

การตรวจสอบมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน SnAgCu ผสมกับกราฟีน
ออกไซด์โดยใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลแกรม

INVESTIGATION OF CONTACT ANGLES OF SnAgCu SOLDER PASTE
MIXED WITH GRAPHENE OXIDE USING DIGITAL HOLOGRAPHY
TECHNIQUE



กวิสรา จงจินากูล
KAVISRA JONGJINAKOOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2568

KMITL-2025-SC-M-030-036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INVESTIGATION OF CONTACT ANGLES OF SnAgCu SOLDER PASTE
MIXED WITH GRAPHENE OXIDE USING DIGITAL HOLOGRAPHY
TECHNIQUE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2025

KMITL-2025-SC-M-030-036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2025

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSUTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน SnAgCu ผสมกับ กราฟีนออกไซด์โดยใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลแกรม
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกวิศรา จงจินากุล
รหัสประจำตัว	61605084
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
พ.ศ.	2568
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมตยา กิติวรรณ

บทคัดย่อ

เนื่องจากตะกั่วเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น สารประกอบของสารบัดกรีปลอดตะกั่วจึงเป็นที่สนใจของทีมวิจัยหลายกลุ่ม วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือการตรวจสอบสมบัติการกระจายความร้อนของสารเชื่อมประสานที่ผสมกราฟีนออกไซด์ การดำเนินการทดลองของเราใช้สารเชื่อมประสาน SnAgCu ผสมกับกราฟีนออกไซด์ในปริมาณความเข้มข้นต่างๆ ตามน้ำหนักที่ 0.00%, 0.05%, 0.1% และ 0.2% ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารประกอบโดยใช้ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ โดยใช้เลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่น 635 นาโนเมตรเป็นแหล่งกำเนิดแสง สารประกอบของสารเชื่อมประสานถูกหลอมละลายที่อุณหภูมิ 250 ± 5 °C และทำการบันทึกทุก ๆ 5 วินาที จากนั้นจึงวัดค่ามุมสัมผัสของสารประกอบของสารเชื่อมประสานที่ถูกหลอมละลายโดยใช้ภาพดิจิทัลโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นใหม่ ดังนั้นค่ามุมสัมผัสที่เหมาะสมที่สุด $0^\circ < \theta < 30^\circ =$ ดีมาก, $30^\circ < \theta < 40^\circ =$ ดี, $40^\circ < \theta < 55^\circ =$ ยอมรับได้, $55^\circ < \theta < 70^\circ =$ แย่ และ $> 70^\circ =$ แย่มาก ในการวิจัยนี้กราฟีนออกไซด์ซึ่งเป็นอัลโลโทรปของคาร์บอนประกอบด้วยชั้นเดี่ยวของกราฟไฟต์ออกไซด์ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นมาก เช่น คุณสมบัติทางไฟฟ้า ความร้อน และทางกายภาพ ถูกนำมาผสมกับสารเชื่อมประสาน SnAgCu เพื่อตรวจสอบการใช้งานในการเชื่อมประสานระหว่างรอยต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อพิจารณาผลจากการทดลองที่ได้แล้วนำมาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานกับเวลาในการหลอมพบว่า เส้นกราฟเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของสารเชื่อมประสานผสมกราฟีนออกไซด์ที่ 0.00%, 0.10% และ 0.20% มีมุมสัมผัสที่เรียบ แสดงว่าสารเชื่อมประสานที่ผสมกราฟีนมีการนำความร้อนที่เสถียร เมื่อเราผสมกราฟีนออกไซด์ที่มีน้ำหนักเป็นเปอร์เซ็นต์ (%wt) น้อยลง โดยหากน้ำหนักเป็น 0.05% กราฟีนออกไซด์มีการกระจายตัวน้อยลงจะส่งผลต่อการนำความร้อนของสารบัดกรีได้ไม่ดี เมื่อสารเชื่อมประสานหลอมละลาย เส้นกราฟจะไม่เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : SnAgCu, กราฟีนออกไซด์, รีดิวิส์กราฟีนออกไซด์, โอลิโกราฟีเชิงดิจิทัล, สารประสาน, มุมสัมผัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Investigation of Contact Angles of SnAgCu Solder Paste Mixed with Graphene Oxide Using Digital Holography Technique
Student Name	Kavisra Jongjinakool
Student ID	61605084
Degree	Master of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Year	2025
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Mettaya Kitiwan

Abstract

Since lead is an environmental pollutant, lead-free solder compounds are of interest to many research teams. The aim of this research is to investigate the thermal dissipation properties of graphene oxide-based solders. In our experimental setup, SnAgCu solder compounds were mixed with graphene oxide at various weight concentrations of 0.00%, 0.05%, 0.1%, and 0.2%, respectively. The morphology of the compounds was then investigated using an in-line digital holography system, using a 635 nm wavelength laser diode as a light source. The solder compounds were melted at 250 ± 5 °C and recorded every 5 s. The contact angles of the melted solder compounds were then measured using the reconstructed digital hologram images. Therefore, the most suitable contact angle values are $0^\circ < \theta < 30^\circ$ very good, $30^\circ < \theta < 40^\circ$ good, $40^\circ < \theta < 55^\circ$ acceptable, $55^\circ < \theta < 70^\circ$ poor and $> 70^\circ$ very poor. In this research, graphene oxide, an allotrope of carbon composed of a monolayer of graphite oxide, because of its excellent electrical, thermal and physical properties, was blended with SnAgCu solder to investigate its application in the solder joint of electronic devices. Considering the experimental results, the contact angle relationship graph of the solder versus the melting time was drawn, and it was found that the weight percentage graphs of 0.00%, 0.10% and 0.20% graphene oxide mixed solder have smooth contact angles, indicating that the graphene mixed solder has stable thermal conductivity. When we blend less weight percentage (%wt) of graphene oxide together, when the weight

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

percentage is 0.05%, the graphene oxide is less dispersed, which will affect the thermal conductivity of the solder poorly. When the solder melts, the graph line is not smooth.

Keywords: SnAgCu, graphene oxide, reduced graphene oxide, digital holography, solder paste, contact



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของสารประสานที่ผสมกับกราฟีนออกไซด์โดยใช้วิธีการทดลองผสมสารประสานชนิด SnAgCu กับกราฟีนออกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าไม่ตี ในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามน้ำหนัก ได้แก่ 0.00%, 0.05%, 0.1% และ 0.2% ตามลำดับ จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารผสมโดยใช้เทคนิคโฮโลกราฟีเชิงดิจิทัลแบบอินไลน์ โดยใช้ไดโอดเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 635 นาโนเมตรเป็นแหล่งกำเนิดแสง สารประสานผสมถูกร้อนจนหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 250 ± 5 องศาเซลเซียส และบันทึกภาพทุก ๆ 5 วินาที จากนั้นวัดมุมสัมผัสของสารประสานที่หลอมเหลวจากภาพที่ได้จากการสร้างภาพใหม่ด้วยดิจิทัลโฮโลกราฟี ดังนั้นผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. เมตยา กิติวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้ การสนับสนุน คำแนะนำในการศึกษา ขั้นตอนการเตรียมสารที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ และให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาต่าง ๆ และการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์อย่างถูกต้อง ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ ที่ได้ให้ความรู้ การสนับสนุนข้อมูลที่มีประโยชน์ในงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ รวมถึงการจัดหาซื้ออุปกรณ์สำหรับการใช้ในงานวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ ขอขอบพระคุณผู้เขียนบทความเชิงวิชาการทุกท่านที่ทางผู้จัดทำได้นำบทความมาเขียนอ้างอิงในวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. เจริญธรา รัตนพันธ์ และ ผศ.ดร. ชวาลย์ ศรีวงษ์ ที่ช่วยให้การสนับสนุนการฟีนออกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบพระคุณ นายมนตรี หานโก้ยและนายศิริชัย สาสตร์พันธ์ ที่การสนับสนุนและคำแนะนำระหว่างการดำเนินงานวิจัย ขอขอบพระคุณนายวิพล ประกอบแสง นางสาว ณัฐฐา เลิศสุขประเสริฐและนางสาว จุฑาทัก ศรีสุมรูป ที่ได้คำแนะนำในการเขียนรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนในการศึกษาตลอดมา รวมถึงรุ่นพี่และเพื่อนสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ที่ช่วยเหลือและแบ่งปันข้อมูลที่มีประโยชน์ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ทางผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

กวิสรา จงจินากุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
2.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
2.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
2.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
2.4 ระเบียบวิธีวิจัย	2
2.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สารเชื่อมประสาน (Solder paste)	4
2.1.1 พื้นฐานทางโลหะวิทยาและฟิสิกส์ (Metallurgical and Physic)	5
2.1.2 โลหะตัวเติม (Filler metal)	6
2.1.2.1 บัดกรีอ่อน (Soft Solders)	6
2.1.2.2 ฟลักซ์ (Flux)	7
2.1.3 การทำให้เปียก (Wetting) และการแพร่กระจาย (Diffusion)	7
2.2 กราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide)	9
2.3 หลักการของโฮโลแกรม (Hologram)	10
2.3.1 การประยุกต์ใช้โฮโลแกรม	12
2.3.1.1 ใช้ในการสื่อสารทางไกล	12
2.3.1.2 ใช้แสดงข้อมูล	12
2.3.1.3 บันทึกข้อมูล	12
2.3.1.4 ด้านความปลอดภัย	12
2.4 ดิจิตอลโฮโลกราฟี (Digital Holography)	13
2.4.1 การบันทึกแบบดิจิตอลโฮโลกราฟี	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	18
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	18
3.1.1 แหล่งกำเนิดแสงชนิดเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode)	18
3.1.2 เลนส์นูนแกรมระนาบ (Plano-Convex Lenses)	18
3.1.3 กล้องดิจิทัลเซนเซอร์ชนิด CMOS	19
3.2 ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟี	19
3.3 การเตรียมสาร	20
3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	20
3.3.2 ขั้นตอนในการทดลอง	20
3.4 การศึกษาคุณสมบัติของสารด้วยดิจิทัลโฮโลกราฟี	22
3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	22
3.4.2 ขั้นตอนในการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	24
4.1 ผลจากการศึกษาสารเชื่อมประสานระหว่างหลอม	24
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการวิจัย	43
5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก	48
ประวัติผู้เขียน	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1. อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวของโลหะผสมตะกั่วและโลหะปราศจากตะกั่ว	6
3.2.1 ความเข้มข้นสารสามารถคำนวณได้โดยการใช้สมการ	21
4.1 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.00% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที	30
4.2 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.05% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที	34
4.3 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.10% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที	38
4.4 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.20% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1.1 ความแตกต่างระหว่างการเชื่อม (Welding) และการเล่นประสาน (Brazing)	4
2.1.2 แผนภาพเฟสไดอะแกรมของโลหะผสมทองแดง-นิกเกิล และเส้นโค้งการเย็นตัว	6
2.1.3 มุมในการเป็ยก	8
2.1.4 เขตการแพร่กระจายสำหรับการเล่นประสาน	8
2.2.1 ความแตกต่างระหว่างกราฟีนและกราฟีนออกไซด์	10
2.3.1 การบันทึกภาพโฮโลแกรม	11
2.3.2 การแสดงภาพโฮโลแกรม	12
2.4.1 การบันทึกภาพสำหรับ Off-axis Holography	14
2.4.2 การบันทึกภาพสำหรับ In-line Holography	14
2.4.3 เรขาคณิตการเลี้ยวเบน (Geometry of diffraction)	15
3.1.1 แหล่งกำเนิดแสงชนิดเลเซอร์ไดโอดรุ่น CPS635R, Thorlabs	18
3.1.2 เลนส์นูนแกรมระนาบ รุ่น LA1708-N-BK7, Thorlabs	18
3.1.3 กล้องดิจิตอลเซนเซอร์ชนิด CMOS รุ่น Canon EOS 700D	19
3.2.1 ระบบดิจิตอลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์	19
3.3.1 ผงกราฟีนออกไซด์ที่ผ่านการอบแล้วไปบด	20
3.3.2 ผงกราฟีนออกไซด์ที่ถูกบดจนละเอียดแล้วจึงนำไปกรอง	21
3.3.3 สารเชื่อมประสาน SAC (SnAgCu) ในอัตราส่วน 1:1:1	22
3.4.1 สารเชื่อมประสานที่ผสมกราฟีนออกไซด์ที่ถูกขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์อลูมิเนียม	23
3.4.2 ระบบดิจิตอลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ในกระบวนการทดลอง	23
4.1 ตัวอย่างภาพถ่ายดิจิตอลโฮโลกราฟี (ซ้าย) ภาพจากการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรัคชัน (ขวา)	26
4.2 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 0 วินาที	27
4.3 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 5 วินาที	27
4.4 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 10 วินาที	28
4.5 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 15 วินาที	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 20 วินาที	29
4.7 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 25 วินาที	29
4.8 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 30 วินาที	30
4.9 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 0 วินาที	31
4.10 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 5 วินาที	31
4.11 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 10 วินาที	32
4.12 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 15 วินาที	32
4.13 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 20 วินาที	33
4.14 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 25 วินาที	33
4.15 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 30 วินาที	34
4.16 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 0 วินาที	35
4.17 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 5 วินาที	35
4.18 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 10 วินาที	36
4.19 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 15 วินาที	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 20 วินาที	37
4.21 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 25 วินาที	37
4.22 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 30 วินาที	38
4.23 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 0 วินาที	39
4.24 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 5 วินาที	39
4.25 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 10 วินาที	40
4.26 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 15 วินาที	40
4.27 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 20 วินาที	41
4.28 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 25 วินาที	41
4.29 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสาน ความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 30 วินาที	42
5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานกับเวลาในการหลอม	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

สถานการณ์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ไทยในปัจจุบัน การผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการปรับตัวขึ้นในสินค้าบางประเภทและมีการปรับตัวลงในสินค้าบางประเภทเช่นเดียวกัน โดยสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปรับตัวเพิ่มขึ้น ได้แก่ แผงวงจร (PCB), วงจรพิมพ์ (PCBA), วงจรรวม (IC) และ Printer เนื่องจากเกิดการขาดแคลนวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการผลิตชิปที่มีส่วนประกอบของ Semiconductor และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ไม่สามารถผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ใช้สินค้าอิเล็กทรอนิกส์ในตลาดโลกได้ ซึ่งชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีความจำเป็นต่อการพัฒนาระบบเทคโนโลยีต่างๆ และผลิตภัณฑ์สำหรับโครงสร้างทาง IT ทำให้มีความต้องการสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ในตลาดโลกเป็นอย่างมากและทำให้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีราคาที่สูงขึ้นอีกด้วย [1] ในสมัยก่อนการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะมีชิ้นส่วนและสายไฟต่อกระจัดกระจายอยู่ทั่วภายในผลิตภัณฑ์ แต่ด้วยความต้องการที่มากขึ้นจึงเกิดการพัฒนาเทคโนโลยีให้มีความสะดวกสบายและมีขนาดเล็กลงเพื่อให้ตรงต่อความต้องการของตลาดในปัจจุบันจึงมีการรวมสายไฟและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงในแผ่นเดียว เรียกว่า แผงวงจร ซึ่งในแผงวงจรประกอบด้วยชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ตัวต้านทาน (Resistor) โดยในปัจจุบันแผงวงจรสามารถผลิตได้ด้วยวิธี SMT (Surface Mount Technology)

