่อนแอ	แข็งแรง

ในการหามุมสัมผัสนั้นหาได้จากสมการที่ 2.1

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เครื่อง Contact Angle

2.8.1 หลักการทำงาน

ใช้หลักการของ Young equation เพื่อใช้ในการอธิบายเกี่ยวกับแรงตึงผิวของวัสดุ โดยวัดได้จากมุมของของเหลวที่กระทบกับของแข็งที่เป็นระนาบอ้างอิง โดยพบว่าหากมุมของของเหลวที่วัดได้เมื่อเทียบกับระนาบอ้างอิงมีมุมที่กว้างกว่าของเหลวที่ทำการวัดนั้นมีแรงตึงผิวสูง และในทางกลับกัน หากมุมที่วัดได้เป็นมุมที่แคบแสดงว่าจะมีแรงตึงผิวน้อย

2.8.2 ลักษณะของผลที่ใช้

ภาพถ่ายของของเหลวที่ทำการวัดมุมสัมผัสเมื่อเปรียบเทียบกับระนาบอ้างอิง เพื่อบ่งบอกถึงแรงตึงผิวของตัวอย่างนั้นๆ



รูปที่ 2.13 ลักษณะชิ้นงานและผลจากการทดสอบ

2.8.3 การประยุกต์ใช้งาน

ใช้ในการวัดมุมสัมผัสของตัวอย่างและถ่ายภาพและสามารถทราบแรงตึงผิวของวัสดุอย่างคร่าวๆได้โดยอนุมานจากมุมที่ทำการวัดได้ สามารถวิเคราะห์หา Contact angle โดยเทคนิค Sessile Drops สามารถวิเคราะห์หา Surface tension และ Interfacial Surface Tension โดยใช้การวัดค่าแบบ Pendant Drop Method สามารถวัดค่า Surface Energy

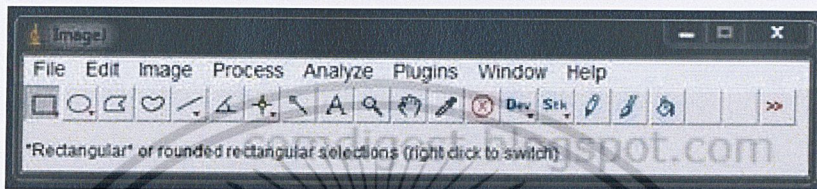
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 โปรแกรม imagej

2.9.1 เริ่มต้นใช้โปรแกรม ImageJ

จะทำการเปิดไฟล์ภาพที่ต้องการวัดขนาด โดยขั้นตอนการทำมี ดังนี้

1. เปิดโปรแกรม ImageJ หน้าต่างของโปรแกรม มีเฉพาะส่วนที่เป็นเมนูคำสั่งและไอคอนสัญลักษณ์เครื่องมือวัด



รูปที่ 2.14 เมนูคำสั่งและไอคอนสัญลักษณ์เครื่องมือวัด

2. เปิดไฟล์ภาพที่ต้องการวิเคราะห์ File > Open มุมบนด้านซ้ายได้ชื่อภาพ แสดงขนาดของภาพในหน่วย pixel และโหมดลี



รูปที่ 2.15 แสดงขนาดของภาพในหน่วย pixel และโหมดลี

2.9.2 การเทียบหน่วย pixel เป็นหน่วยความยาวจริง

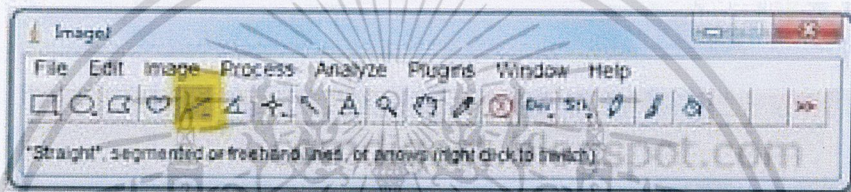
โดยปกติแล้วภาพที่นำมาวัดความยาวหรือพื้นที่ จะมีความหนาแน่นของจุดภาพ

หรือความละเอียด (ความคมชัด) ที่แตกต่างกันไป โปรแกรม ImageJ จึงไม่สามารถบอกความละเอียด

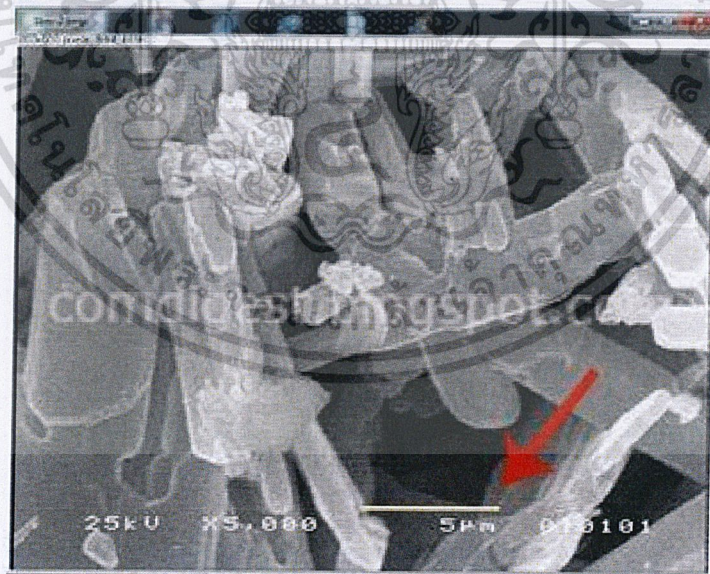
เอกสารนี้เป็นเอกสารสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของภาพเป็นหน่วยความยาวตามระบบการวัดความยาวได้ แต่จะบอกขนาดของภาพได้ในหน่วยพิกเซล (pixel) ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานของภาพโดยภาพหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วยจุดภาพหรือพิกเซลจำนวนมาก เช่น ภาพมีความละเอียด 800x600 pixels แสดงว่าด้านยาวของภาพมีค่าเท่ากับ 800 จุด และด้านกว้างของภาพเท่ากับ 600 จุด ดังนั้นก่อนวัดระยะหรือพื้นที่บนภาพด้วยเครื่องมือวัดในโปรแกรม ImageJ จำเป็นต้องปรับเทียบความละเอียดของภาพในหน่วย pixel ให้เป็นหน่วยความยาวตามระบบการวัดสากลก่อน จึงจะสามารถระบุความยาวที่แท้จริงของวัตถุบนภาพได้ โดยทำตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. เลือกปุ่ม straight tool แล้วใช้เมาส์ลากเส้นตรงตามแนวเส้น marker scale เพื่อ set scale จากหน่วย pixel เป็นหน่วยความยาวจริง

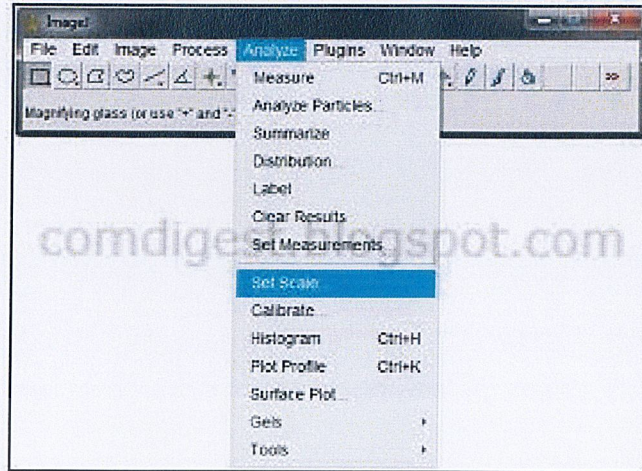


รูปที่ 2.16 เลือกปุ่ม straight tool



รูปที่ 2.17 ลากเส้นตามแนวเส้น Marker scale

2. เลือก Analyze > Set scales... เพื่อเทียบค่าความยาวในหน่วย pixel เป็นหน่วยความยาวจริง
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การตั้งค่าขนาด Set scales

โดยกำหนดได้ ดังนี้

- Distance in Pixels คือ ความยาวของเส้นสีเหลืองที่ลากด้วย straight tool ในหน่วย pixel ที่ได้จาก Analyze > Measures
- Known Distance คือ ความยาวของเส้นสีเหลืองที่ลากด้วย straight tool ในหน่วยที่ปรากฏบน marker scale ในภาพตัวอย่าง คือ 5 m ดังนั้นในช่องให้ใส่ค่าเท่ากับ 5
- Pixel Respect Ratio กำหนดให้เท่ากับ 1
- Unit of Length กำหนดให้เท่ากับหน่วยความยาวของ marker scale ในภาพตัวอย่าง คือ 5 m ดังนั้นในช่องนี้ใส่หน่วย micrometre
- คลิกช่อง global