เทคโนโลยีการยึดพื้นผิว (Surface Mount Technology : SMT) เป็นเทคโนโลยีการผลิตด้วยการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผงวงจรที่มีการกัดขึ้นลายวงจรการทำงานเรียบร้อยแล้ว (Printed Circuit Board : PCB) โดยจะมีสารเชื่อมประสาน (Solder paste) เป็นตัวเชื่อมประสานตัวอุปกรณ์เหล่านั้นให้เข้ากับลายวงจรเป็นวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) ซึ่งส่วนประกอบสำคัญในการยึดพื้นผิวคือ สารเชื่อมประสาน ซึ่งสารเชื่อมประสานที่ดีจะช่วยลดข้อบกพร่องในกระบวนการ SMT ได้ คุณสมบัติของสารเชื่อมประสานที่ดีคือ นำไฟฟ้าได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูง จากการพัฒนาของสารเชื่อมประสานได้มีการปรับปรุงเพื่อให้สารเชื่อมประสานเหมาะสมกับชิ้นงานนั้นๆ โดยมีการเติมสารบางอย่างเพื่อเพิ่มหรือลดคุณสมบัติบางประการตามความเหมาะสม จากการสังเกตเห็นได้ชัดว่าเมื่อเพิ่มหรือลดสารบางตัวจะมีผลต่อคุณสมบัติของสารตั้งต้น เนื่องจากปัจจุบันขนาดของแผ่นวงจรมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นปัญหาแรกคือ ค่าของฟลักซ์ (Flux) มีหน้าที่ในการหุ้มสารเชื่อมประสาน ซึ่งมีผลต่อแรงดึงผิวของสารที่อาจส่งผลเมื่อเจออุณหภูมิที่สูง สารเชื่อมประสานจะละลายมารวมกัน ทำให้เกิดการลัดวงจรภายในแผงวงจร ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงใช้วิธีการตรวจสอบมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานเพื่อวิเคราะห์ค่าของแรงดึงผิว โดยสารเชื่อมประสานที่ผู้วิจัยเลือกใช้คือ SAC (SnAgCu) ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วน 1:1:1 เนื่องจากเป็นองค์ประกอบและอัตราส่วนที่ได้รับความนิยมและใช้กันมากที่สุด [4] ผสมกับกราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide : GO) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของสารเชื่อมประสาน

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารเชื่อมประสานกับกราฟีนออกไซด์ (GO) ที่เหมาะสม โดยวิธีการสังเกตแรงตึงผิวของสารเชื่อมประสานทางผู้วิจัยได้นำหลักการของโฮโลแกรมเข้ามาช่วย เนื่องจากดิจิทัลโฮโลแกรม (Digital Hologram) เป็นระบบที่มีความสามารถในการตรวจสอบ โดยภาพของโฮโลแกรมใช้หลักการสร้างภาพด้วยการฉายแสงไปที่วัตถุซึ่งจะเกิดแสงที่เกิดการสะท้อนจากวัตถุและแสงอ้างอิงมาแทรกสอด (Interference) กัน แสงทั้งสองจะถูกบันทึกไว้บนกล้องดิจิทัลเพื่อสังเกตความหนาแน่นของฟลักซ์ของสารเชื่อมประสาน และหามุมสัมพันธ์ระหว่างสารเชื่อมประสานที่ผสมกราฟีนออกไซด์ (GO) กับแผ่นทองแดงที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์หาสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้และมีความปลอดภัยในการใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสารเชื่อมประสานและกราฟีนออกไซด์
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบดิจิทัลโฮโลแกรม
3. เตรียมสารเชื่อมประสานผสมกราฟีนออกไซด์เพื่อใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารเชื่อมประสานและกราฟีนออกไซด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เลือกใช้สารเชื่อมประสาน SAC (SnAgCu) ในอัตราส่วน 1:1:1 ในการทดลอง
2. ทดสอบคุณสมบัติของสารเชื่อมประสานเมื่อมีการผสมกราฟีนออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0%, 0.05%, 0.10% และ 0.20% โดยน้ำหนัก
3. ใช้หลักการดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์สำหรับตรวจสอบคุณสมบัติทางแสงของสารเชื่อมประสานเมื่อมีการผสมกราฟีนออกไซด์ ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันเพื่อใช้ในการตรวจสอบมุมสัมพันธ์

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

- | | |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ขั้นตอนที่ 1 | ทบทวนบทความวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาสารเชื่อมประสาน |
| ขั้นตอนที่ 2 | ทบทวนบทความวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาปริมาณสารและความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดในการเตรียมสาร |
| ขั้นตอนที่ 3 | ศึกษาหลักการและการใช้เครื่องมือดิจิทัลโฮโลกราฟี |
| ขั้นตอนที่ 4 | เตรียมสารเชื่อมประสานและกราฟีนออกไซด์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนที่ 5 ผสมสารเชื่อมประสานและกราฟีนออกไซด์ในแต่ละความเข้มข้นแล้วนำไปขึ้นรูปด้วยบล็อกที่เตรียมไว้
- ขั้นตอนที่ 6 นำสารตัวอย่างของแต่ละความเข้มข้นลงบนแผ่นทองแดงและเพิ่มอุณหภูมิแผ่นทองแดงเพื่อทดสอบการนำความร้อนและนำไปวัดคุณสมบัติทางแสง
- ขั้นตอนที่ 7 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 9 รวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 10 จัดทำวารสารทางวิทยาศาสตร์และส่งสำนักพิมพ์ต่างชาติสำหรับการเผยแพร่
- ขั้นตอนที่ 11 จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์
- ขั้นตอนที่ 12 เตรียมตัวและสอบหัวข้อวิทยานิพนธ์
- ขั้นตอนที่ 13 ปรับปรุงรูปเล่มวิทยานิพนธ์
- ขั้นตอนที่ 14 เตรียมตัวและสอบจบวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้และเข้าใจเทคนิคหลักการใช้หลักการดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์สำหรับตรวจสอบคุณสมบัติทางแสงของสารเชื่อมประสานเมื่อมีการผสมกราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติเพื่อวิเคราะห์หาสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้และมีความปลอดภัยในการใช้งาน
2. มีความรู้ความเข้าใจความแตกต่างของการใช้สารเชื่อมประสานและกราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน
3. สามารถนำความรู้พื้นฐานทั้งในสาขาฟิสิกส์ และเคมีมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพของงานวิจัยและการต่อยอดสู่งานวิจัยเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

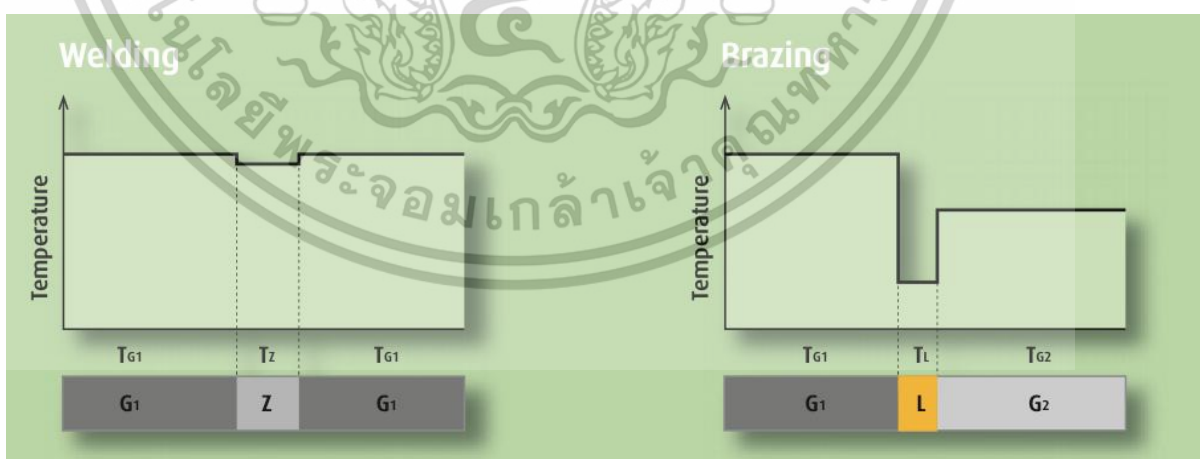
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารเชื่อมประสาน (Solder paste) [1]

เทคโนโลยีการยึดพื้นผิวหรือ SMT เป็นเทคโนโลยีการผลิตด้วยการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผงวงจรที่มีการกัดขึ้นลายวงจรการทำงานเรียบร้อยแล้ว (Printed Circuit Board : PCB) โดยจะมีสารเชื่อมประสาน (Solder paste) เป็นตัวเชื่อมประสานตัวอุปกรณ์เหล่านั้นให้ติดกับแผ่นวงจร ซึ่งส่วนประกอบสำคัญในการยึดพื้นผิวคือ สารเชื่อมประสาน โดยสารเชื่อมประสานที่ดีจะช่วยลดข้อบกพร่องในกระบวนการ SMT ได้ คุณสมบัติของสารเชื่อมประสานที่ดีคือ นำไฟฟ้าได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูง

ความแตกต่างระหว่างการเชื่อม (Welding) และการหล่นประสาน (Brazing) โดยในการเชื่อมวัสดุ (Welding) ประเภทเดียวกันอาจเชื่อมติดกันได้ เช่น เหล็กกับเหล็ก หรือ อลูมิเนียมกับอลูมิเนียม สารเชื่อมประสานหรือโลหะตัวเติมจะมีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกันกับวัสดุหลัก ดังนั้นจึงมีความเฉพาะเจาะจงกับวัสดุนั้น แต่อย่างไรก็ตามการหล่นประสาน (Brazing) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ในการบัดกรีแข็ง (Brazing) และการบัดกรีอ่อน (Soft soldering) วัสดุประเภทเดียวกันและโลหะที่ต่างกันอาจเชื่อมติดกันได้ เช่น เหล็กกับทองแดง หรือ ทองแดงกับทองเหลือง โดยสารเชื่อมประสาน ดังนั้นโลหะผสมประสานหรือสารเชื่อมประสานมักไม่เฉพาะเจาะจงกับวัสดุหลัก ส่วนประกอบของสารเชื่อมประสานอาจแตกต่างอย่างมากจากวัสดุหลัก



รูปที่ 2.1.1 ความแตกต่างระหว่างการเชื่อม (Welding) และการหล่นประสาน (Brazing)

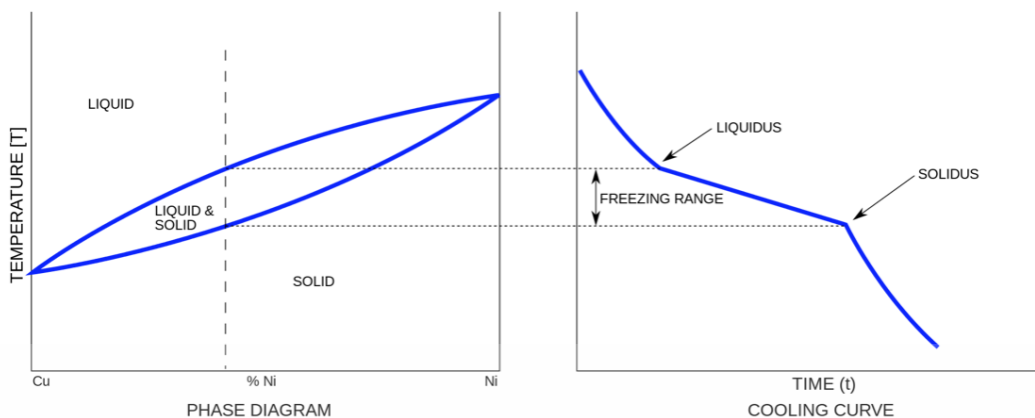
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความแตกต่างระหว่างบัดกรีแข็งกับบัดกรีอ่อน แตกต่างกันที่อุณหภูมิ ซึ่งบัดกรีอ่อนจะมีกระบวนการใช้อุณหภูมิต่ำกว่าการบัดกรีแข็ง นอกนั้นกระบวนการบัดกรีจะคล้ายกัน บัดกรีแข็งหรือเรียกอีกอย่างว่าการเชื่อมประสาน คือการเชื่อมโลหะที่มีตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเข้าด้วยกัน โดยโลหะที่นำมาเชื่อมกันอาจจะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ โดยจะใช้อุณหภูมิความร้อนแก่รอยต่อสูงกว่า 450 องศาเซลเซียส โดยโลหะเติมจะถูกหลอมละลาย แต่ไม่ถึงอุณหภูมิหลอมละลายของชิ้นงานที่นำมาบัดกรีแข็ง โดยอาศัยปฏิกิริยาคาปิลารี (Capillary action) หลอมละลายโลหะเติมให้ซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างรอยต่อ โดยลักษณะโลหะเติมจะเป็นโลหะที่ไม่อยู่ในจำพวกเหล็ก อาจจะเป็นโลหะผสม เช่น ลวดทองแดงผสมฟอสฟอรัส ทองเหลือง หรือที่เราอาจจะชอบเรียกกันว่า ลวดเชื่อม โดยที่โลหะเติมเหล่านี้จะมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่า 450 องศาเซลเซียส ส่วนบัดกรีอ่อน จะใช้อุณหภูมิความร้อนแก่รอยต่อที่ต่ำกว่า 450 องศาเซลเซียส โดยอาศัยปฏิกิริยาคาปิลารี (Capillary action) หลอมละลายโลหะเติมให้ซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างรอยต่อเหมือนเดิม แต่โลหะเติมจะมีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำกว่า 450 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่จึงนำมาบัดกรีสายไฟ หรือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแผงวงจรหรือแผงควบคุม เนื่องจากทั้งสองแบบใช้อุณหภูมิหลอมละลายโลหะเติมที่แตกต่างกัน บัดกรีแข็งซึ่งใช้อุณหภูมิสูงกว่าจึงทำให้มีความแข็งแรงของชิ้นงานมากกว่าบัดกรีอ่อน แต่บัดกรีอ่อนจะมีต้นทุนการทำงานถูกกว่าบัดกรีแข็ง

2.1.1 พื้นฐานทางโลหะวิทยาและฟิสิกส์ (Metallurgical and Physics)

ในการประเมินการใช้โลหะตัวเติมได้อย่างเหมาะสม จำเป็นต้องมีพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะของการหลอมโลหะหรือโลหะผสมนั้นๆ มีโลหะบริสุทธิ์เพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่จะใช้เป็นโลหะสำหรับประสานได้ เช่น ทองแดง (Cu) โดยปกติมักจะใช้ส่วนผสมของโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เรียกว่าโลหะผสม (Alloys) โดยค่าที่วัดได้จากกราฟความร้อนหรือความเย็นหรือเฟสไดอะแกรมสำหรับโลหะผสมที่ประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิด เรียกว่า ไบนารีเฟสไดอะแกรม (Binary Phase Diagrams) สำหรับในส่วนสมดุลเฟสของโลหะผสม 2 ชนิดนั้น การสร้างแผนภาพสมดุลเฟสโดยทั่วไปจะสร้างจาก Cooling Curve ของโลหะผสมชนิดนั้นดังรูปที่ 2.1.1 เส้นโค้งบนจะเรียกว่าเส้น Liquidus (L) และอุณหภูมิที่แสดงคืออุณหภูมิหลอมเหลวของเส้นโค้งด้านล่างที่แสดงอุณหภูมิโซลิดัส เรียกว่า เส้น Solidus (S) เหนือเส้น Liquidus (L) โลหะผสมทั้งหมดจะหลอมเหลวและกลายเป็นของเหลว ส่วนใต้เส้น Solidus โลหะผสมทั้งหมดจะเป็นของแข็ง โชนรูปซิกการ์ (Cigar-Shaped) โลหะผสมทั้งหมดจะมีทั้งสถานะของแข็งและของเหลว โชนนี้จะเรียกว่าช่วงการหลอมเหลวหรือช่วงการแข็งตัวที่อุณหภูมิลดลง โดยจุดที่เส้น Solidus (S) และเส้น Liquidus (L) บรรจบกันเรียกว่าจุดยูเทกติก (Eutectic Point) ซึ่งหากอุณหภูมิ Solidus และ Liquidus กว้างจะยิ่งบัดกรียาก เพราะโลหะจะไม่หลอมสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1.2 แผนภาพเฟสไดอะแกรมของโลหะผสมทองแดง-นิกเกิล และเส้นโค้งการเย็นตัว

2.1.2 โลหะตัวเติม (Filler metal)

ในการบัดกรีแข็ง หรือบัดกรีอ่อน จะมีปัจจัยในการเชื่อมประสาน 3 ปัจจัย คือ ฟลักซ์ ซึ่งจะถูกทำให้ร้อนด้วยออกไซด์หากอุณหภูมิสูงเกินไปหรือต้องให้ความร้อนเป็นเวลานาน โลหะตัวเติม คือส่วนประกอบของโลหะผสมบางส่วนซึ่งอาจจะหายได้ วัสดุหลัก หรือพื้นผิวที่โลหะต้องการบัดกรี โดยในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการบัดกรีอ่อน (Soft Solders) เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้และความเหมาะสมต่อชิ้นงาน

2.1.2.1 บัดกรีอ่อน (Soft Solders)

สารบัดกรีจะถูกจำแนกเป็นโลหะผสมที่มีตะกั่วและโลหะผสมที่ไม่มีตะกั่ว

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวของโลหะผสมตะกั่วและโลหะปราศจากตะกั่ว

การจำแนก	ชนิดของโลหะ	อุณหภูมิในการหลอมเหลว
โลหะผสมที่มีตะกั่ว	Sn+Pb	145-370 °C
	Pb+Sn	
	Sn+Pb+Sb	
	Sn+Pb+Bi	
	Sn+Pb+Cd	
	Sn+Pb+Cu	
	Sn+Pb+Ag	
	Pb+Ag	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะผสมที่ไม่มีตะกั่ว	Sn+Sb Sn+Bi Sn+Cu Sn+In Sn+Ag อื่นๆ	118-370 °C
-----------------------	----------------------------------------------------	------------

ตะกั่วถือเป็นสารก่อมะเร็งและด้วยเหตุนี้จึงไม่ถูกใช้เป็นตัวประสานในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบสาธารณสุข ปรอท และในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยผู้วิจัยเลือกใช้สารเชื่อมประสานหรือโลหะตัวเติมเป็น SAC (SnAgCu) ในอัตราส่วน 1:1:1 เนื่องจากเป็นองค์ประกอบและอัตราส่วนที่ได้รับความนิยมและใช้กันมากที่สุดเพราะมีข้อได้เปรียบทางด้านสมบัติทางกลและความสามารถในการบัดกรีที่ดี

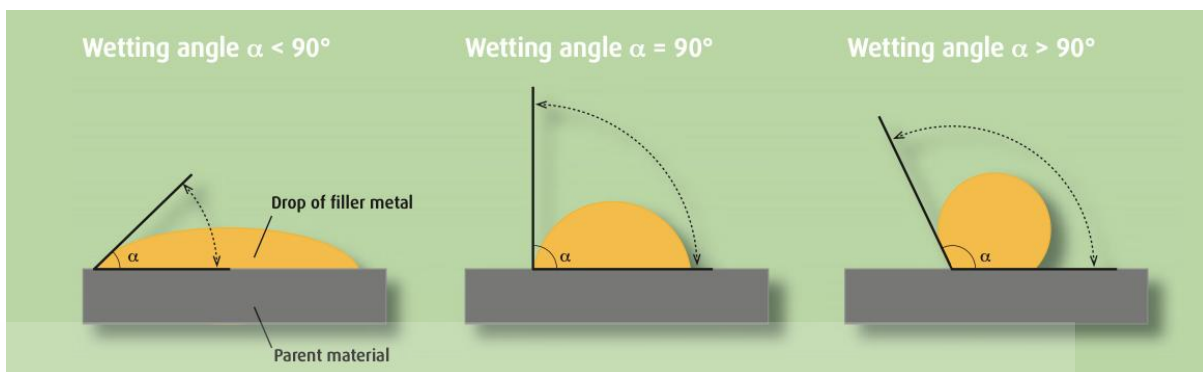
2.1.2.2 ฟลักซ์ (Flux)

เพื่อให้สารเชื่อมประสานยึดติดแน่นกับชิ้นงาน จำเป็นต้องใช้ฟลักซ์ช่วยในการประสาน ซึ่งฟลักซ์มีความสามารถในการกำจัดออกไซด์บนพื้นผิวเป็นส่วนใหญ่ เพื่อให้ประสานกันได้ดีและป้องกันการเกิดออกไซด์ชั้นบนพื้นผิว ฟลักซ์จะช่วยเพิ่มความเปียกและลดแรงตึงผิวบนโลหะเนื่องจากมีความสามารถในการกำจัดไขมันและออกไซด์ที่ผิว และช่วยให้โลหะตัวเติมประสานเข้าไปในรอยต่อได้ดี อีกทั้งยังช่วยให้โลหะตัวเติมมีอัตราการหดตัวต่ำเมื่อเย็นตัวลง

2.1.3 การทำให้เปียก (Wetting) และการแพร่กระจาย (Diffusion)

โลหะตัวเติมที่จะทำให้วัสดุหลักมีความสามารถในการเปียก (Wetting) ได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อเป็นไปตามข้อกำหนด 3 ประการ ได้แก่ พื้นผิวที่จะต้องแห้งและโลหะตัวเติมต้องสะอาด พื้นผิวที่ต้องการประสานกับโลหะเติมจะต้องมีอุณหภูมิเกี่ยวข้องในการทำงาน และส่วนประกอบของโลหะตัวเติมอย่างน้อย 1 ชิ้นจะต้องผสมกับวัสดุหลักได้ และที่สำคัญคือความสามารถของโลหะตัวเติมในการทำให้โลหะที่เป็นวัสดุหลักเปียก เมื่อหยดโลหะตัวเติมในรูปแบบของเหลวลงไปที่พื้นผิวของโลหะหลักจะทำให้พื้นผิวนั้นเปียก และเกิดการกระจายออกไปในระดับหนึ่ง โดยเงื่อนไขเบื้องต้นที่จะทำให้โลหะหลักเปียกและเกิดการขยายตัวคือผิวของโลหะต้องสะอาดและไม่มีออกไซด์ที่ผิว ความร้อนที่เพียงพอของโลหะตัวเติมและวัสดุหลัก และความหนืดของโลหะตัวเติมที่ถูกทำให้หลอมเหลว โดยมุมเปียก α จะเป็นตัวแปรที่ได้จากการวัดสำหรับการทดสอบความสามารถในการเปียกและกำหนดมุมที่วัดระหว่างหยดโลหะเติมและระดับพื้นผิววัสดุหลัก จากรูปที่ 2.1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



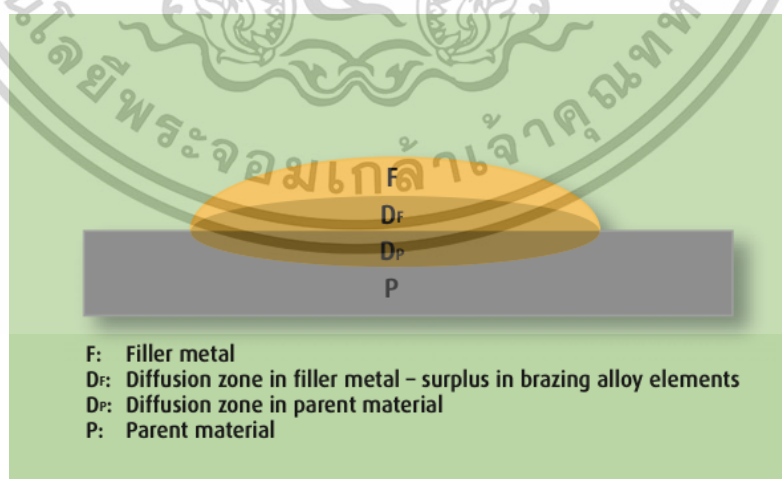
รูปที่ 2.1.3 มุมในการเปียก

เมื่อ $\alpha \leq 90^\circ$ วัสดุหลักจะถูกทำให้เปียก โดยมุมของการเปียกที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ $< 30^\circ$ และหาก $\alpha = 0^\circ$ การเปียกน้ำจะถือว่าเปียกทั้งหมด กล่าวคือ การหยดของโลหะตัวเติมขยายไปทั่วพื้นผิวโลหะในรูปของฟิล์มบาง

เมื่อ $\alpha = 90^\circ$ การหยดของโลหะตัวเติมทำให้พื้นผิวเปียก แต่ยังไม่เกิดการกระจายตัวออกไป

เมื่อ $\alpha \geq 90^\circ$ การหยดของโลหะตัวเติมไม่ทำให้พื้นผิวเปียก

ในกระบวนการประสานที่ดี โลหะตัวเติมต้องผสมกับชั้นบางส่วนของพื้นผิววัสดุหลัก ซึ่งการถ่ายเทอะตอมของโลหะในกระบวนการนี้เรียกว่าการแพร่กระจาย (Diffusion) ดังนั้นจึงเกิดขอบเขตที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการเปียกเรียกว่า เขตแพร่กระจาย (Diffusion Zone)



รูปที่ 2.1.4 เขตการแพร่กระจายสำหรับการประสาน

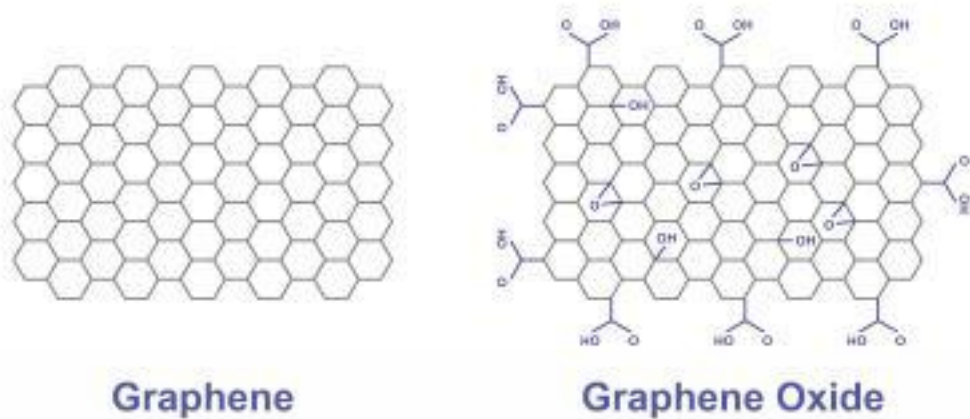
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1.4 ในเขตการแพร่กระจายจะประกอบด้วยส่วนประกอบของโลหะตัวเติมที่แพร่กระจายอยู่ในพื้นผิวของวัสดุหลัก (D_p) และมีส่วนประกอบของวัสดุหลักอยู่ในชั้นโลหะตัวเติม (D_f) โดยในขั้นตอนการประสานนั้นขึ้นอยู่กับการก่อตัวของเขตการแพร่กระจาย เพื่อให้เกิดการก่อตัวของเขตนั้น อะตอมของโลหะตัวเติมต้องรวมเข้ากับโครงสร้างของอะตอมของโลหะในวัสดุหลัก และแน่นอนว่าไม่ใช่อะตอมของโลหะทุกตัวจะมีความสามารถที่เหมือนกันในการตอบสนองต่อความต้องการที่จะก่อตัวขึ้นของสารละลายที่เป็นของแข็งได้ ยิ่งความแตกต่างของรัศมีของอะตอมมาก จำนวนอะตอมที่สามารถรวมตัวกันได้ก็ยิ่งน้อยลง รวมถึงความสามารถในการเคลื่อนที่ของอะตอมเหล่านั้นช้าลงเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอที่เหมาะสมที่สุด โดยโลหะตัวเติมควรมีเฟสของเหลวอย่างน้อย 5 ถึง 10 วินาที เพื่อให้มั่นใจว่าจะมีการก่อตัวในเขตการแพร่กระจายที่ลึกมากพอ ดังนั้นโลหะตัวเติมจึงควรมีโลหะที่เป็นส่วนประกอบหรือองค์ประกอบของวัสดุหลักผสมอยู่ด้วย ตัวอย่างเช่น หากต้องการเล่นประสานวัสดุหลักที่เป็นทองแดง ในโลหะตัวเติมก็ควรมีส่วนผสมที่มีทองแดงอยู่ เป็นต้น

2.2 กราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide) [2]

กราฟีน (Graphene) เป็นวัสดุที่ถูกค้นพบเมื่อปี พ.ศ.2547 โดยนักฟิสิกส์ชาวรัสเซียสองคนคือ Andre Geim และ Konstantin Novoselov จากมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ ซึ่งกราฟีนจัดเป็นวัสดุนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีที่สุดในโลก โดยจะประกอบด้วยชั้นคาร์บอนหนา 1 ชั้น มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีโครงสร้าง 2 มิติ เหมือนตาข่ายรูปหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้งหนาเท่ากับคาร์บอนเพียงอะตอมเดียว จึงทำให้มีคุณสมบัติที่แข็งแรงกว่าเพชร นำไฟฟ้าได้ดี ใสโปร่งแสง และมีความยืดหยุ่นสูง จึงเหมาะกับการใช้ผสมพอลิเมอร์ต่างๆในการนำไฟฟ้า เพื่อให้สามารถนำไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น ทำให้กราฟีนมีความนิยมในการนำมาใช้ในงานทางด้านอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น งานด้านอิเล็กทรอนิกส์ การแพทย์ การบิน เป็นต้น

เนื่องจากกราฟีนมีราคาแพงและผลิตค่อนข้างยาก จึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่พยายามคิดค้นวิธีสร้างหรือใช้อนุพันธ์ของกราฟีนที่มีประสิทธิภาพแต่ราคาไม่แพง ซึ่งกราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide) เป็นหนึ่งในวัสดุเหล่านั้น โดยกราฟีนออกไซด์เป็นวัสดุอะตอมเดี่ยวซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันของกราฟีนซึ่งเจือด้วยกลุ่มที่มีออกซิเจน จึงง่ายต่อการแปรรูปเนื่องจากสามารถกระจายตัวในน้ำและตัวทำละลายอื่นๆได้ และยังสามารถใช้ทำกราฟีนได้อีกด้วย ถึงแม้กราฟีนออกไซด์จะไม่ใช่วัสดุที่ดีที่สุด แต่ก็มีกระบวนการเพิ่มคุณสมบัติของกราฟีนออกไซด์มากมายจึงทำให้มีราคาถูกกว่ากราฟีนมาก เนื่องจากผลิตง่ายกว่ากราฟีน



รูปที่ 2.2.1 ความแตกต่างระหว่างกราฟีนและกราฟีนออกไซด์

ข้อดีของกราฟีนออกไซด์คือหากอยู่ในรูปแบบของฟิล์มจะสามารถติดบนพื้นผิวใดๆก็ได้ และเปลี่ยนเป็นตัวนำ (Conductor) ในภายหลัง และข้อดีของกราฟีนออกไซด์อีกอย่างคือกราฟีนออกไซด์มีพื้นที่ผิว (Surface Area) สูงมาก ด้วยเหตุนี้กราฟีนออกไซด์จึงเหมาะในการนำมาผลิตฟิล์มใสนำไฟฟ้า เช่น ฟิล์มที่ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซลล์แสงอาทิตย์ เช่น เซอร์เคมี และอื่นๆ นอกจากนี้กราฟีนออกไซด์ยังได้มีงานวิจัยรับรองว่าเป็นสารที่สามารถใช้ทดแทนดีบุกออกไซด์ (ITO) ในแบตเตอรี่ได้ โดยกราฟีนออกไซด์มีความสามารถในการผสมกับโพลีเมอร์หรือวัสดุอื่นๆ ได้ง่าย และสามารถเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุผสม (composite material) เช่น ความต้านทานแรงดึง ความยืดหยุ่น การนำไฟฟ้า และอื่นๆ กราฟีนออกไซด์ในรูปแบบของแข็ง กราฟีนออกไซด์จะมีลักษณะเป็นเกล็ดโดยมีการยึดติดกันเพื่อสร้างโครงสร้างที่แบนและบาง มีความแข็งแรง สามารถพับ ย่น และยึดได้ ข้อดีอีกอย่างของกราฟีนออกไซด์คือเป็นสารที่เรืองแสง จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานทางการแพทย์ต่างๆ และสามารถตรวจหาโรค พยาหะของยา สารต้านแบคทีเรียในด้านชีวการแพทย์