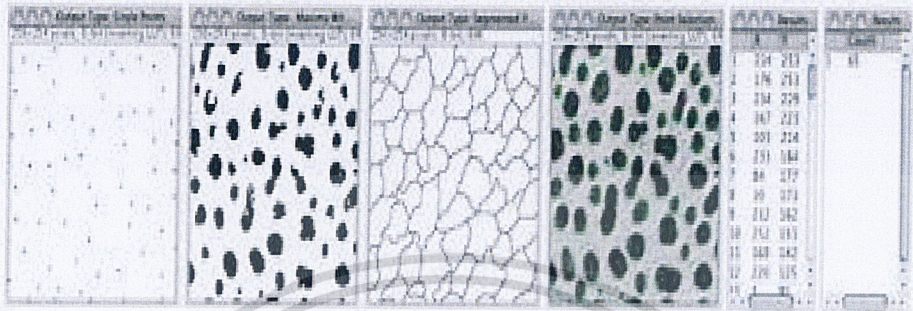


รูปที่ 2.19 การกำหนดค่า

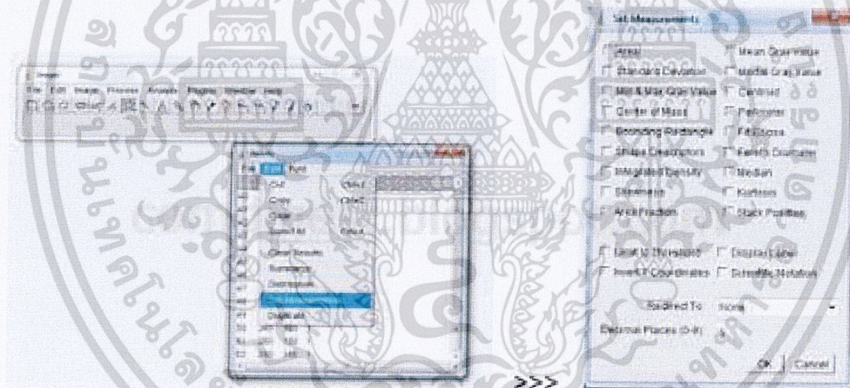
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 การแสดงผลการวัด

ผลการวัดแสดง 2 รูปแบบคือ แสดงผลบนภาพที่นำมาวัด เช่น เส้นรอยลากตามขอบ การมาร์คจุดนับและตัวเลขแสดงจำนวนที่นับ และแสดงผลเป็นตัวเลขในหน้าต่าง Result



รูปที่ 2.20 การแสดงผลบนภาพ



รูปที่ 2.21 ขั้นตอนการเลือก

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 Microstructures and properties of SnZn-xEr lead-free solder

ทำการศึกษาคโครงสร้างจุลภาคและสมบัติของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด SnZn-xEr เมื่อเติมธาตุเออร์เปียมในปริมาณที่น้อยกว่า 0.08 wt% จะทำให้การแผ่กระจายของ SnZn-xEr เพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเออร์เปียมที่เติมลงไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. 10. 2 Wetting properties and interfacial microstructures of SnZn-xGa solders on Cu substrate

ทำการศึกษาศมบัติการแผ่และโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรี Sn-9Zn-0.5Ga บนพื้นผิวทองแดง โดยใช้การวัดมุมสัมผัส (θ) ในการวิเคราะห์พบว่าโลหะบัดกรี Sn-9Zn-0.5Ga ใช้เวลาการแผ่ประมาณ 40 วินาที ฝรั่งมากกว่ากลุ่มโลหะบัดกรีและในการผลิตขนาดเล็กจึงได้มีการสร้างฟิล์มเมื่อเติม Ga 1-3 wt% เพื่อป้องกันการอิมิตัวและไม่ให้หนาเกินไป

2. 10. 3 Effects of cerium content on wettability, microstructures and mechanical properties of Sn-Ag-Ce solder alloys

ทำการศึกษามลกระทบของธาตุ Ce ที่มีต่อการแผ่, โครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของโลหะบัดกรี Sn-Ag-Ce โดยใช้วิธี wetting balance tester พบว่า Sn-1.0Ag-0.3Ce มีการแผ่ดีกว่า Sn-1.0Ag ในขณะที่ใช้เวลาในการแผ่ที่สั้นแสดงว่าการเพิ่ม Ce 0.3% เป็นการปรับปรุงการแผ่ของโลหะบัดกรี Sn-37Pb และ Sn-1.0Ag-0.3Ce มีความแตกต่างทางอุณหภูมิหลอมเหลวแตกต่างกันและส่งผลให้การแผ่ของ Sn-1.0Ag-0.3Ce มากขึ้น ในเวลาการแผ่ของโลหะบัดกรีทั้งสองจะคล้ายกันจึงทำให้สามารถใช้ Sn-1.0Ag-0.3Ce แทน Sn-37Pb

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทความนี้จะอธิบายถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยการผสมสารเชื่อมประสานกับ Graphite และ Fullerene ที่หาความเข้มข้นโดยน้ำหนักที่ต้องการโดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

1. การเตรียมชิ้นงาน จะกล่าวถึงการเตรียมชิ้นงานและการเตรียมการถ่ายภาพดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ (in-line) ที่ใช้ในงานวิจัย
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด
3. ขั้นตอนการทดลอง จะกล่าวถึงขั้นตอนในการทดลองงานวิจัย
4. เกณฑ์การประเมินผล จะกล่าวถึงวิธีการเลือกเลือกผลการทดลองว่าผลการทดลองไหนดีที่สุด

3.1 การเตรียมชิ้นงาน

3.1.1 การเตรียมสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite และ Fullerene

ทำการเตรียมสารเชื่อมประสานโดยในการวิจัยนี้ได้ใช้เป็น SAC305 นำมาผสมกับ Graphite และ Fullerene โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้สมการที่ (3.1) ในการเตรียมความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% โดยใช้เครื่องชั่งสารเพื่อชั่งสาร Graphite และ Fullerene กำหนดน้ำหนักสารเชื่อมประสานที่ในการทดลองและผสมสารเชื่อมประสานกับสารให้เข้ากันเป็นเวลา 25 นาที

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

ที่ความเข้มข้น 0.02%

$$0.02\% = \frac{0.001 \text{ g}}{5 \text{ g} + 0.01 \text{ g}} \times 100\%$$

ที่ความเข้มข้น 0.05%

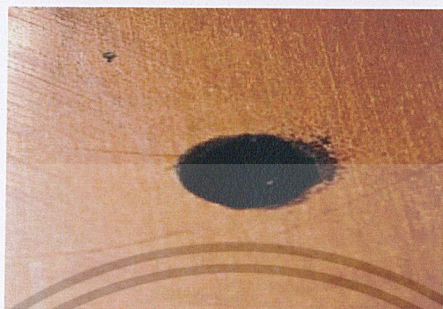
$$0.05\% = \frac{0.0025 \text{ g}}{5 \text{ g} + 0.0025} \times 100\%$$

ที่ความเข้มข้น 0.10%

$$0.10\% = \frac{0.005 \text{ g}}{5 \text{ g} + 0.005 \text{ g}} \times 100\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานวิจัยที่ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สารเชื่อมผสมมีน้ำหนัก 5 กรัม โดยต้องการให้สาร Graphite และ Fullerene มีความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% แล้วนำไปใส่ในแม่แบบบอลูมิเนียมที่เตรียมไว้ใส่สารเชื่อมผสมลงบนแผ่นทองแดง



รูปที่ 3.1 สารเชื่อมผสมที่ยังไม่หลอม

เมื่อได้สารเชื่อมผสมที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene ที่ความเข้มข้นตามที่ต้องการแล้วนำไปหลอมบนเตาร้อน (Hot plate) หลอมที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที



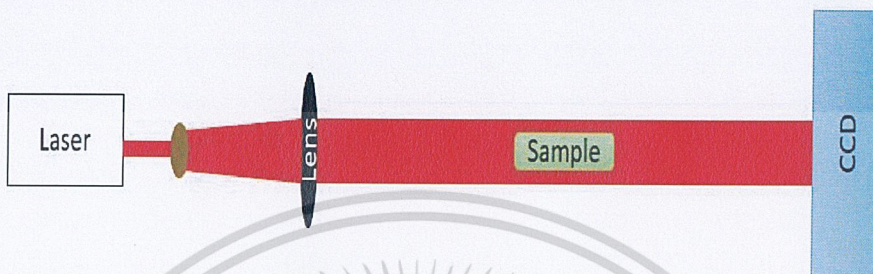
รูปที่ 3.2 สารเชื่อมผสมที่ผ่านการหลอมเหลวแล้ว

จะได้สารเชื่อมผสมที่ผ่านการหลอมแล้วเป็นรูปครึ่งวงกลม สีของสารเชื่อมผสมเป็นสีเงินวาวและมีคราบใสๆเคลือบบนสารเชื่อมผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การเตรียมการถ่ายภาพดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์

ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นเลเซอร์ไดโอดส่องผ่านเลนส์นูนที่มีความยาวโฟกัส 150 มิลลิเมตร เพื่อขยายลำแสงให้ขนานและมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุที่ต้องการถ่าย จากนั้นจะส่งผ่านไปยังกล้อง CCD



รูปที่ 3.3 การเตรียมอุปกรณ์แบบอินไลน์ (in-line)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เลเซอร์ฮีเลียมนีออน ที่มีความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร
2. เลนส์นูน ที่มีความยาวโฟกัส 150 มิลลิเมตร
3. กล้อง CCD
4. Expender lens
5. สาร Graphite
6. สาร Fullerene
7. สารเชื่อมผสม SAC305
8. Hot plate
9. แผ่นทองแดง
10. คีมคีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 การถ่ายภาพสารเชื่อมผสมผสานกับคาร์บอนอัลโลโทรปโดยใช้วิธีดิจิทัลโฮโลกราฟี
วิธีการทดลอง

1. จัดแสดงเลเซอร์ให้มีลำแสงขนานกับระนาบของโต๊ะ
2. นำฟิล์มมาวางหน้าเลเซอร์เพื่อให้ตัดแสงเลเซอร์ที่ไม่ต้องการออก
3. นำเลนส์นูนความยาวโฟกัส 150 มิลลิเมตร มาวางหน้าฟิล์ม
4. นำแผ่นทองแดงที่หลอมสารเชื่อมผสมผสานกับ Graphite และ Fullerene ตามความเข้มข้น 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% โดยเตรียมแผ่นทองแดงที่หลอมสารเชื่อมผสมผสานอย่างละ 3 ตัวอย่าง มาวางหน้าเลนส์นูน
5. นำกล้อง CCD มาวางหลังสารเชื่อมผสมผสานเพื่อบันทึกภาพ ดังรูปที่ 3.3
6. นำรูปที่ได้ไปสร้างใหม่ (Reconstruction) ในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์
7. นำรูปที่ผ่านการสร้างใหม่ไปหาค่ามุมสัมพันธ์จากสมการที่ (2.1)
8. นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธี

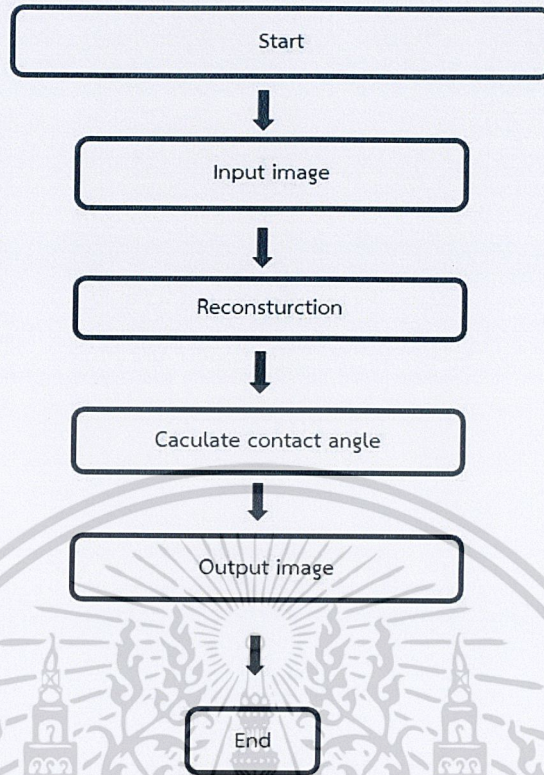


รูปที่ 3.4 รูปแสดงการจัดอุปกรณ์จริงในการถ่ายภาพดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์

3.3.1 ไดอะแกรมการใช้โปรแกรมในการประมวลภาพ

โดยวิธีการทำงานจะเขียนไดอะแกรมได้เป็น ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



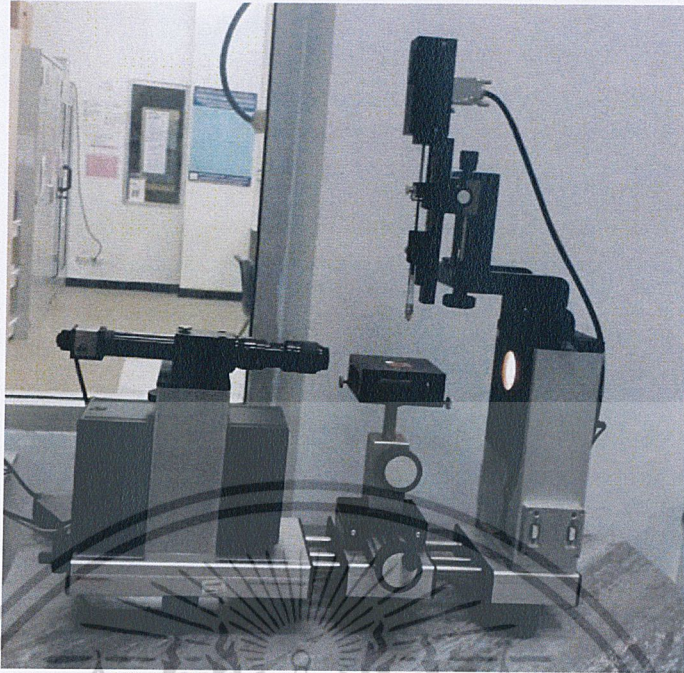
รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมแสดงการสร้างภาพใหม่

ตอนที่ 2 การใช้เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle Analyzer)

วิธีการทดลอง

1. ใช้เครื่อง Contact Angle วัดมุมสัมผัส
2. นำผลที่ได้มาประมวล
3. เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 เครื่อง Contact Angle

ตอนที่ 3 การใช้โปรแกรม ImageJ ในการหาค่ามุมสัมผัส

วิธีการทดลอง

1. นำภาพที่ได้จากการสร้างใหม่ (Reconstruction) มาลากเส้นหามุมสัมผัส
2. คำนวณหาค่ามุมสัมผัสจากสมการที่ (2.1)
3. นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธี

3.4 เกณฑ์การเปรียบเทียบผลการทดลอง

1. ค่ามุมสัมผัส คือมีค่ามุมที่น้อยที่สุดจะบอกถึงอัตราการแผ่ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะเป็นผลการทดลองที่นำไปหามุมสัมผัสโดยได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยส่วนนี้จะแสดงถึงผลการทดลองสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite และ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% ที่นำไปสร้างใหม่และเปรียบเทียบเชิงปริมาณ

4.1 ผลจากการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene โดยใช้วิธีดิจิตอลโฮโลกราฟี

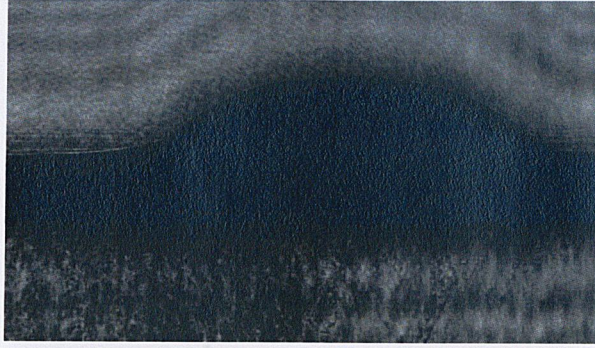
ในการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene ลงบนแผ่นทองแดงได้ทำการทดลองใหม่ทั้งหมด 3 ครั้ง โดยจัดรูปแบบอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.4 แล้วได้ทำการถ่ายภาพดิจิตอลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ของสารเชื่อมประสานตามความเข้มข้น 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% โดยน้ำหนัก จากนั้นนำภาพไปประมวลทางคอมพิวเตอร์จะได้ภาพมุมสัมผัส ดังนี้

4.1.1 ผลของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00%

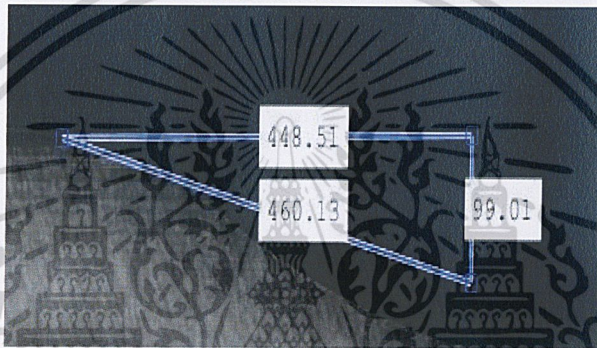


รูปที่ 4.1 สารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สารเชื่อมผสม SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00% ที่นำมาไปสร้างใหม่

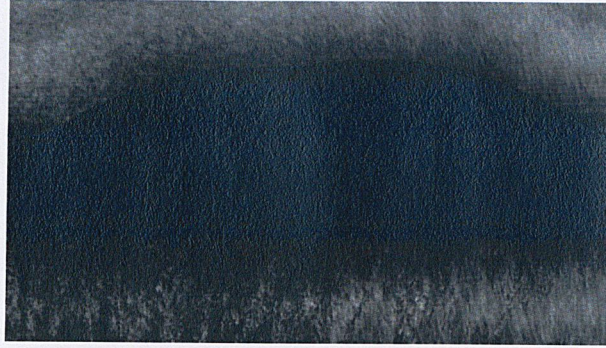


รูปที่ 4.3 มุมสัมผัสของสารเชื่อมผสม SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00% ชั้นที่ 1



รูปที่ 4.4 มุมสัมผัสของสารเชื่อมผสม SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00% ชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 มุ่่มสั้ผ้สของสารเชื่อมผสาน SAC305 ที่ความเข้่มซ้่น 0.00% ซ้่นที่ 3

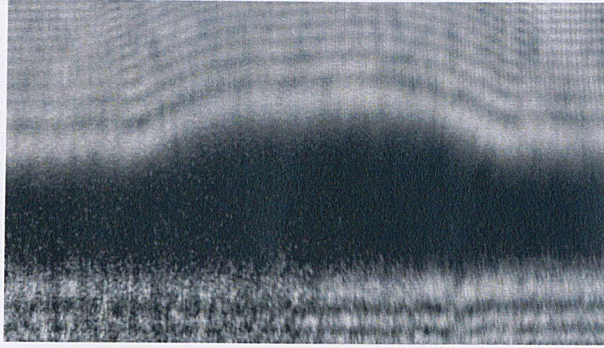
สารเชื่อมผสาน SAC305 ที่ความเข้่มซ้่น 0.00% เมื่อกัการวัดหาคั่มุ่่มสั้ผ้สของสารเชื่อมผสานท้้ง 3 ตัวอย่าง ได้คั่มุ่่มสั้ผ้สเป็น 12.45, 12.32 และ 11.00 งบศกั ตามลัำด้บซ้่งคั่มุ่่มสั้ผ้สโดยเฉล้ยของสารเชื่อมผสาน SAC305 ที่ความเข้่มซ้่น 0.00% เป็น 11.92 งบศกั

4.1.2 ผลของสารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้่มซ้่น 0.02%

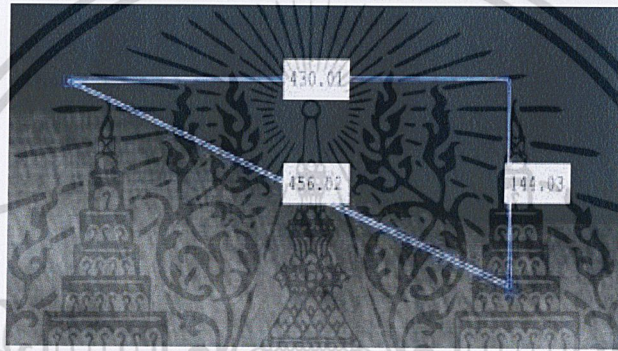


รูปที่ 4.6 สารเชื่อมผสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้่มซ้่น 0.02% ที่ได้จากการทดลอง