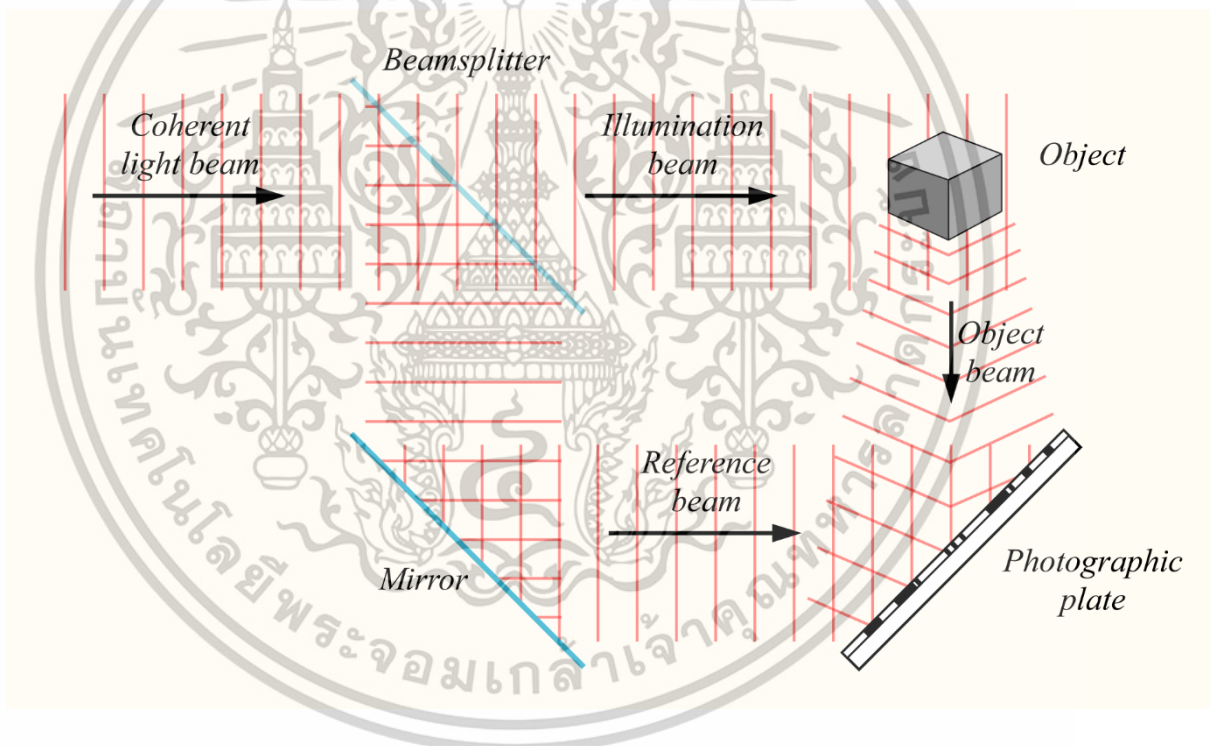
2.3 หลักการของโฮโลแกรม (Hologram)

โฮโลแกรมคือเทคโนโลยีที่ถูกสร้างขึ้นจากโฮโลกราฟี (Holography) ซึ่งเป็นการใช้เทคนิคต่างๆ ช่วยให้แสงจากแหล่งกำเนิดกระจายจากวัตถุที่จะทำการบันทึก เป็นภาพที่มีลักษณะ 3 มิติ โดยโฮโลแกรม (Hologram) ถูกคิดค้นโดย Dennis Gabor วิศวกรไฟฟ้าชาวฮังการี ในปี ค.ศ. 1948 โดยมีการค้นพบจากการปรับปรุงและพัฒนาของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ต่อมาได้มีนักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อ E.Leith และ J.Upatniks ร่วมมือกันพัฒนาเทคโนโลยีนี้โดยมีการใช้เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง ทำให้สามารถบันทึกภาพขึ้นแรกในรูปแบบ 3 มิติได้ ซึ่งสามารถแสดงความรู้สึก ความกว้าง และเปลี่ยนแปลงมุมมองของภาพได้ โฮโลแกรมถูกแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆได้ 2 ประเภท คือ white-light hologram ซึ่งภาพโฮโลแกรมที่บันทึกนั้น จะสามารถมองเห็นได้ด้วยการส่องสว่างด้วยแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากธรรมชาติ และอีกประเภทหนึ่งคือ ภาพโฮโลแกรม ที่ต้องถูกส่องสว่างด้วยแสงเลเซอร์ หรือแสงที่มีสภาพหน้าคลื่นสอดคล้องกันหรือเป็นคลื่นอาพันธ์ ถึงจะมองเห็นภาพ 3 มิติได้ ซึ่งหลักการของโฮโลแกรมจะใช้หลักการสร้างภาพจากการแทรกสอดของแสงที่มาจากวัตถุ โดยการฉายแสงเลเซอร์จากแหล่งกำเนิดเดียวกันแยกออกเป็น 2 ลำ ลำหนึ่งแสงถูกวิ่งไปยังแผ่นฟิล์มบันทึก ส่วนอีกลำจะวิ่งไปยังวัตถุตัวอย่างและสะท้อนไปยังแผ่นฟิล์มโดยการใช้กระจกเงา ซึ่งแสงทั้ง 2 ลำจะถูกบันทึกไว้บนฟิล์ม ซึ่งให้ภาพที่ไม่เหมือนวัตถุต้นฉบับเนื่องจากเป็นภาพเสมือนที่ปรากฏขึ้นตามมุมของแสงที่ตกกระทบส่งผลให้ตาของเรารับแสงด้านหนึ่งของโฮโลแกรมจึงเห็นเป็นภาพ 3 มิติ ในการสร้างโฮโลแกรมจะแบ่งออกได้ 2 ขั้นตอน ดังนี้

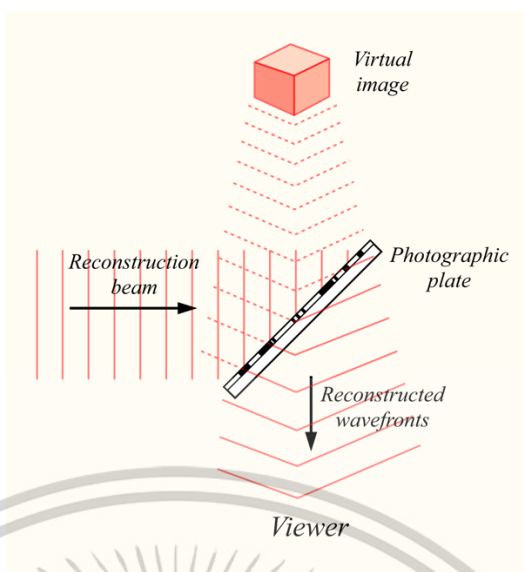
1. การบันทึกภาพ (Recording of image) เป็นการบันทึกแถบการแทรกสอดเชิงซ้อน (Complex interference patterns) ที่เกิดจากการที่แสงเลเซอร์ 2 ลำซ้อนทับกันอยู่ (Superposition) และแถบการแทรกสอดเชิงซ้อนนี้จะถูกบันทึกบนฟิล์มถ่ายรูป



รูปที่ 2.3.1 การบันทึกภาพโฮโลแกรม

2. การสร้างภาพ (Reconstruction of image) เป็นการสร้างภาพ 3 มิติขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.2 การแสดงภาพโฮโลแกรม

2.3.1 การประยุกต์ใช้โฮโลแกรม

2.3.1.1 ใช้ในการสื่อสารทางไกล

ปัจจุบันสามารถนำโฮโลแกรมมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารทางไกลได้เป็นอย่างดี เพื่ออำนวยความสะดวกและลดปัญหาด้านการเดินทาง ซึ่งในต่างประเทศได้เริ่มมีการนำโฮโลแกรมมาใช้ทำข่าวอย่างแพร่หลาย

2.3.1.2 ใช้แสดงข้อมูล

ในการจัดแสดงสินค้าโดยใช้โฮโลแกรม ปัจจุบันสามารถแสดงภาพจำลอง 3 มิติได้อย่างแพร่หลาย เพราะสามารถเพิ่มจุดเด่นให้แก่สินค้าได้อย่างดี เนื่องจากมีความดึงดูดสายตาให้แก่ผู้ผ่านไปผ่านมา

2.3.1.3 บันทึกข้อมูล

เทคโนโลยีโฮโลแกรมสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบันทึกข้อมูลได้โดยใช้ฮาร์ดดิส โดยสามารถบันทึกข้อมูลได้ถึง 1 TB โดยใช้ Holographic Storage เป็นตัวช่วยในการเขียนข้อมูลลงไป ในเนื้อวัสดุด้วยแสงเลเซอร์

2.3.1.4 ด้านความปลอดภัย

ปัจจุบันหลังบัตรเครดิต บัตรประชาชน พาสปอร์ต ใบขับขี่ ต่างก็ใช้หลักการโฮโลแกรมเข้ามา เมื่อพลิกดูด้านหลังจะเห็นสีรุ้งแวววาวที่เป็นโฮโลแกรมปรากฏอยู่ ซึ่งจะไม่สามารถเลียนแบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงเหมาะแก่การป้องกันการปลอมแปลงเอกสารเป็นอย่างดี จะทำให้ข้อมูลมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

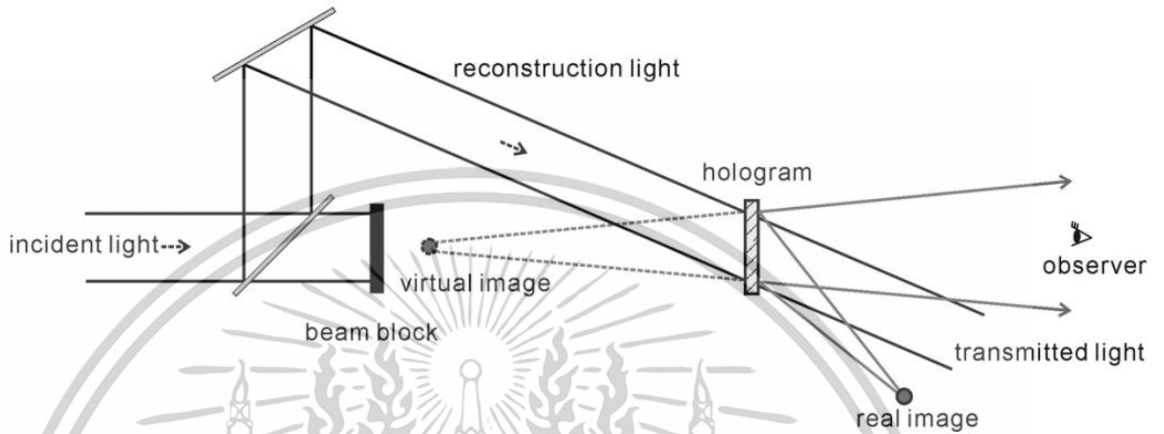
2.4 ดิจิตอลโฮโลกราฟี (Digital Holography) [3-9]

โฮโลกราฟี (Holography) ถูกคิดค้นโดย Dennis Gabor ในปี ค.ศ. 1948 เป็นเทคนิคการถ่ายภาพที่อาศัยหลักการแทรกสอด (Interference) และการเลี้ยวเบน (Diffraction) ของเลนส์ เนื่องจากโฮโลแกรมสามารถบันทึกได้ไม่เพียงแค่ออมพลิจูด (Amplitude) เท่านั้น แต่ยังรวมถึงข้อมูลเฟส (Phase) ของคลื่นได้พร้อมกันด้วย และภาพ 3 มิติของวัตถุได้มาจากการสร้างโฮโลแกรมขึ้นใหม่ ซึ่งภาพที่มีลักษณะเป็น 3 มิติ เหมือนวัตถุจริงนั้น นอกจากจะมีลักษณะของภาพที่มีความกว้าง ความยาว และความลึกแล้ว ยังต้องมีความเหลื่อมล้ำ (Parallax) ของวัตถุในภาพด้วย ดังนั้นโฮโลกราฟีจึงเป็นเทคนิคหลักทางแสง แต่อย่างไรก็ตาม แอปพลิเคชันของโฮโลแกรมก็มีข้อจำกัดมากเนื่องจากไม่สามารถประมวลผลแบบ Real-time ได้ จึงได้มีการพัฒนาโฮโลกราฟีให้มีการผสมผสานกับคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถถ่ายโอนกระบวนการบันทึกไปยัง คอมพิวเตอร์และสามารถสร้างภาพ 3 มิติบนคอมพิวเตอร์ได้ โดย Dennis Gabor ใช้เทคนิคการแทรกสอดของแสง ซึ่งแสงที่จะมาแทรกสอดกันต้องประกอบด้วยลำแสงสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นแสงอ้างอิง (Reference Beam) และส่วนที่สองเป็นลำแสงจากวัตถุ (Objective Beam) ผลของการแทรกสอดจะถูกบันทึกไว้ในฟิล์มที่มีกำลังในการแยกสูง (Resolving Power) เมื่อนำฟิล์มไปล้างแล้วนำมาฉายแสงอ้างอิงในแนวเดิมจะเกิดการเลี้ยวเบนในทุกๆจุดบนฟิล์มที่มีการแทรกสอดอยู่ โดยหน้าคลื่นที่ได้จากการเลี้ยวเบนของแสงจะมีลักษณะเหมือนหน้าคลื่นที่ออกมาจากวัตถุจริง ดังนั้น โฮโลกราฟีจึงเป็นคำเรียกของการบันทึกภาพ (Construction) และการสร้างภาพกลับ (Reconstruction) เพื่อให้ได้ภาพ 3 มิติ โดยแสงที่นำมาใช้ต้องเป็นแสงที่มีอาพันธ์ (Coherence) ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นแสงอาพันธ์ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงชนิดปรอท (Mercury lamp) แสงเลเซอร์ (Laser) เป็นต้น

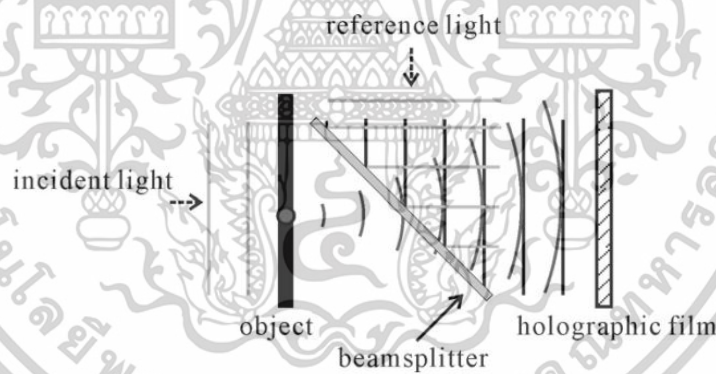
2.4.1 การบันทึกแบบดิจิตอลโฮโลกราฟี

การบันทึกระบบแสงของดิจิตอลโฮโลกราฟีเหมือนกับโฮโลแกรมแนวระนาบทั่วไปดังรูปที่ 2.4.2.1 โดยดิจิตอลโฮโลกราฟีถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การถ่ายภาพแบบนอกแกน (Off-axis Holography) และ การถ่ายภาพในแนวแกนเดียวกัน (In-line Holography) โดยเทคนิคการถ่ายโฮโลแกรมแบบ Off-axis Holography ได้รับการพัฒนาจาก Emmett Leith และ Juris Upatnieks ที่นำแสงเลเซอร์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์สูงมาใช้ในการบันทึกโฮโลแกรมโดยใช้ลำแสงที่เป็นแสงอ้างอิง (Reference Beam) และลำแสงจากวัตถุ (Objective Beam) แยกออกเป็น 2 ลำ โดยแสงจากวัตถุและแสงอ้างอิงจะทำมุม θ รวมกันบนฟิล์ม ซึ่งผลของการแทรกสอดของคลื่นทั้งสองจะถูกบันทึกลงบนฟิล์ม ซึ่งในการบันทึกนั้นสามารถวางวัตถุไว้นอกลำแสงอ้างอิงได้ ทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถขยายขอบเขตการมองด้วยมุมต่างๆได้กว้างขึ้น ดังรูปที่ 2.4.1 และ In-line Holography แนวลำแสงอ้างอิงและลำแสงจากวัตถุจะอยู่ในแนวแกนเดียวกัน ดังรูปที่ 2.4.2 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการถ่ายภาพในแนวเดียวกันหรือ In-line Holography เข้ามาใช้เนื่องจากความเหมาะสมสำหรับการหาคุณสมบัติของสารตัวอย่าง



รูปที่ 2.4.1 การบันทึกภาพสำหรับ Off-axis Holography



รูปที่ 2.4.2 การบันทึกภาพสำหรับ In-line Holography

หลักการของฮอยเกนส์ (Huygens convolution)

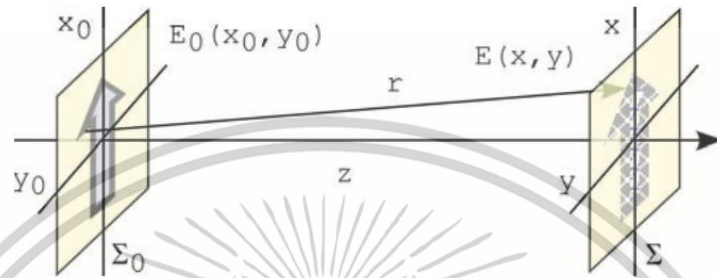
กำหนดให้สนามของแสง $E_0(x_0, y_0)$ เหนือระนาบอินพุต Σ_0 ที่ $z=0$ โดยสนาม $E(x, y)$ เหนือระนาบเอาต์พุต Σ โดย z คือระยะห่างและมีความยาวคลื่น $\lambda = 2\pi/k$

$$E(x, y; z) = -\frac{ik}{2\pi z} \iint dx_0 dy_0 E_0(x_0, y_0) \exp[ik\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + z^2}] \tag{2.4.2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Convolution Integral คือ

$$E(x, y; z) = E_0 \cdot S_H \quad (2.4.2.2)$$



รูปที่ 2.4.3 เรขาคณิตการเลี้ยวเบน (Geometry of diffraction)

โดย Point spread function (PSF) คือ

$$S_H(x, y; z) = -\frac{ik}{2\pi z} \exp[ik\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}] \quad (2.4.2.3)$$

สเปกตรัมเชิงมุม (Angular Spectrum)

ในการอธิบายการเลี้ยวเบนสามารถใช้วิธีวิเคราะห์จากสเปกตรัมเชิงมุมได้ โดยกำหนด $E_0(x_0, y_0)$ ที่ระนาบอินพุต 0 ($z=0$) โดยสเปกตรัมเชิงมุมจะถูกกำหนดเป็น Fourier transform

$$A_0(k_x, k_y) = F\{E_0\} = \frac{1}{2\pi} \iint dx_0 dy_0 E_0(x_0, y_0) \exp[-i(k_x x_0 + k_y y_0)] \quad (2.4.2.4)$$

โดยช่องอินพุต $E_0(x_0, y_0)$ คือการแปลงฟูเรียร์กลับ (Inverse Fourier transform)

$$E_0(x_0, y_0) = F^{-1}\{A_0\} = \frac{1}{2\pi} \iint dk_x dk_y A_0(k_x, k_y) \exp[i(k_x x_0 + k_y y_0)] \quad (2.4.2.5)$$

เฟสเอ็กโพเนนเชียล คือ (x_0, y_0) เป็นการฉายภาพของคลื่นระนาบกับเวกเตอร์คลื่น $k = (k_x, k_y, k_z)$ โดย $k_z = \sqrt{k^2 - k_x^2 - k_y^2}$ หลังจากแพร่กระจายเป็นระยะทาง z คลื่นระนาบจะได้รับ $\exp\{ik_z z\}$ ดังนั้น สนาม $E(x, y)$ ที่ $\Sigma(z)$ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 E(x, y; z) &= \frac{1}{2\pi} \int \int dk_x dk_y A_0(k_x, k_y) \exp [i(k_x x + k_y y \\
 &\quad + \sqrt{k^2 - k_x^2 - k_y^2} z)] \text{circ} \left(\frac{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}}{k} \right) \\
 &= F^{-1} \left\{ A_0(k_x, k_y) \exp \left[i \sqrt{k^2 - k_x^2 - k_y^2} z \right] \text{circ} \left(\frac{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}}{k} \right) \right\} [x, y]
 \end{aligned}$$

(2.4.2.6)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [11-16]

ในปี ค.ศ 2004 Mario Arenas และ Viola Acoff ได้ทำการศึกษาการวัดมุมสัมผัสของโลหะบัดกรีที่ปราศจากสารตะกั่ว 4 ชนิด ได้แก่ Sn-3.5Ag 5Ag-4.8Bi Sn-3.8Ag-0.7Cu และ Sn-0.7Cu โดยนำหน้าก บนพื้นผิวของทองแดงที่อุณหภูมิต่างๆโดยวัดมุมสัมผัสตั้งแต่ 30-40 องศา หลังจากทำให้เปียก ซึ่ง Sn-3.5Ag-4.8Bi วัดได้มุมสัมผัสที่ต่ำที่สุดบ่งบอกถึงความสามารถในการเปียกที่ดีขึ้นเมื่อเพิ่มบิสมัทเข้าไป [11]

ในปี ค.ศ 2006 Vesa Vuorinen และคณะ ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาระหว่างพื้นผิวของโลหะบัดกรี Sn-Ag-Cu โดยมีเคลือบ NiP/Au บนแผงพิมพ์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการตรวจคุณสมบัติทางแสง [12]

ในปี ค.ศ 2008 Stefano Amore E. Ricci และคณะ ได้ศึกษาโลหะผสมบัดกรีไร้สารตะกั่วสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยได้ศึกษาพฤติกรรมการเปียกของโลหะที่ผสม Sn หลายชนิด ได้แก่ In-Sn Au-Sn และ Cu-Sn โดยวัดค่าความแปรผันของมุมสัมผัสบนสารตั้งต้น Cu และ Ni ภายใต้เวลาและอุณหภูมิที่กำหนด และใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับเครื่องเอ็กซ์เรย์สเปกโทรเมตรีแบบกระจายพลังงาน เพื่อศึกษาปฏิกิริยาระหว่างโลหะผสมกับพื้นผิวที่เป็นของแข็งและการก่อตัวของสารประกอบต่างๆ ที่เป็นไปได้ ซึ่งพบว่าส่วนต่อประสานระหว่างสารประสานที่เป็นของเหลวและสารตั้งต้นที่เป็นของแข็ง In-Sn และ Cu-Sn โดยพบว่า Au-Sn แสดงพฤติกรรมการเปียกที่คล้ายกันบน Cu และ Ni [13]

ในปีค.ศ. 2015 T. Thong-on ได้ศึกษาการเปลี่ยนรูปร่างของ solder paste (Sn-3.0Ag-0.5Cu) ที่เติม graphene หรือ graphene oxide ปริมาณ 0.02-0.10% ในอุณหภูมิ 200-300°C โดยใช้ DHM สองมุม พบว่าเทคนิคนี้ให้ข้อมูลการเปลี่ยนรูปร่างและมุมสัมผัสได้อย่างเชื่อถือ [9]

ในปี ค.ศ 2017 สุชาติ จันทรมณี และ ไพโรจน์ สังข์ไพฑูรย์ ได้ศึกษาความสามารถในการเปียกและโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีที่ปราศจากสารตะกั่ว SAC305 และ SAC305-0.5In บนแผ่นทองแดง โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 240 260 และ 300 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการบัดกรี 20 30 และ 60 วินาที จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเติมธาตุอินเดียม 0.5 wt.% ใน SAC305 จุด

หลอมเหลวลดลง 3.8 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยของตัวประกอบการกระจายตัว และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนการกระจายตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการบัดกรีที่เพิ่มขึ้น และพบว่า SAC305-0.5In ที่อุณหภูมิการบัดกรี 300 °C ที่เวลาการบัดกรี 30 วินาที มีความสามารถในการเปียกที่ดี [14]

ในปี ค.ศ 2018 นายสุชาติ จันทรมณีย์ และ นายไพโรจน์ สังข์ไพฑูรย์ ได้ทำการวิจัยเพิ่มเติมโดยนำสารเชื่อมประสานที่ปราศจากสารตะกั่ว SAC305 และ SAC305-0.5In ที่ค่ามุมสัมผัสที่อุณหภูมิ 260 °C เวลา 30 40 และ 50 นาที โดยพบว่าแนวโน้มมีการลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น สำหรับโครงสร้างจุลภาคปรากฏเฟสของ $Ag_3(Sn,In)$ และ $Cu_6(Sn,In)_5$ เมื่อปริมาณธาตุอินเดียมเพิ่มขึ้น โดยชั้นสารประกอบเชิงโลหะที่อยู่ระหว่างรอยบัดกรีของโลหะทั้ง 2 ชนิดคือ Cu_6Sn_5 [15]

ในปี ค.ศ 2018 นายทวีพล ประกอบแสง และคณะ ได้ศึกษาสารเชื่อมประสานที่ปราศจากสารตะกั่ว SAC305 ผสมกับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด $AlZnO$ ในความเข้มข้น 0% 0.02% 0.05% และ 0.10% ในอุณหภูมิ 250 °C เป็นเวลา 30 วินาที โดยใช้การถ่ายภาพแบบดิจิทัลโฮโลกราฟีวางระบบแบบอินไลน์ศึกษาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานและความหนาของฟลักซ์ที่พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติม $AlZnO$ ลงไป [16]

ในปีค.ศ. 2018 Ke Xu ได้ศึกษาการจำลองสถานะเสมือนและศึกษาการหยดน้ำบนแผ่น GO พบว่า GO ปกติมีสมบัติ Hydrophilic (contact angle $\sim 70^\circ$) ซึ่งน้อยกว่ากราฟีนบริสุทธิ์ ($\sim 95^\circ$) และถ้าเพิ่มตำหนิใน GO จะทำให้มุมสัมผัสเพิ่มขึ้น (ขยับจาก 70° เป็น 82° เมื่อ defect 0 เป็น 10%) [17]

ในปีค.ศ. 2021 Mamart Wikatsama ศึกษาคุณสมบัติของ solder paste (Sn-3.0Ag-0.5Cu) ที่ผสมวัสดุคาร์บอนต่างๆ ตามอุณหภูมิ พบว่าใช้ in-line DH จับภาพ solder paste ขณะร้อนหลอมละลายและวัดมุมสัมผัสได้อย่างแม่นยำ [18]

ในปีค.ศ. 2023 Mohammad Mehdi Zamani Asl ใช้ DHM บันทึกภาพ 3D ของหยดน้ำเล็ก ๆ ที่กำลังระเหย เพื่อวัดมุมสัมผัสแบบทันที พบว่าแต่ละจุดรอบขอบหยดอาจมีมุมสัมผัสต่างกัน (ต่างกันได้ถึง $\sim 10^\circ$) ในจังหวะ stick-slip ขณะระเหย [19]

ในปีค.ศ. 2023 Yilin Li รีวิวผลการทดลองหลายชุดสรุปว่า การเติม graphene nanosheets ลงในตะกั่วปลอดสารตะกั่ว (lead-free solders) ช่วยเพิ่ม wettability และความแข็งแรง ตัวอย่างเช่น Sn-Ag-Cu ชนิด SACR เมื่อเติม Cu-GNS 0.05% ได้มุมสัมผัสต่ำสุดประมาณ 32° และเมื่อเติม Cu-GNS 0.1% ได้มุมต่ำประมาณ 14.4° [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

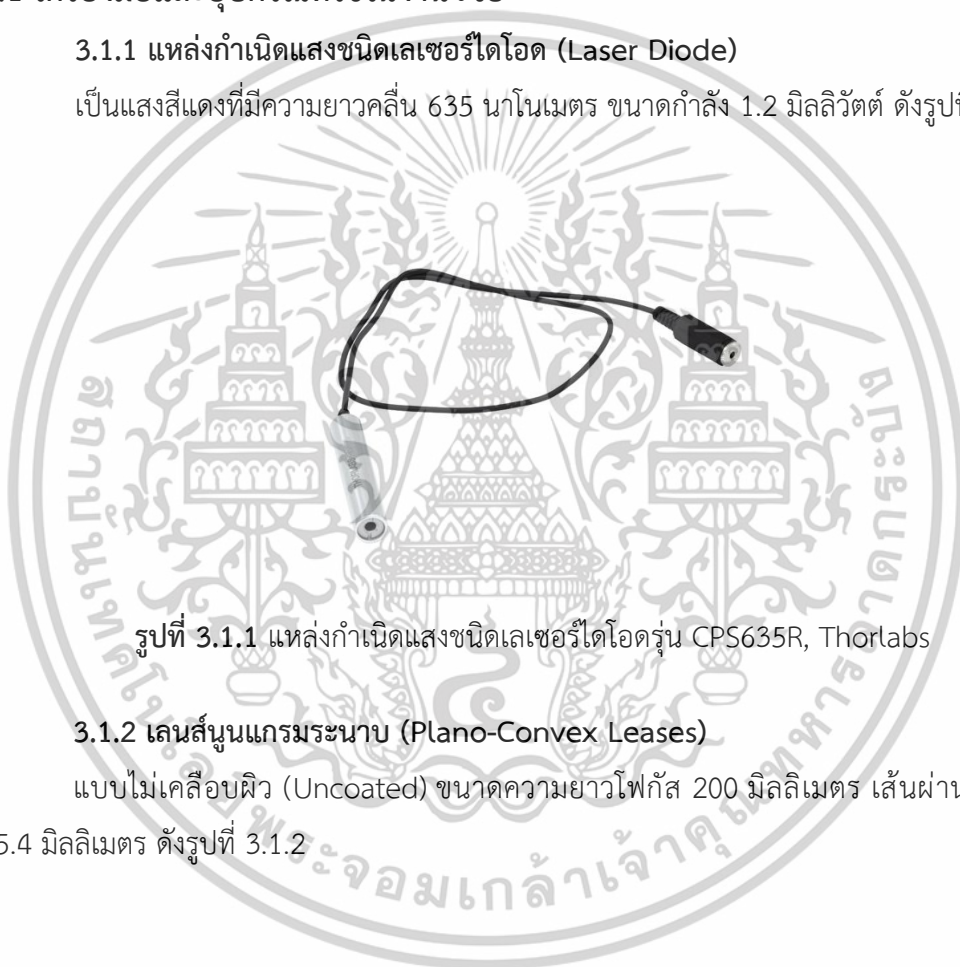
วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับเครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย กระบวนการเตรียมกราฟีนออกไซด์และสารเชื่อมประสาน และการวิเคราะห์ผลจากการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 แหล่งกำเนิดแสงชนิดเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode)

เป็นแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร ขนาดกำลัง 1.2 มิลลิวัตต์ ดังรูปที่ 3.1.1



รูปที่ 3.1.1 แหล่งกำเนิดแสงชนิดเลเซอร์ไดโอดรุ่น CPS635R, Thorlabs

3.1.2 เลนส์นูนแกรมระนาบ (Plano-Convex Lenses)

แบบไม่เคลือบผิว (Uncoated) ขนาดความยาวโฟกัส 200 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.1.2



รูปที่ 3.1.2 เลนส์นูนแกรมระนาบ รุ่น LA1708-N-BK7, Thorlabs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 กล้องดิจิทัลเซนเซอร์ชนิด CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor)

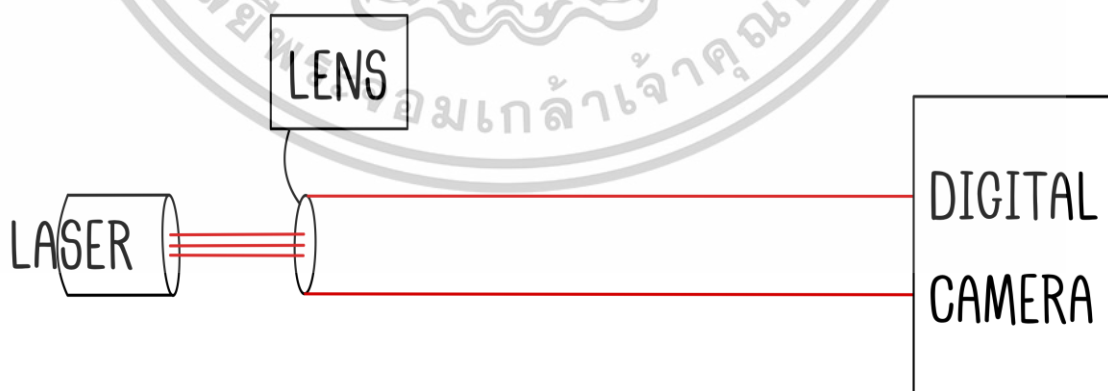
มีขนาดเซนเซอร์ 22.3×14.9 มิลลิเมตร และมีความละเอียดสูงสุด 18 ล้านพิกเซล (Canon EOS 700D) ดังรูปที่ 3.1.3



รูปที่ 3.1.3 กล้องดิจิทัลเซนเซอร์ชนิด CMOS รุ่น Canon EOS 700D

3.2 ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟี

ในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการถ่ายภาพแบบดิจิทัลโฮโลกราฟีนำมาใช้ในการศึกษาคุณสมบัติการแผ่ของสารเชื่อมประสานที่ผสมกราฟีนออกไซด์ โดยใช้ระบบโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ (In-line Holography) ที่มีแหล่งกำเนิดแสงชนิดเลเซอร์ไดโอดสีแดงยิงผ่านเลนส์นูนแกมระนาบเพื่อขยายลำแสงให้มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุและเป็นลำแสงขนานเข้าสู่กล้องดิจิทัล



รูปที่ 3.2.1 ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมสาร

โดยในงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นสารกราฟีนออกไซด์ และส่วนที่เป็นสารเชื่อมประสาน