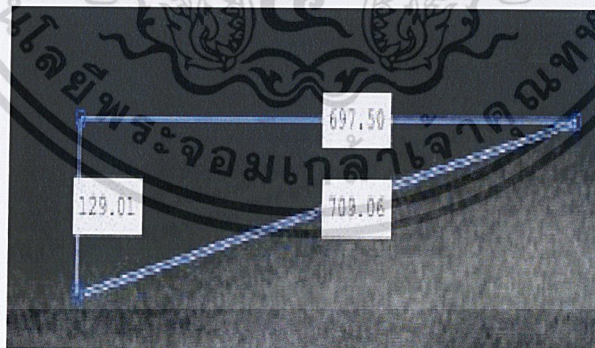
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ที่นำไปสร้างใหม่

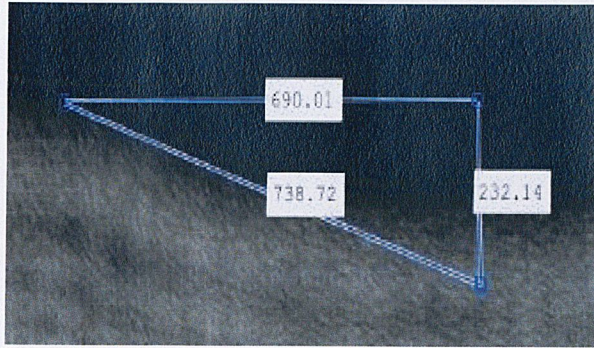


รูปที่ 4.8 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 1



รูปที่ 4.9 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 2

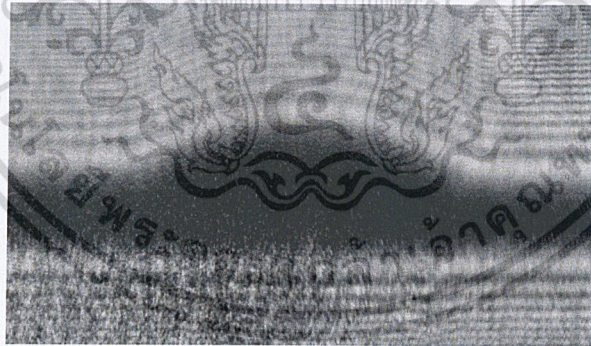
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 3

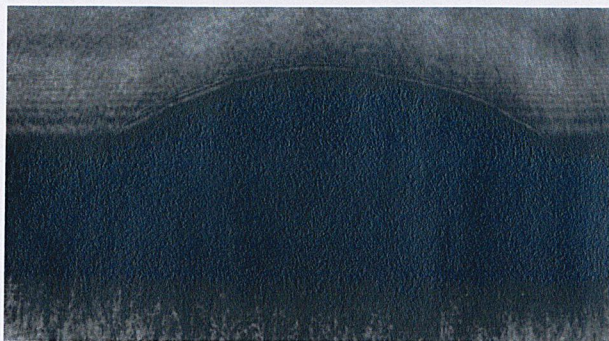
สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% เมื่อทำการวัดหาค่ามอดุลัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามอดุลัสเป็น 18.52, 17.24 และ 18.54 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามอดุลัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% เป็น 18.12 องศา

4.1.3 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05%



รูปที่ 4.11 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ที่ได้จากการทดลอง

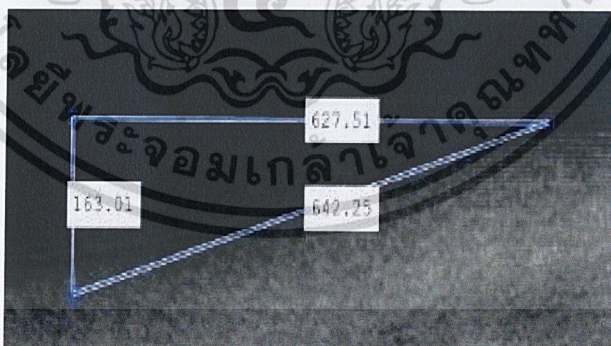
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สารเชื่อมประสานกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ที่นำไปสร้างใหม่

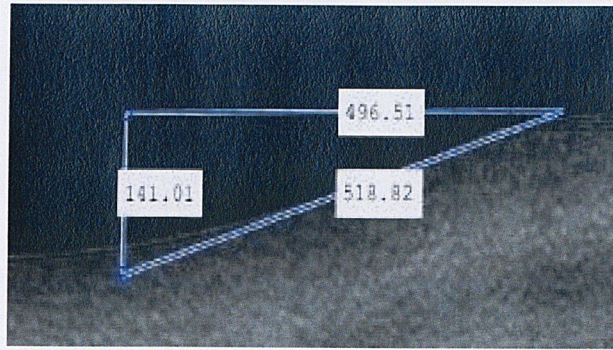


รูปที่ 4.13 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 1



รูปที่ 4.14 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 2

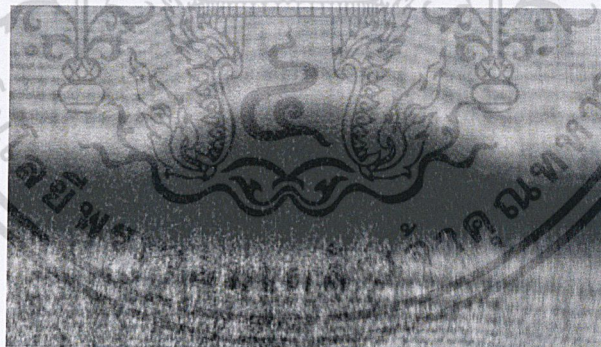
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 3

สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% เมื่อทำการวัดหาค่ามอดุลัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามอดุลัสเป็น 13.21, 14.56 และ 15.85 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามอดุลัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% เป็น 14.54 องศา

4.1.4 ผลของสารเชื่อมประสานกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10%

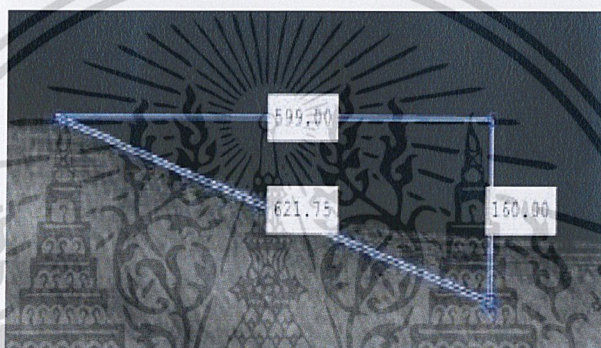


รูปที่ 4.16 สารเชื่อมประสานกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ที่ได้จากการทดลอง

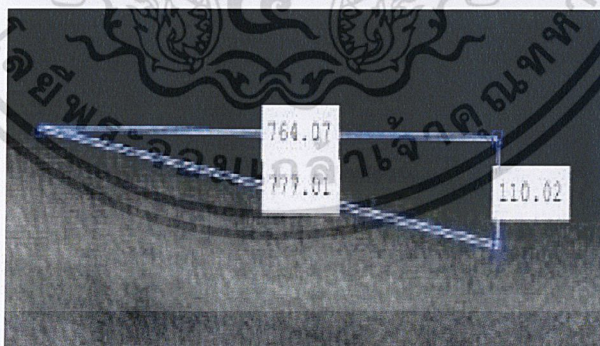
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 สารเชื่อมประสานกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ที่นำไปสร้างใหม่

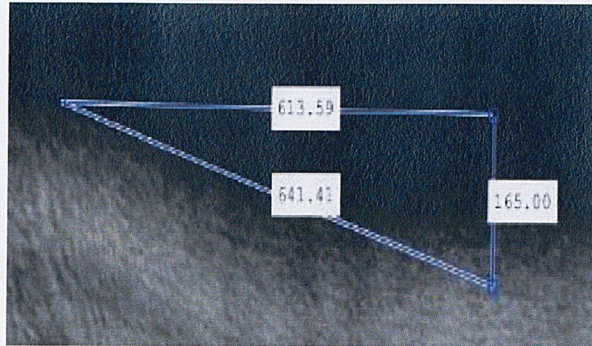


รูปที่ 4.18 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 1



รูปที่ 4.19 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 2

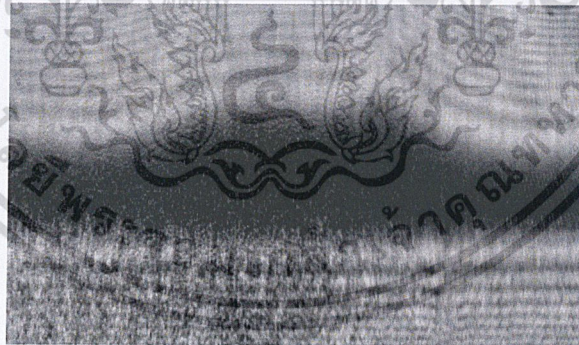
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 3

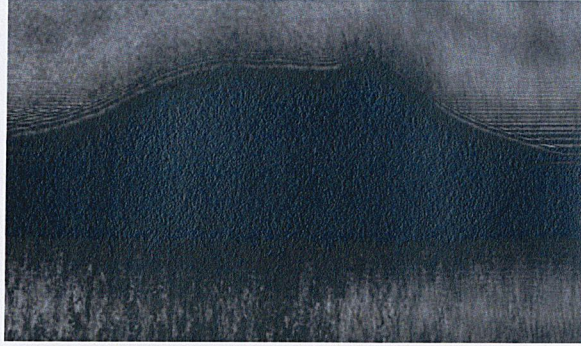
สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 14.96, 13.16 และ 15.05 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% เป็น 14.39 องศา