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- กราฟีนออกไซด์ (GO)
- สารเชื่อมประสาน SAC (SnAgCu) ในอัตราส่วน 1:1:1
- ซ้อนตักสาร
- กระดาษขังสาร
- เครื่องขังสารแบบดิจิตอล
- ปีกเกอร์ ขนาด 150 mL
- กระดาษกรองสาร
- ครกอาเกตเนื้อเซรามิก

3.3.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. นำผงกราฟีนออกไซด์ที่เตรียมไว้ไปทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำผงกราฟีนออกไซด์ที่ผ่านการอบแล้วไปบดให้ละเอียดด้วยครกอาเกตเนื้อเซรามิก

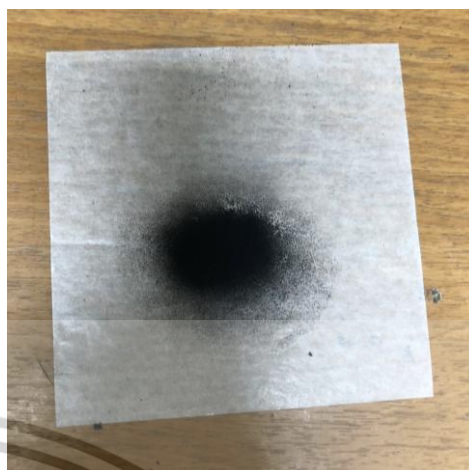


รูปที่ 3.3.1 ผงกราฟีนออกไซด์ที่ผ่านการอบแล้วไปบด

2. เมื่อบดผงกราฟีนออกไซด์จนละเอียดแล้วจึงนำไปกรองด้วยกระดาษกรองที่มี

ขนาด 200 MESH หรือเท่ากับ 74 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.2 ผงกราฟีนออกไซด์ที่ถูกบดจนละเอียดแล้วจึงนำไปกรอง

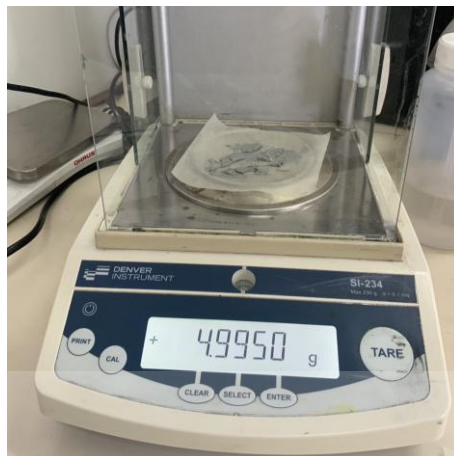
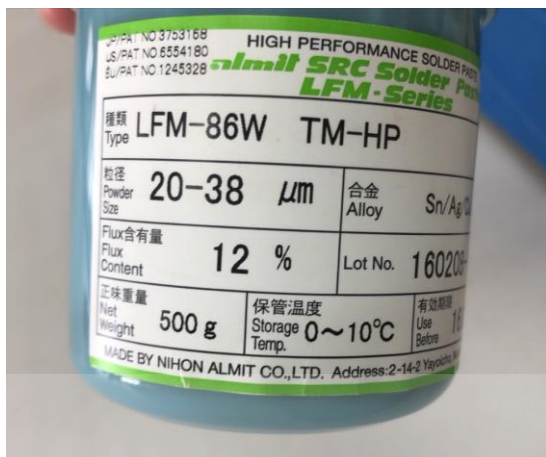
3. ต่อจากนั้นนำสารเชื่อมประสานและผงกราฟีนที่ได้มาซึ่งน้ำหนักโดยการใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.3.3 ตามอัตราส่วนที่คำนวณความเข้มข้นไว้ ตามตารางที่ 3.3.1 โดยคำนวณจากสมการที่ 3.1

$$(3.1) \quad WT\% = \frac{\text{น้ำหนักของกราฟีนออกไซด์}}{\text{น้ำหนักของกราฟีนออกไซด์} + \text{สารเชื่อมประสาน}} \times 100\%$$

ตารางที่ 3.2.1 ความเข้มข้นสารสามารถคำนวณได้โดยการใช้สมการ

WT%	กราฟีนออกไซด์(กรัม)	สารเชื่อมประสาน (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)
0.00%	0.0000	5.000	5.000
0.05%	0.0025	4.9975	5.000
0.10%	0.0050	4.9950	5.000
0.20%	0.0100	4.9900	5.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.3 สารเชื่อมประสาน SAC (SnAgCu) ในอัตราส่วน 1:1:1

4. นำสารเชื่อมประสานและผงกราฟีนออกไซด์ที่เตรียมแล้วมาควนให้เข้ากัน (stirring) เป็นเวลา 30 นาที จะได้สารเชื่อมประสานผสมกราฟีนออกไซด์ที่มีความเข้มข้นตามน้ำหนัก เป็น 0.00% , 0.05% , 0.10% และ 0.20%

3.4 การศึกษาคุณสมบัติของสารด้วยดิจิตอลไฮโลกราฟี

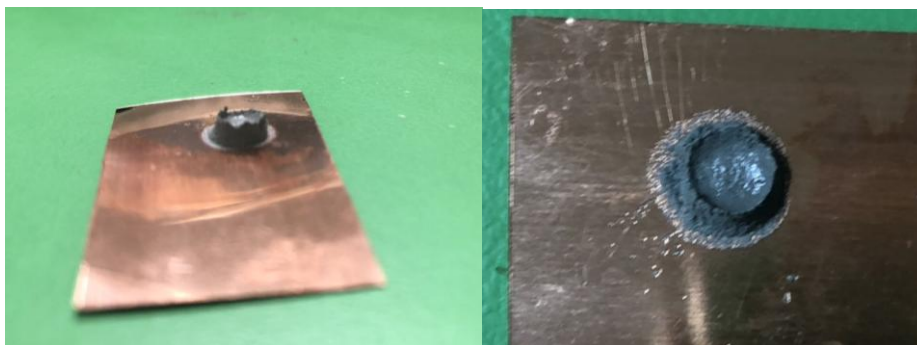
3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- Hot plate 1,500 W
- แอลกอฮอล์ 70%
- แผ่นทองแดง
- แม่พิมพ์อลูมิเนียมทรงกระบอกขนาด 1.5*5.5 mm

3.4.2 ขั้นตอนในการทดลอง

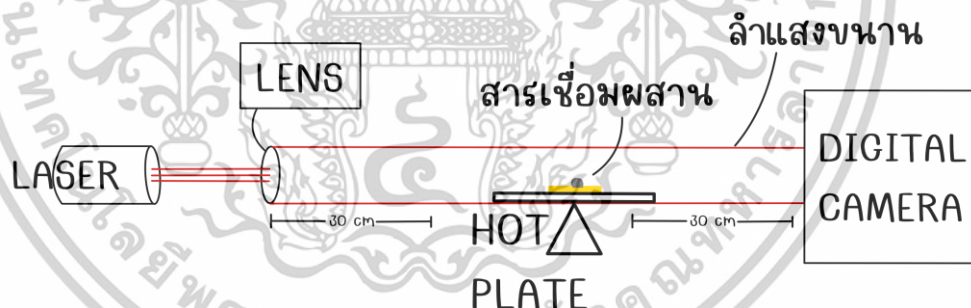
1. เตรียมแผ่นทองแดงขนาด 1 X 4 นิ้ว นำมาทำความสะอาดให้ทั่วทั้งแผ่นทองแดง โดยใช้แอลกอฮอล์ 70% เพื่อขจัดคราบไขมันบนผิวแผ่นทองแดง
2. นำสารเชื่อมประสานที่ผสมกราฟีนออกไซด์ที่มีความเข้มข้นตามน้ำหนักเป็น 0.00% , 0.05% , 0.10% และ 0.20% มาขึ้นรูปโดยการใส่แม่พิมพ์อลูมิเนียมช่วยในการขึ้นรูป ให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีขนาดกว้าง 1.5 มิลลิเมตร และสูง 5.5 มิลลิเมตร ลงบนแผ่นทองแดง ที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 3.4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4.1 สารเชื่อมประสานที่ผสมกราฟีนออกไซด์ที่ถูกขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์อลูมิเนียม

3. หลังจากขึ้นรูปเสร็จแล้วนำสารเชื่อมประสานที่ได้ตามน้ำหนักที่ต้องการไปหลอมบนเตาความร้อน (Hot plate 1,500 W) ที่อุณหภูมิ 250 ± 5 °C เป็นเวลา 30 วินาที
4. ระหว่างการหลอมของสารเชื่อมประสานนั้น จะทำการถ่ายภาพโฮโลกราฟีของสารเชื่อมประสานผ่านระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ (In-line Holography) ชนิดกาเบอร์โฮโลกราฟี (Gabor Holography) โดยทำการวางเตาให้ความร้อนไว้ในระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ โดยวางเตาให้ความร้อนไว้ระหว่างเลนส์กับกล้องดิจิทัล ซึ่งจะต้องวางเตาให้ความร้อนอยู่ห่างจากอุปกรณ์ทั้งสองเป็นระยะ 30 เซนติเมตร เพื่อป้องกันความร้อนที่จะทำให้อุปกรณ์ทั้งสองเกิดความเสียหาย



รูปที่ 3.4.2 ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ในกระบวนการทดลอง

5. ถ่ายภาพโฮโลกราฟี ณ เวลาที่ 0 , 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 วินาที ในขณะที่เตาให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 250 ± 5 °C
6. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Reconstruction) และนำภาพที่ผ่านการสร้างใหม่ มาทำการวัดหามุมสัมพันธ์ของสารเชื่อมผสานเพื่อศึกษาคุณสมบัติการแผ่ของสารเชื่อมผสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

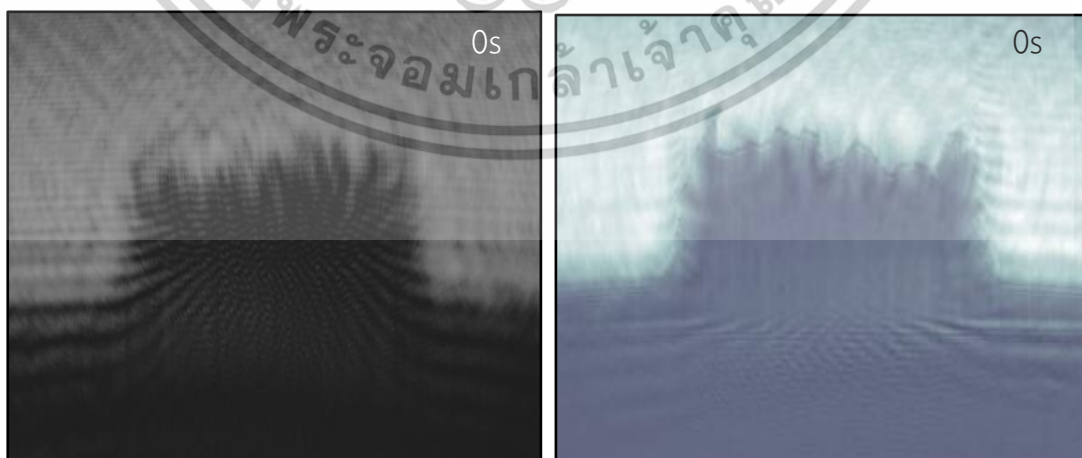
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

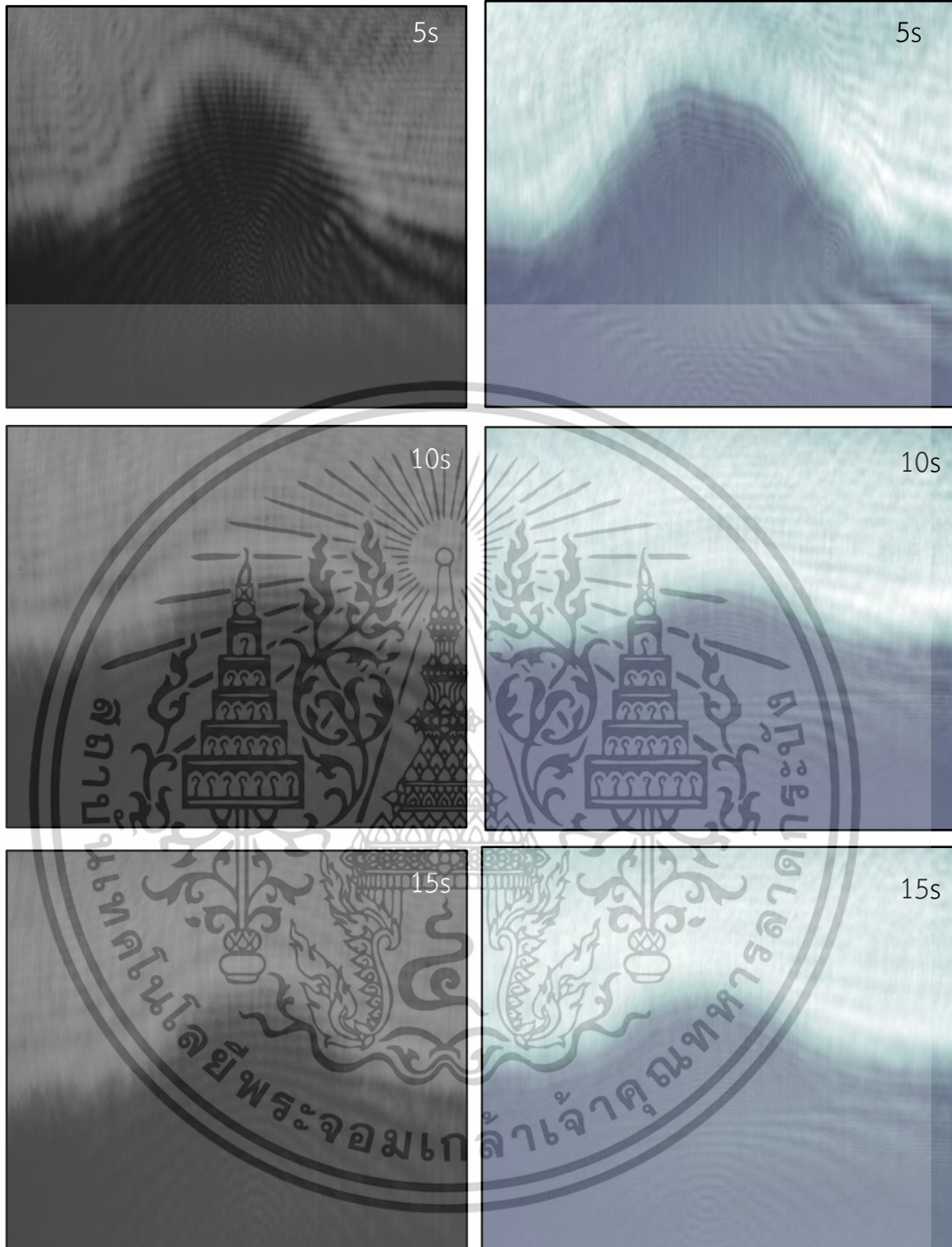
จากการทดลองของสารเชื่อมประสาน SnAgCu ในอัตราส่วน 1:1:1 โดยผสมกับกราฟีนออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.00%, 0.05%, 0.10%, และ 0.20% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่สามารถเห็น การเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนและเหมาะสม โดยใช้หลักการดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์สำหรับ ตรวจสอบคุณสมบัติทางแสงของสารเชื่อมประสานเมื่อมีการผสมกราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่ แตกต่างกันเพื่อใช้ในการตรวจมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอม และวิเคราะห์หาสูตรที่ เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้และมีความปลอดภัยในการใช้งาน

4.1 ผลจากการศึกษาสารเชื่อมประสานระหว่างหลอม

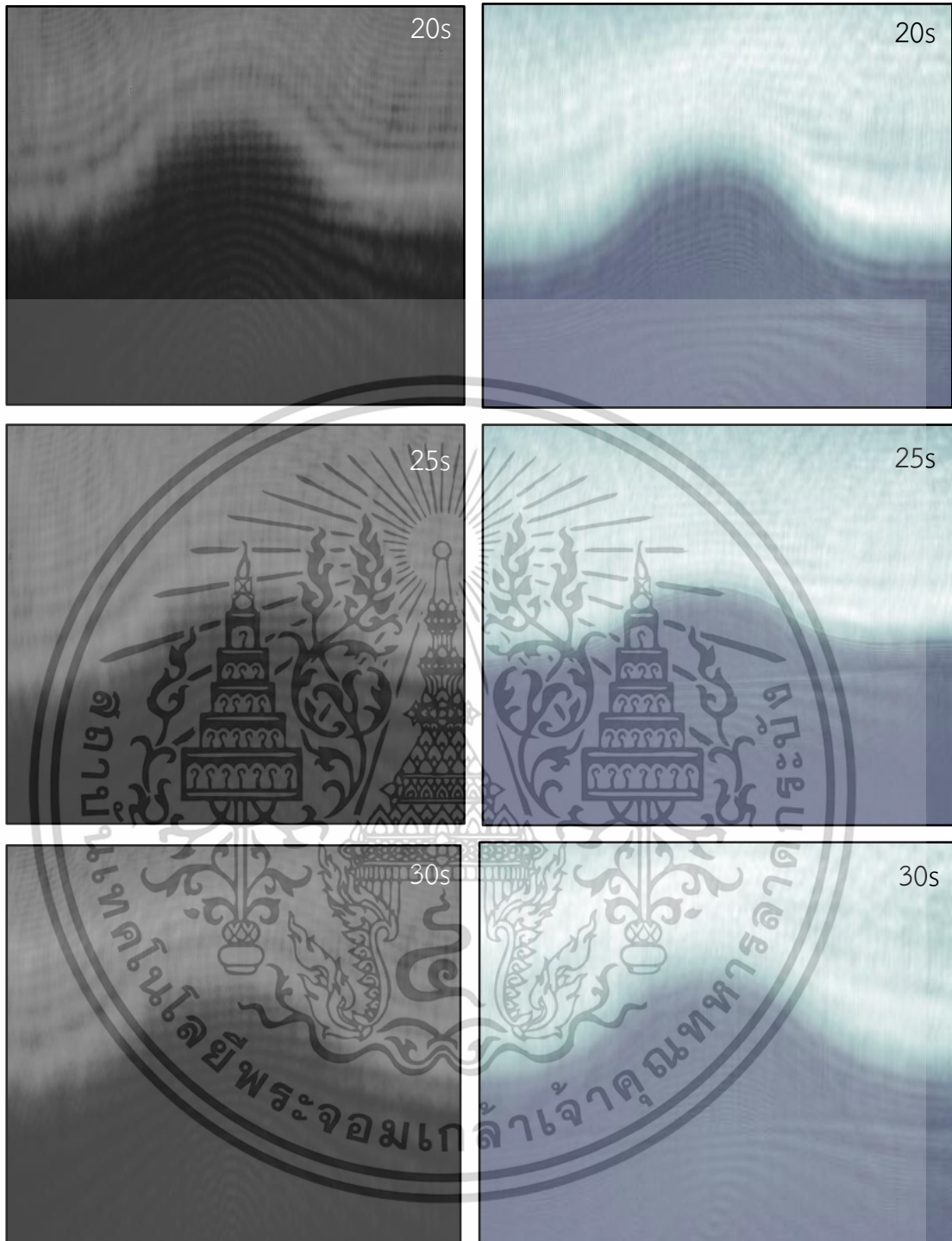
ในการทดลองสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมโดยใช้เตาหลอม (Hot plate 1,500 W) ที่อุณหภูมิ 250 ± 5 °C เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหลอมเป็นเวลา 30 วินาที ซึ่งสารจะเริ่ม หลอมเหลวจนสิ้นสุดในช่วงเวลานี้ เป็นช่วงที่สารมีการเปลี่ยนแปลงชัดเจน ระหว่างการหลอมของสาร เชื่อมประสานนั้น จะทำการถ่ายภาพโฮโลกราฟีของสารเชื่อมประสานผ่านระบบดิจิทัลโฮโลกราฟี แบบอินไลน์ (In-line Holography) ชนิดกาเบอร์โฮโลกราฟี (Gabor Holography) โดยทำการวาง เตาให้ความร้อนไว้ในระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ โดยวางเตาให้ความร้อนไว้ระหว่างเลนส์กับ กล้องดิจิทัล ซึ่งจะต้องวางเตาให้ความร้อนอยู่ห่างจากอุปกรณ์ทั้งสองเป็นระยะ 30 เซนติเมตร เพื่อ ป้องกันความร้อนที่จะทำให้อุปกรณ์ทั้งสองเกิดความเสียหาย และนำรูปที่ได้จากการถ่ายภาพเพื่อใช้ ในการหามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานโดยใช้การรีคอนสตรัคชัน โดยมีรูปดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

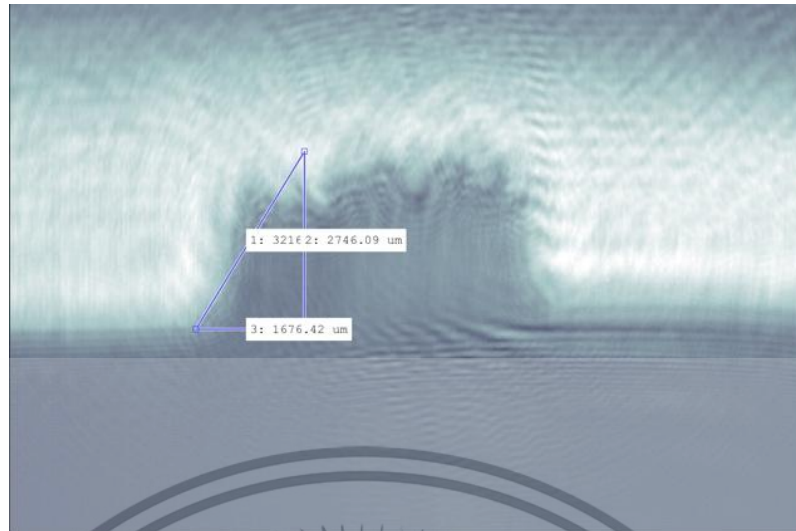


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างภาพถ่ายดิจิทัลโฮโลกราฟี (ซ้าย) ภาพจากการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรัคชัน (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

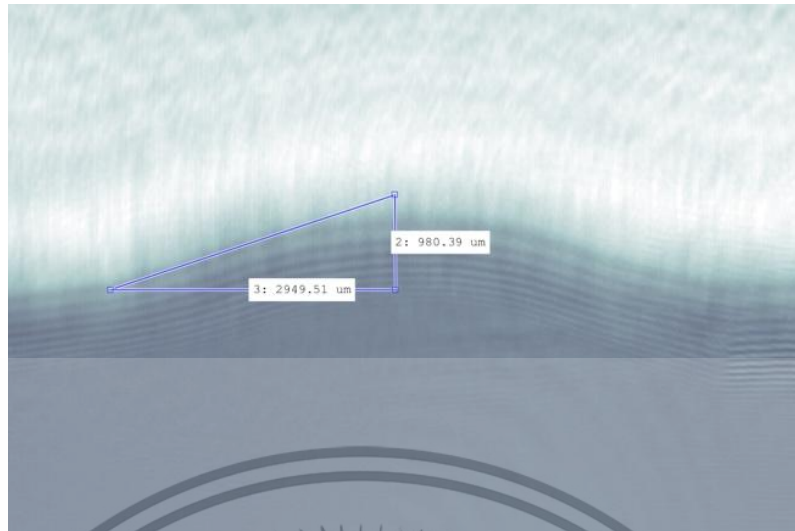


รูปที่ 4.2 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรักชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 0 วินาที



รูปที่ 4.3 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรักชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

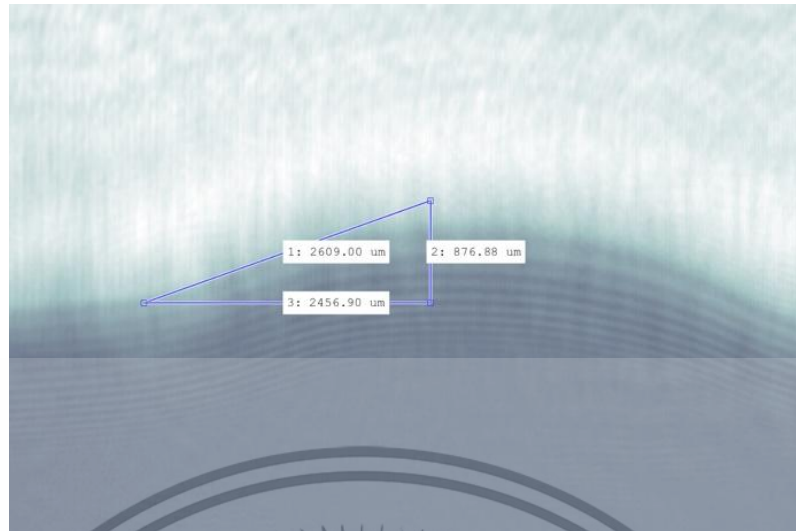


รูปที่ 4.4 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรักชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 10 วินาที



รูปที่ 4.5 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรักชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

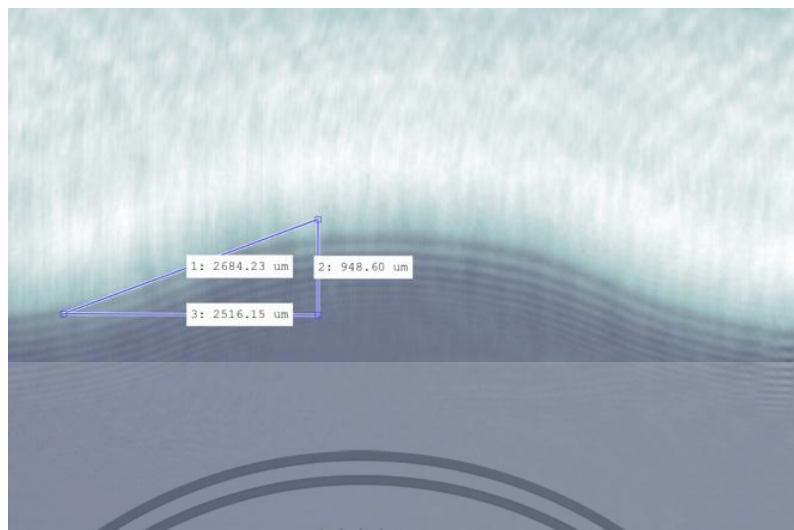


รูปที่ 4.6 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรักชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 20 วินาที



รูปที่ 4.7 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรักชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 25 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



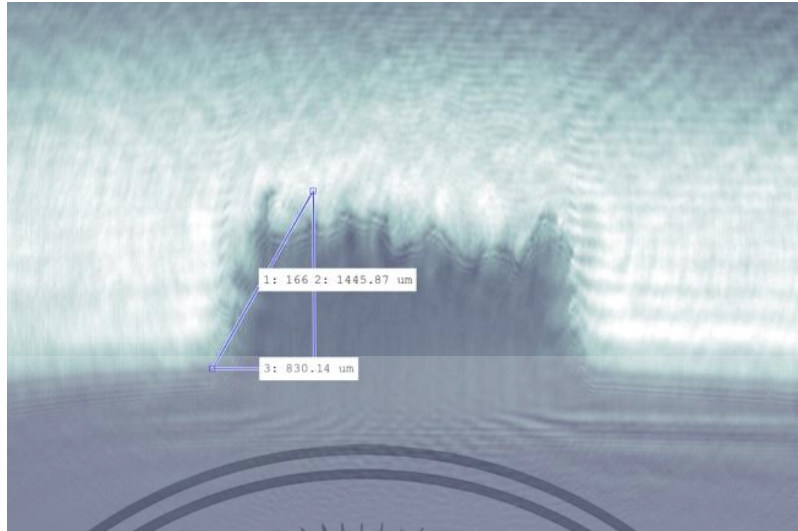
รูปที่ 4.8 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.00% ระหว่างหลอมที่เวลา 30 วินาที

จากการวิเคราะห์มุมสัมผัสระหว่างการหลอมของสารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้น 0.00% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง โดยค่าที่วัดได้แสดงตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.00% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที

เวลา (วินาที)	มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมความเข้มข้น 0.00% (องศา)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	55.87	57.03	56.45	56.45
5	23.77	21.98	29.07	24.94
10	18.97	19.71	19.25	19.31
15	17.94	21.03	18.39	19.12
20	20.76	19.86	16.50	19.04
25	17.98	19.76	17.64	18.46
30	19.77	19.56	19.83	19.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