4.1.5 ผลของสารเชื่อมประสานกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02%

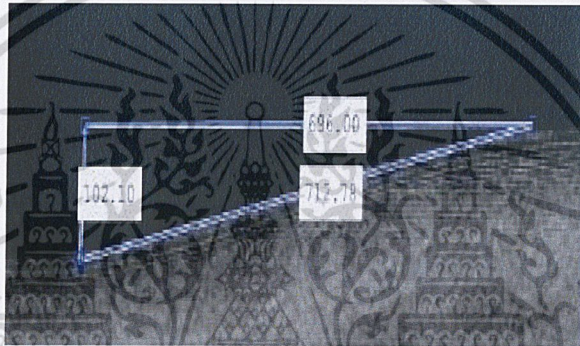


รูปที่ 4.21 สารเชื่อมประสานกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 สารเชื่อมประสานกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ที่นำไปสร้างใหม่

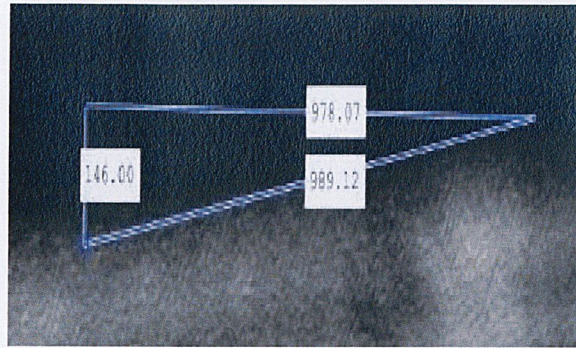


รูปที่ 4.23 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 1



รูปที่ 4.24 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 3

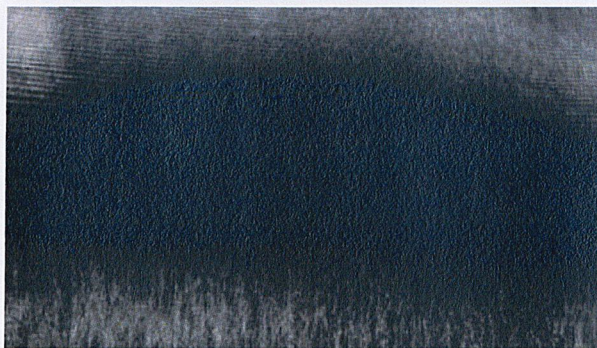
สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 8.35, 8.07 และ 8.49 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% เป็น 8.30 องศา

4.1.6 ผลของสารเชื่อมประสานกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05%



รูปที่ 4.26 สารเชื่อมประสานกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ที่ได้จากการทดลอง

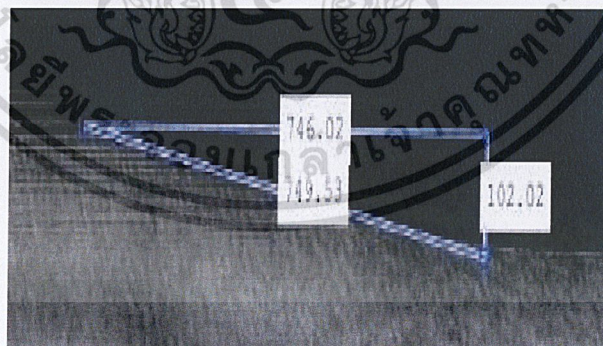
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 สารเชื่อมประสานกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ที่นำไปสร้างใหม่

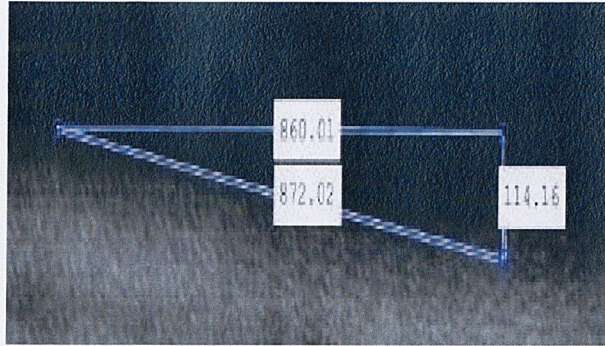


รูปที่ 4.28 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 1



รูปที่ 4.29 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 3

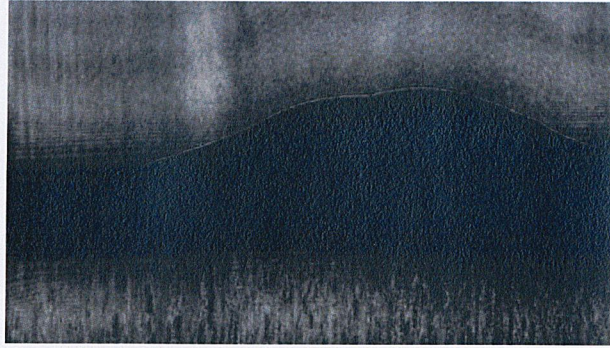
สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% เมื่อทำการวัดหาค่ามอดุลัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามอดุลัสเป็น 8.19, 7.79 และ 8.70 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามอดุลัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% เป็น 8.23 องศา

4.1.7 ผลของสารเชื่อมประสานกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10%



รูปที่ 4.31 สารเชื่อมประสานกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 สารเชื่อมประสานกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ที่นำไปสร้างใหม่

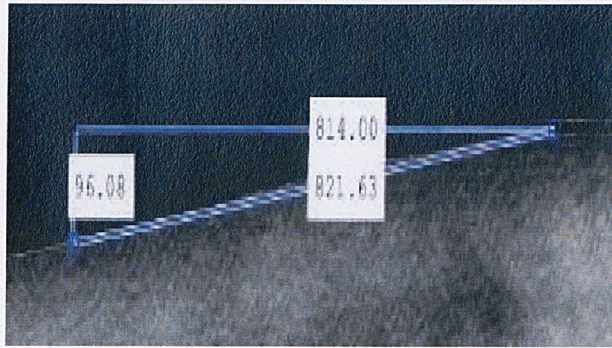


รูปที่ 2.33 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 1



รูปที่ 2.34 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 3

สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 8.59, 7.21 และ 6.73 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% เป็น 7.51 องศา

4.2 ผลจากการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene โดยใช้

เครื่อง Contact Angle

4.2.1 ผลของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00%

CA InH: 27.64
CA InOH: 33.74



รูปที่ 4.36 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่1 โดยใช้

เครื่อง Contact Angle เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CA left: 24.14
CA right: 29.84



รูปที่ 4.37 มุมสัมผัสของสารเชื่อมผสมที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่ 2 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

CA left: 15.51
CA right: 21.94

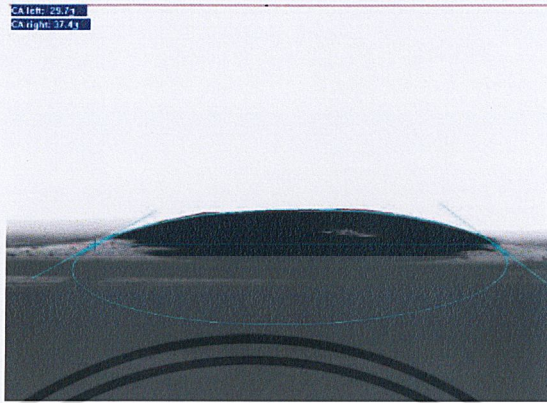


รูปที่ 4.38 มุมสัมผัสของสารเชื่อมผสมที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่ 3 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

สารเชื่อมผสม SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสมทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 27.6, 24.1 และ 21.9 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมผสม SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00% เป็น 24.53 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02%



รูปที่ 4.39 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 1 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle



รูปที่ 4.40 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 2 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CA left: 29.31
CA right: 28.67



รูปที่ 4.41 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 3 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 29.7, 15.3 และ 28.0 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% เป็น 24.33 องศา

4.2.3 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05%

CA left: 19.41
CA right: 19.41



รูปที่ 4.42 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 1 โดยใช้

เครื่อง Contact Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความชื้น 0.05% ชั้นที่ 2 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle



รูปที่ 4.44 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความชื้น 0.05% ชั้นที่ 3 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความชื้น 0.05% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 18.3, 18.4 และ 22.8 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความชื้น 0.05% เป็น 19.83 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10%



รูปที่ 4.45 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 1 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle



รูปที่ 4.46 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 2 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CA: 19.24
CA Angle: 23.64



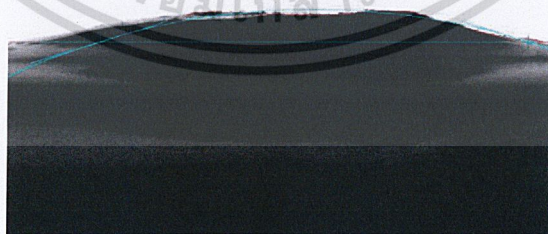
รูปที่ 4.47 สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 3 โดยใช้

เครื่อง Contact Angle

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 17.3, 21.9 และ 19.2 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% เป็น 19.47 องศา

4.2.5 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02%

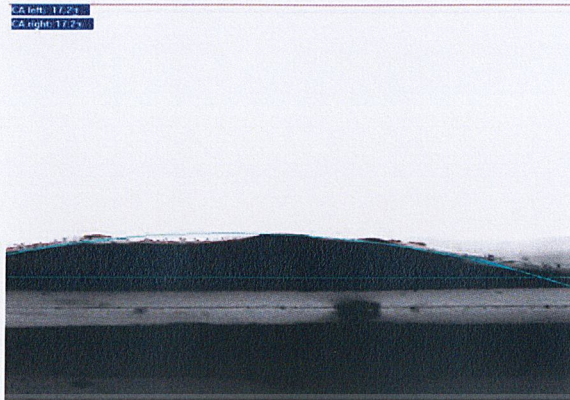
CA: 17.51
CA Angle: 17.51



รูปที่ 4.48 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 1 โดยใช้

เครื่อง Contact Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 2 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

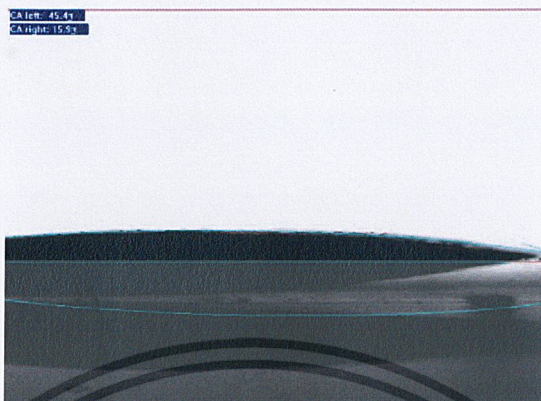


รูปที่ 4.50 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 3 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 17.5, 17.2 และ 12.2 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% เป็น 15.63 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05%



รูปที่ 4.51 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 1 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle



รูปที่ 4.52 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 2 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CA: 11.14
CA: 11.14



รูปที่ 4.53 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 3 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 15.7, 13.0 และ 11.1 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% เป็น 13.33 องศา

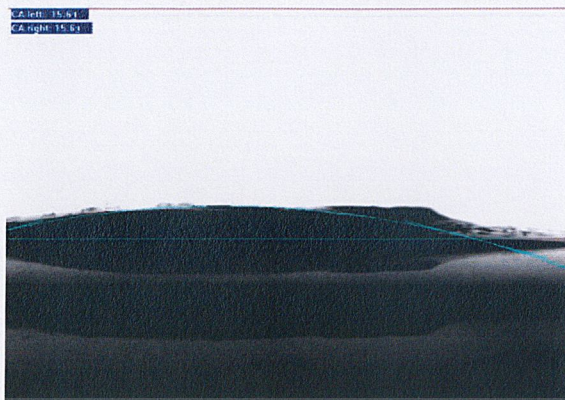
4.2.7 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10%

CA: 13.14
CA: 9.64



รูปที่ 4.54 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 1 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.55 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 2 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle



รูปที่ 4.56 สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 3 โดยใช้
เครื่อง Contact Angle

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 9.6, 15.6 และ 12.4 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% เป็น 12.53 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลจากการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene โดยใช้โปรแกรม ImageJ

4.3.1 ผลของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้น 0.00%

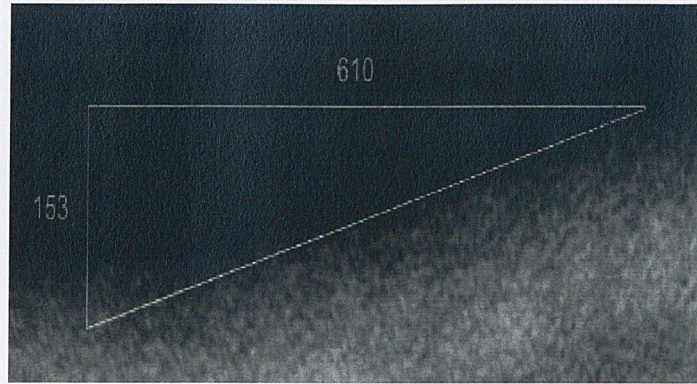


รูปที่ 4.57 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรม ImageJ



รูปที่ 4.58 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00% ชั้นที่ 2 โดยใช้โปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.59 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความชื้น 0.00% ชั้นที่ 3
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

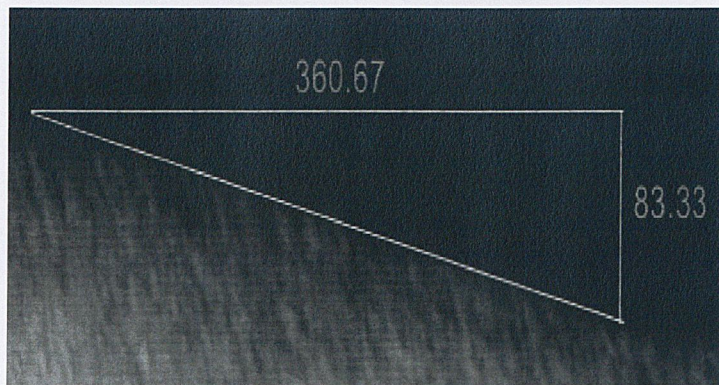
สารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความชื้น 0.00% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 15.05, 13.28 และ 14.08 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสาน SAC305 ที่ความชื้น 0.00% เป็น 14.14 องศา

4.3.2 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความชื้น 0.02%

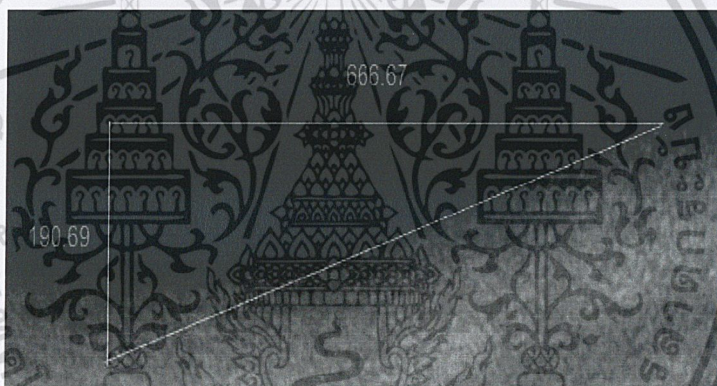


รูปที่ 4.60 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความชื้น 0.02% ชั้นที่ 1
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.61 มุมสัมผัสสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 2
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

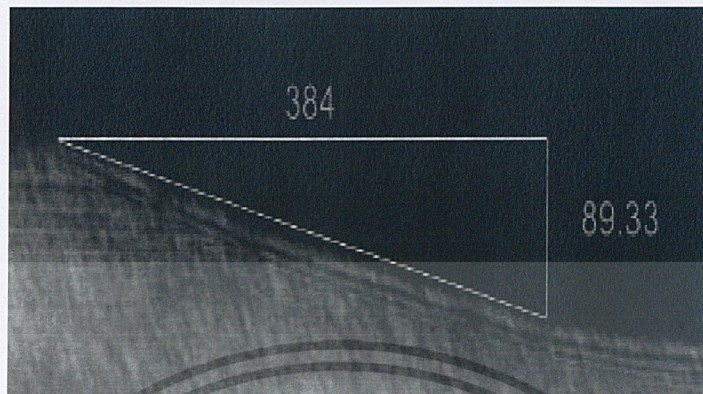


รูปที่ 4.62 มุมสัมผัสสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 3
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

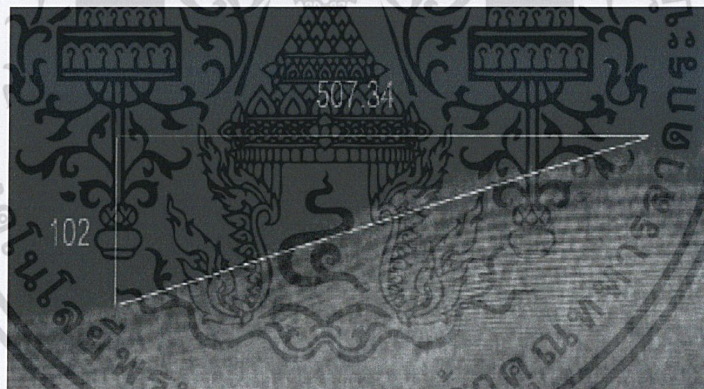
สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 14.93, 13.01 และ 15.96 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% เป็น 14.63 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05%



รูปที่ 4.63 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 1
โดยใช้โปรแกรม ImageJ



รูปที่ 4.64 มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 2
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

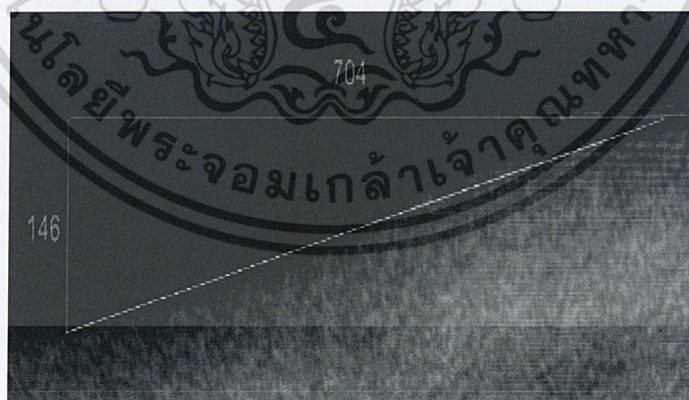


รูปที่ 4.65 มุมสัมผัสสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 3

โดยใช้โปรแกรม ImageJ

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 13.10, 11.37 และ 11.63 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.05% เป็น 12.05 องศา

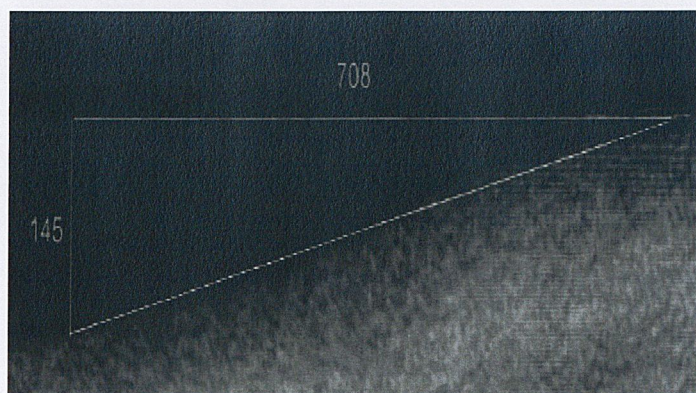
4.3.4 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10%



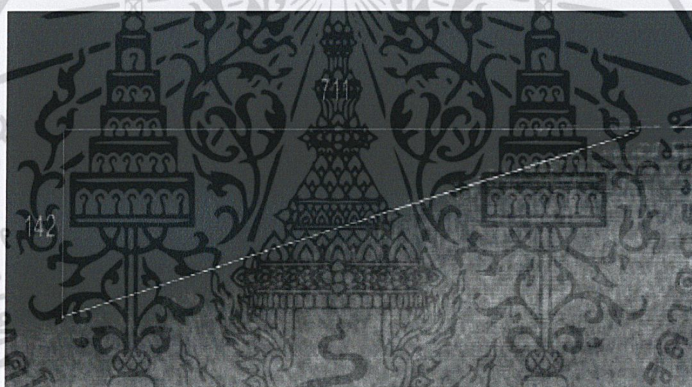
รูปที่ 4.66 มุมสัมผัสสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 1

โดยใช้โปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.67 มุมสัมพันธ์สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 2
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

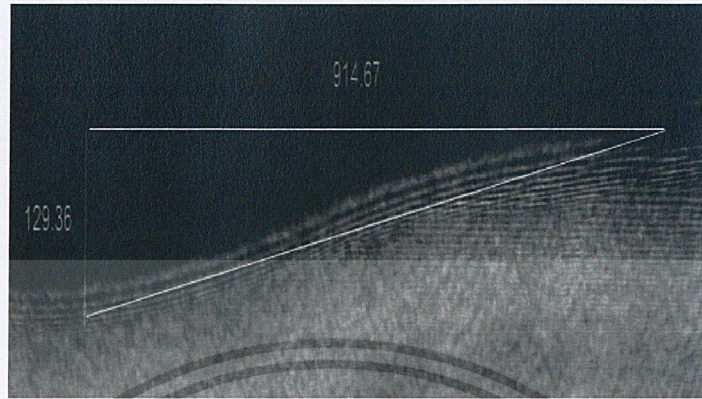


รูปที่ 4.68 มุมสัมพันธ์สารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 3
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมพันธ์ของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมพันธ์เป็น 11.72, 11.57 และ 11.29 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมพันธ์โดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.10% เป็น 11.53 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02%

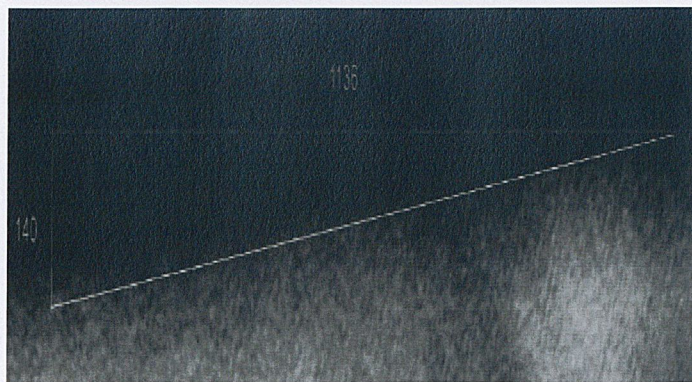


รูปที่ 4.69 มุมสัมพันธ์สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 1
โดยใช้โปรแกรม ImageJ



รูปที่ 4.70 มุมสัมพันธ์สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 2
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

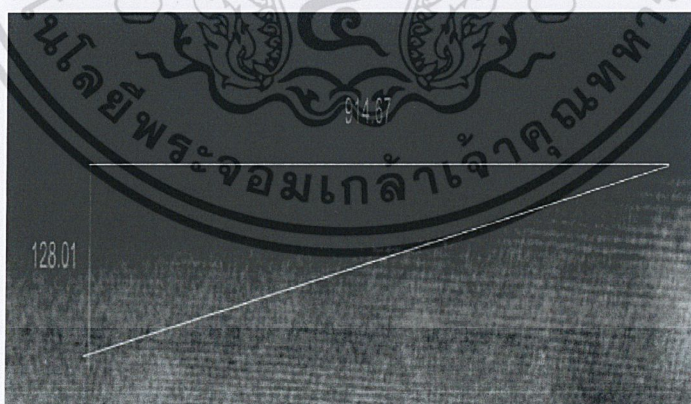


รูปที่ 4.71 มุมสัมพัทธ์สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% ชั้นที่ 3

โดยใช้โปรแกรม ImageJ

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมพัทธ์เป็น 8.05, 7.78 และ 7.03 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% เป็น 7.62 องศา

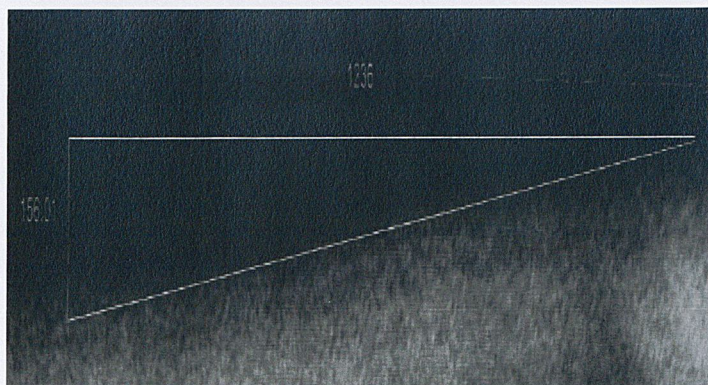
4.3.6 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05%



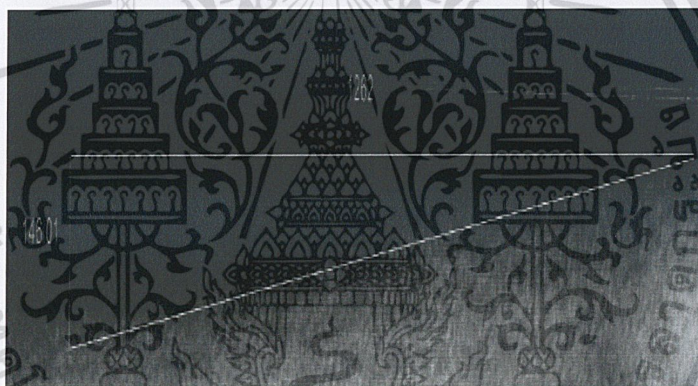
รูปที่ 4.72 มุมสัมพัทธ์สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 1

โดยใช้โปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.73 มุมสัมพัทธ์สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 2
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

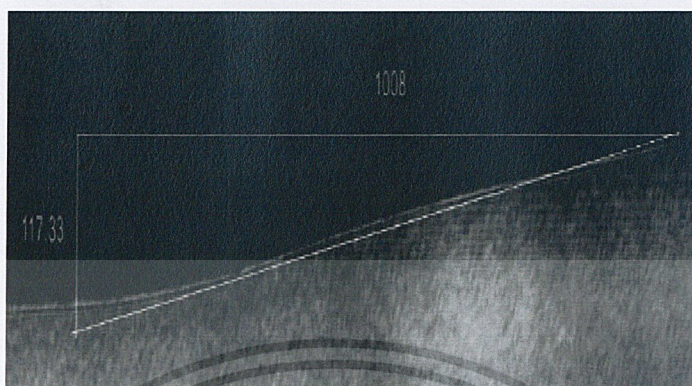


รูปที่ 4.74 มุมสัมพัทธ์สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% ชั้นที่ 3
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

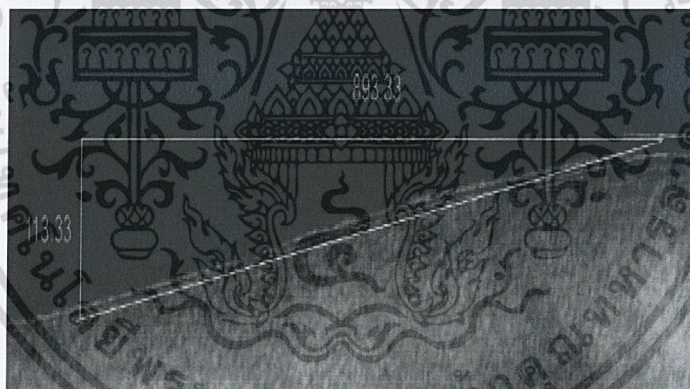
สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมพัทธ์เป็น 7.97, 7.19 และ 6.60 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.05% เป็น 7.25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 ผลของสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10%

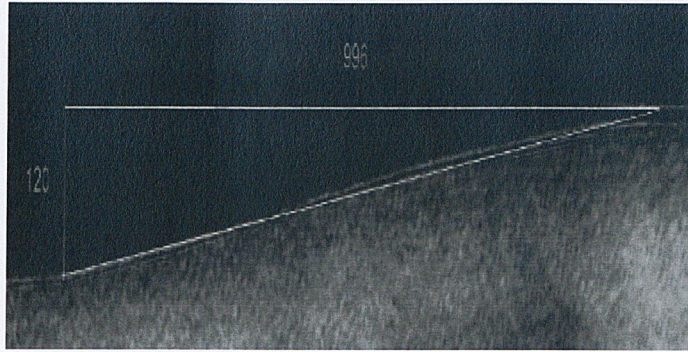


รูปที่ 4.75 มุมสัมพันธ์สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 1
โดยใช้โปรแกรม ImageJ



รูปที่ 4.76 มุมสัมพันธ์สารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 2
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.77 มุมสัมผัสสารเชื่อมประสานผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% ชั้นที่ 3
โดยใช้โปรแกรม ImageJ

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% เมื่อทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่ามุมสัมผัสเป็น 7.23, 6.64 และ 6.84 องศา ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.10% เป็น 6.91 องศา

ตารางที่ 4.1 ค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite และ Fullerene ที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ตอน

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับคาร์บอนอัลโลโทรป		ค่ามุมสัมผัส (องศา)			
		การถ่ายภาพแบบออนไลน์	ImageJ	Contact Angle*	
Graphite และ Fullerene	ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00%	ชั้นที่ 1	12.45	15.05	27.60
		ชั้นที่ 2	12.32	13.28	24.10
		ชั้นที่ 3	11.00	14.08	21.90
Graphite	ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.02%	ชั้นที่ 1	18.52	14.93	29.70
		ชั้นที่ 2	17.24	13.01	15.30
		ชั้นที่ 3	18.59	15.96	28.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite และ Fullerene ที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ตอน (ต่อ)

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับคาร์บอนอัลโลโทรป			ค่ามุมสัมผัส (องศา)		
			การถ่ายภาพแบบออนไลน์	ImageJ	Contact Angle*
Graphite	ความเข้มข้น โดยน้ำหนัก 0.05%	ชั้นที่ 1	13.21	13.10	18.30
		ชั้นที่ 2	14.56	11.37	18.40
		ชั้นที่ 3	15.85	11.63	22.80
	ความเข้มข้น โดยน้ำหนัก 0.10%	ชั้นที่ 1	14.96	11.72	17.30
		ชั้นที่ 2	13.16	11.57	21.90
		ชั้นที่ 3	15.05	11.29	19.20
Fullerene	ความเข้มข้น โดยน้ำหนัก 0.02%	ชั้นที่ 1	8.35	8.05	17.50
		ชั้นที่ 2	8.04	7.78	17.20
		ชั้นที่ 3	8.49	7.03	12.20
	ความเข้มข้น โดยน้ำหนัก 0.05%	ชั้นที่ 1	8.19	7.97	15.70
		ชั้นที่ 2	7.79	7.19	13.00
		ชั้นที่ 3	8.70	6.60	11.10
	ความเข้มข้น โดยน้ำหนัก 0.10%	ชั้นที่ 1	8.59	7.23	9.60
		ชั้นที่ 2	7.21	6.64	15.60
		ชั้นที่ 3	6.73	6.87	12.40

หมายเหตุ *ค่ามุมสัมผัสที่ได้จากเครื่อง Contact Angle ในบางค่าได้มีการวัดมุมสัมผัสรวมกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานผสมกับ Graphite และ Fullerene ที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ตอน

สารเชื่อมประสานที่ผสมกับคาร์บอนอัลโลโทรป		ค่ามุมสัมผัสโดยเฉลี่ย (องศา)		
		การถ่ายภาพแบบอินไลน์	ImageJ	Contact Angle*
Graphite และ Fullerene	ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00%	11.92	14.14	24.53
Graphite	ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.02%	18.12	14.63	24.33
	ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.05%	4.54	12.05	19.83
	ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.10%	14.39	11.53	19.47
Fullerene	ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.02%	8.30	7.62	15.63
	ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.05%	8.23	7.25	13.33
	ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.10%	7.51	6.91	12.53

หมายเหตุ *ค่ามุมสัมผัสที่ได้จากเครื่อง Contact Angle ในบางค่าได้มีการวัดมุมสัมผัสรวมกับสารเคลือบใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการทดลองที่ได้จากการผสมสารเชื่อมประสานชนิด Sn-3Ag-0.5Cu (SAC305) กับ Graphene และ Fullerene โดยน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% โดยนำไปถ่ายภาพแบบดิจิตอลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ (in-line) แล้วนำภาพที่ได้ไปเข้าโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างภาพใหม่ (Reconstruction) ซึ่งภาพที่ได้ออกมามีความคมชัดและเห็นถึงลักษณะรูปร่างของสารเชื่อมประสานที่ผ่านการหลอมอย่างชัดเจนจึงสามารถนำรูปที่ได้มาตรวจหาคุณสมบัติของสารแต่ละตัวได้ซึ่งวิธีการถ่ายภาพแบบดิจิตอลโฮโลกราฟีเป็นวิธีใหม่ที่ใช้สำหรับตรวจสอบสมบัติของสารเชื่อมประสานชนิด Sn-3Ag-0.5Cu (SAC305)

การตรวจวัดคุณสมบัติของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene โดยวิธีการถ่ายภาพแบบดิจิตอลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% พบว่าความเข้มข้นที่ 0.00% ซึ่งให้เป็นค่ามาตรฐานในการทดลองนี้มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเท่ากับ 11.92 องศา สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเท่ากับ 18.12 องศา ที่ความเข้มข้น 0.05% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเท่ากับ 14.54 องศา ที่ความเข้มข้น 0.10% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเป็น 14.39 องศา และสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเท่ากับ 8.30 องศา ที่ความเข้มข้น 0.05% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเท่ากับ 8.23 องศา ที่ความเข้มข้น 0.10% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเป็น 7.51 องศา จะเห็นได้ค่ามอดุลัสของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fulleren ที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นโดยน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นจะมีค่ามอดุลัสน้อยลง จึงทำให้สารเชื่อมประสานแผ่อกได้ดีกว่าสารเชื่อมประสานที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นโดยน้ำหนักน้อยกว่า

การตรวจวัดคุณสมบัติของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene โดยใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% พบว่าความเข้มข้นที่ 0.00% ซึ่งให้เป็นค่ามาตรฐานในการทดลองนี้มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเท่ากับ 14.14 องศา สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเท่ากับ 14.63 องศา ที่ความเข้มข้น 0.05% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเท่ากับ 12.05 องศา ที่ความเข้มข้น 0.10% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเป็น 11.53 องศา และสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเท่ากับ 7.62 องศา ที่ความเข้มข้น 0.05% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเท่ากับ 7.25 องศา ที่ความเข้มข้น 0.10% มีค่ามอดุลัสเฉื่อยเป็น 6.91 องศา จะเห็นได้ค่ามอดุลัสของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fulleren ที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นโดยน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นจะมีค่ามอดุลัสน้อยลง จึงทำให้สารเชื่อมประสานแผ่อกได้ดีกว่าสารเชื่อมประสานที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นโดยน้ำหนักน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจวัดคุณสมบัติของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene โดยใช้เครื่อง Contact Angle ในการวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% พบว่าความเข้มข้นที่ 0.00% ซึ่งให้เป็นค่ามาตรฐานในการทดลองนี้มีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 24.53 องศา สารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite ที่ความเข้มข้น 0.02% มีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 24.33 องศา ที่ความเข้มข้น 0.05% มีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 19.83 องศา ที่ความเข้มข้น 0.10% มีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเป็น 19.47 องศา และสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Fullerene ที่ความเข้มข้น 0.02% มีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 15.63 องศา ที่ความเข้มข้น 0.05% มีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 13.33 องศา ที่ความเข้มข้น 0.10% มีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเป็น 12.53 องศา จะเห็นได้ว่าค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite และ Fullerene ที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นโดยน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นจะมีค่ามุมสัมผัสลดลง จึงทำให้สารเชื่อมประสานแผ่ออกได้ดีกว่าสารเชื่อมประสานที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นโดยน้ำหนักน้อยกว่า แต่ในการใช้เครื่อง Contact Angle วัดหาค่ามุมสัมผัสในบางตัวอย่าง ได้มีการทำการวัดมุมที่สารเคลือบใสตัวจึงทำให้ค่ามุมสัมผัสที่ได้นั้นมีค่ามากขึ้น

โดยในการศึกษาสมบัติของสารเชื่อมประสานที่ผสมกับ Graphite Fullerene ในการทดลองทั้ง 3 ตอน จะเห็นได้ว่าค่ามุมสัมผัสที่วัดได้ในแต่ละตอนมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ ยิ่งเมื่อความเข้มข้นโดยน้ำหนักของสาร Graphite และ Fullerene มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นมากขึ้นจะทำให้มุมสัมผัสลดลง จึงทำให้สารเชื่อมประสานมีอัตราการแผ่ที่ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาสมบัติของสารจะต้องมีการพัฒนาอย่างมากในสารแต่ละชนิด และหาวิธีตรวจสอบเข้ามาช่วยศึกษาจะทำให้ลดขั้นตอนหรือกระบวนการตรวจสอบให้น้อยลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กมลวิภา พึ่งเจียก. 2557. “การศึกษาอิทธิพลของธาตุ Ni, Ag และ In ต่อสมบัติทางกายภาพของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn58Bi-Ni-X” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Bo-In Noh, Jung-Hyun Choi, Jeong-Won Yoon and Seung-Boo Jung. “Effects of cerium content on wettability, microstructures and mechanical properties of Sn-Ag-Ce solder alloys” *Journal of Alloys and Compounds* Vol.499, 2010. Pp. 154-159

Liang, Z., Junhua, C., Younghuan, G. and Chengwen, HE. “Microstructures and properties of SnZn-xEr lead-free solder” *RARE EARTH* vol.3, 2012. Pp. 790-793.

Chen, W.X., Xue, S. and Wang, H. “Wetting properties and interfacial microstructures of SnZn-xGa solders on Cu substrate” *Materials and Design* Vol.31, 2010. Pp.2196-2200

M.K. Kim, “Digital Holographic Microscopy: Principles, Techniques, and Applications, Springer Series in Optical Sciences 162” Springer Science and Business Media, LLC 2011. Pp. 159-187

Chanya Chuenarrom. 2559. **ImageJ : เริ่มต้นใช้โปรแกรม ImageJ.** [Online]. Available : <http://comdigest.blogspot.com/2016/05/imagej-4-imagej.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้