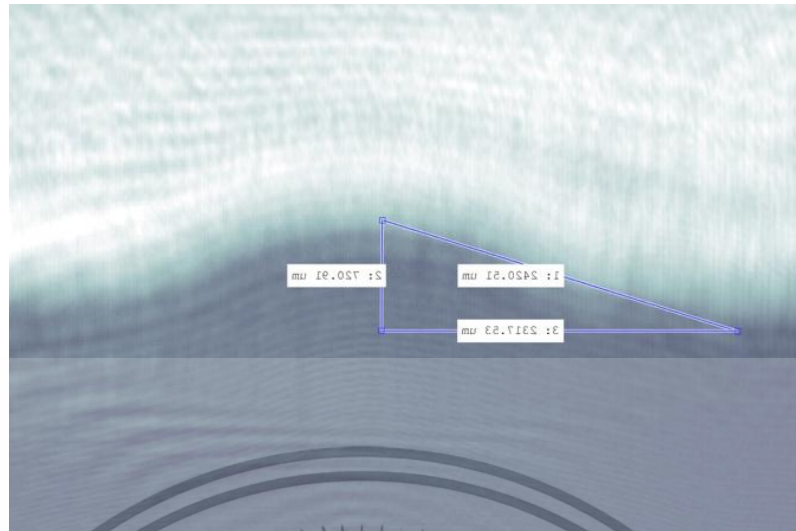


รูปที่ 4.9 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 0 วินาที

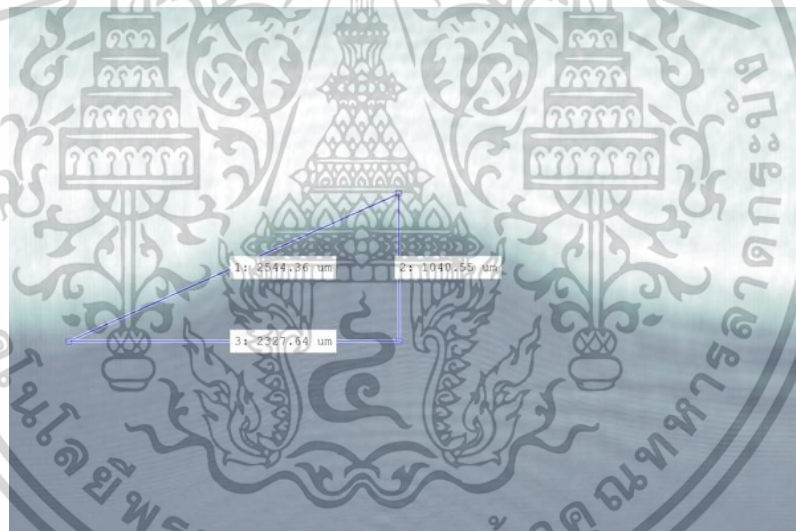


รูปที่ 4.10 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

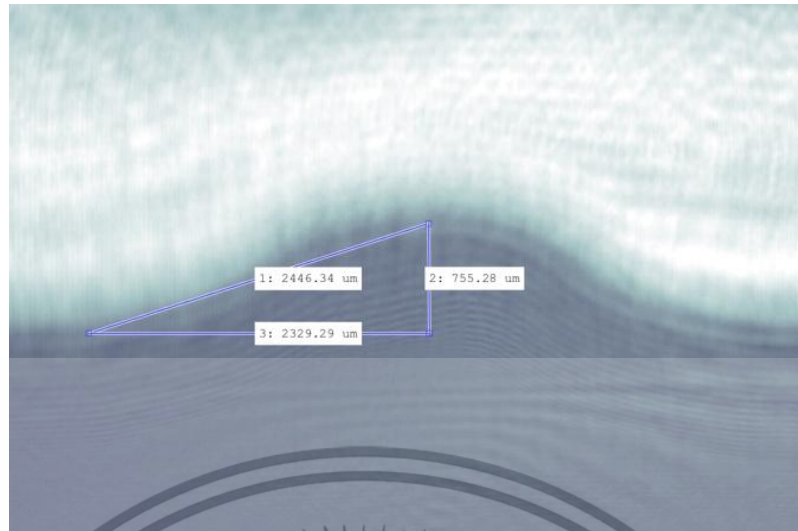


รูปที่ 4.11 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 10 วินาที

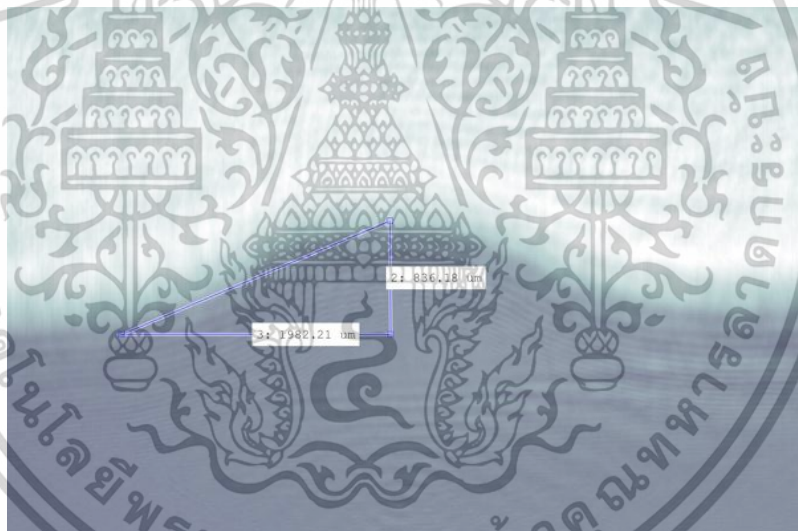


รูปที่ 4.12 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

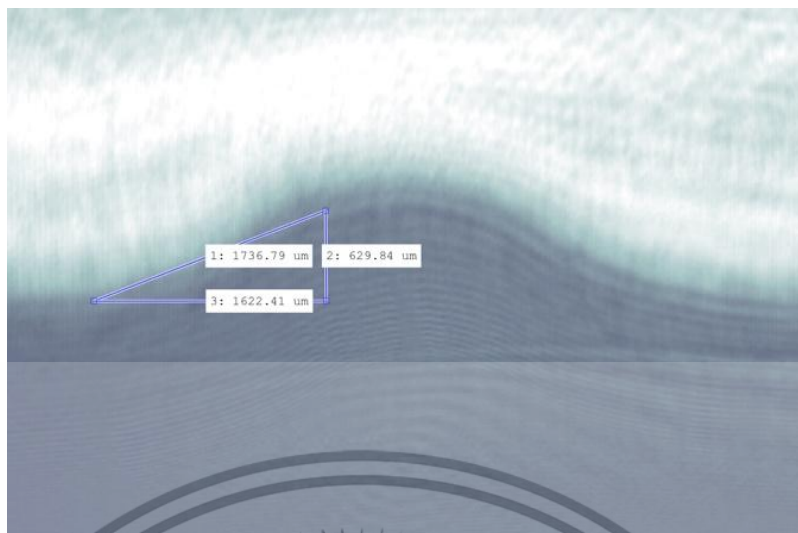


รูปที่ 4.13 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 20 วินาที



รูปที่ 4.14 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 25 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



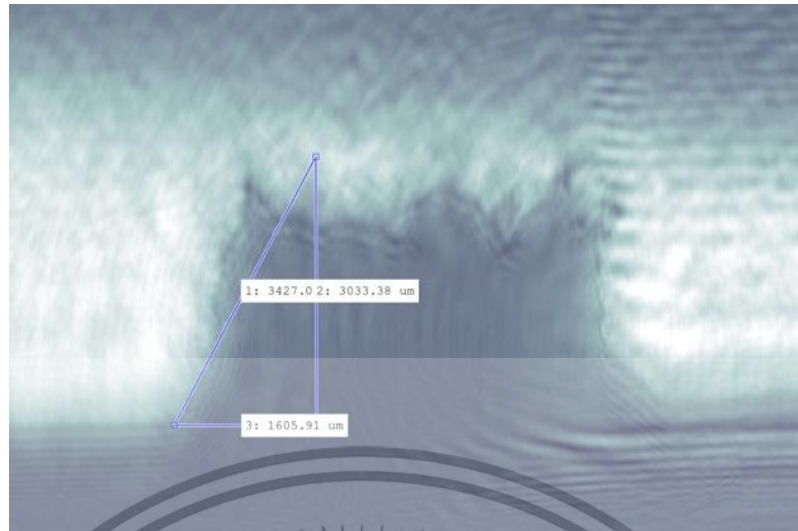
รูปที่ 4.15 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.05% ระหว่างหลอมที่เวลา 30 วินาที

จากการวิเคราะห์มุมสัมผัสระหว่างการหลอมของสารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้น 0.05% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง โดยค่าที่วัดได้แสดงตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.05% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที

เวลา (วินาที)	มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมความเข้มข้น 0.00% (องศา)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	53.69	55.86	55.24	54.93
5	48.97	47.77	47.02	47.92
10	25.87	27.02	26.61	26.50
15	16.77	18.03	15.63	16.81
20	20.06	21.46	22.17	21.23
25	21.78	22.53	21.84	22.05
30	14.85	15.89	13.33	14.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

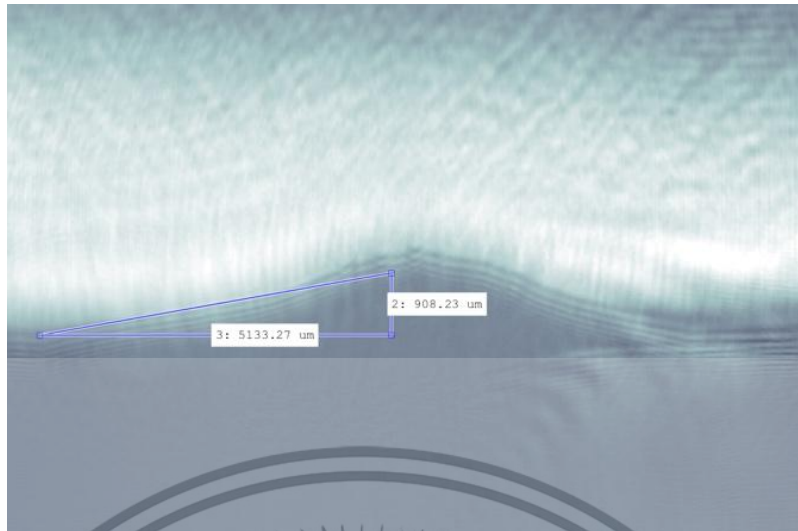


รูปที่ 4.16 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 0 วินาที



รูปที่ 4.17 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

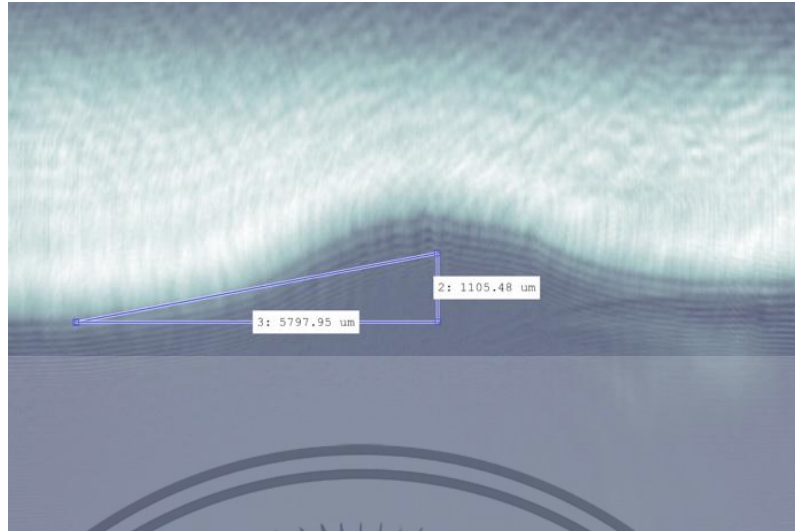


รูปที่ 4.18 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 10 วินาที



รูปที่ 4.19 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

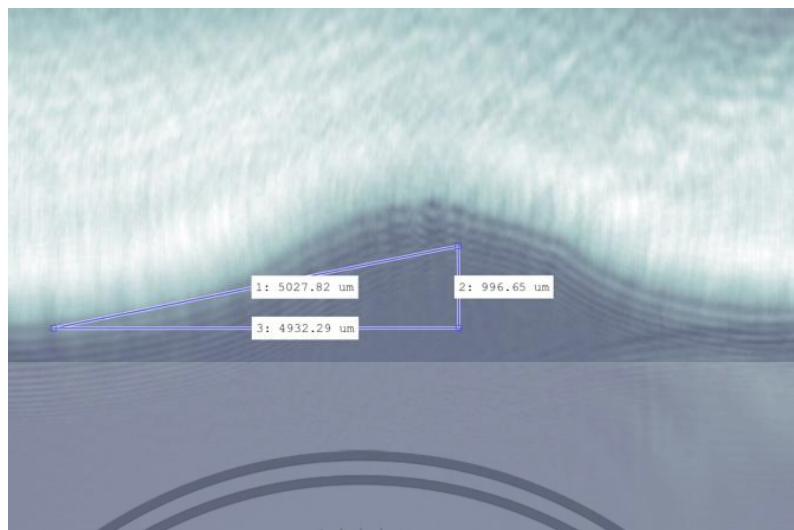


รูปที่ 4.20 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 20 วินาที



รูปที่ 4.21 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 25 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



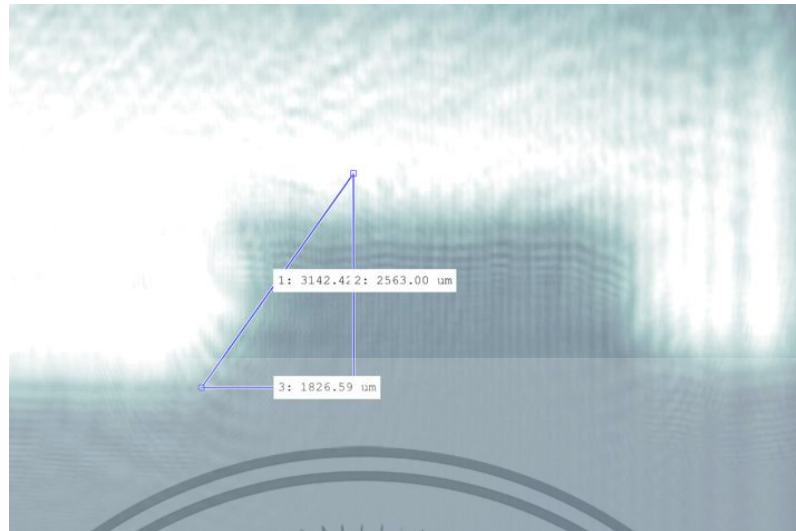
รูปที่ 4.22 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.10% ระหว่างหลอมที่เวลา 30 วินาที

จากการวิเคราะห์มุมสัมผัสระหว่างการหลอมของสารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้น 0.10% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง โดยค่าที่วัดได้แสดงตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.10% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที

เวลา (วินาที)	มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมความเข้มข้น 0.00% (องศา)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	59.32	57.98	59.04	58.78
5	37.97	38.87	40.73	39.19
10	18.86	17.12	23.06	19.68
15	23.75	22.89	23.38	23.34
20	23.89	23.97	24.14	24.00
25	24.37	24.67	20.11	23.05
30	24.76	24.86	25.44	25.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

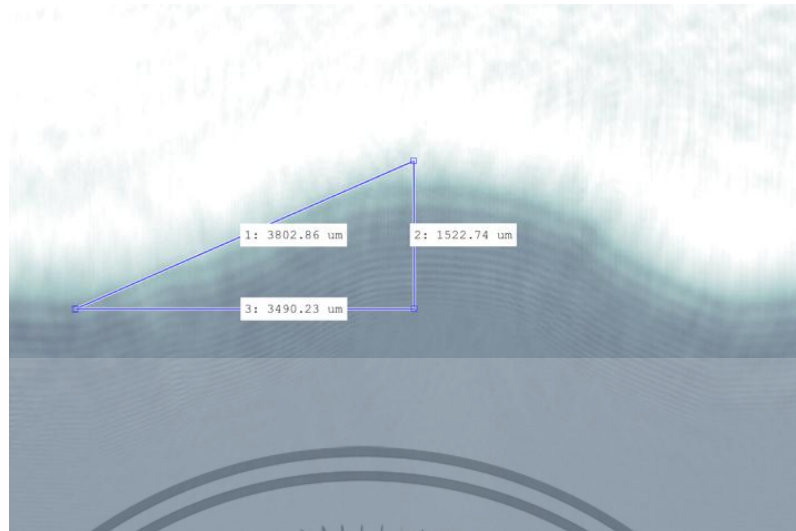


รูปที่ 4.23 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 0 วินาที



รูปที่ 4.24 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

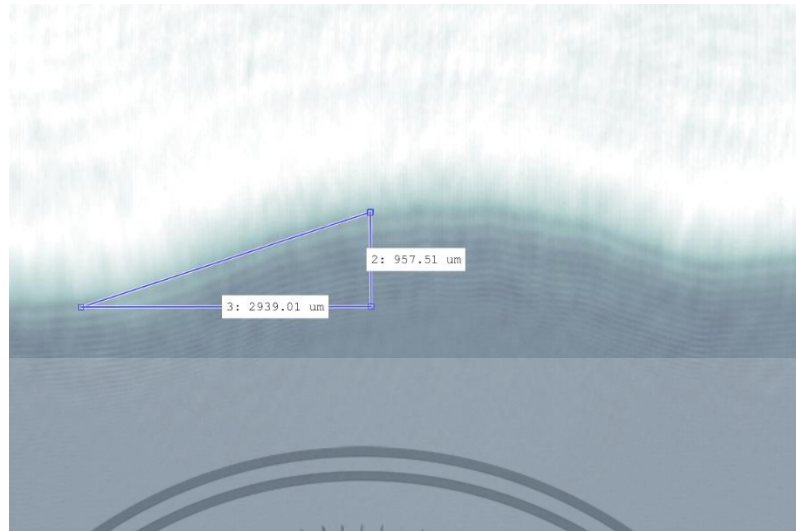


รูปที่ 4.25 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 10 วินาที



รูปที่ 4.26 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

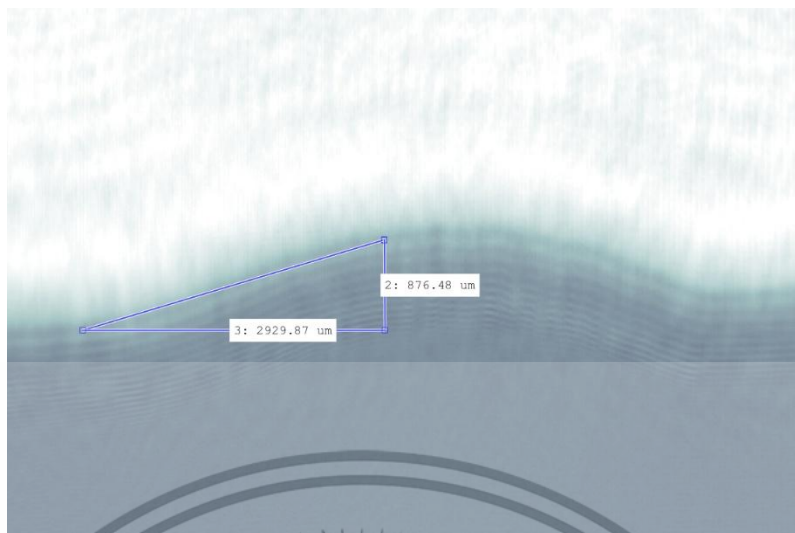


รูปที่ 4.27 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 20 วินาที



รูปที่ 4.28 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มชั้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 25 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่จากการรีคอนสตรัคชันของตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.20% ระหว่างหลอมที่เวลา 30 วินาที

จากการวิเคราะห์มุมสัมผัสระหว่างการหลอมของสารเชื่อมประสานที่ความเข้มข้น 0.20% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง โดยค่าที่วัดได้แสดงตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.20% ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที

เวลา (วินาที)	มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมความเข้มข้น 0.00% (องศา)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	48.92	53.87	56.66	53.15
5	31.72	29.88	28.97	30.19
10	14.12	11.37	16.33	13.94
15	16.74	14.11	14.24	15.03
20	13.72	15.01	15.19	14.64
25	13.41	15.23	13.87	14.17
30	13.88	15.87	16.36	15.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาค่าความเข้มข้นของสารเชื่อมประสานกับกราฟีนออกไซด์ (GO) ที่เหมาะสม โดยวิธีการสังเกตแรงดึงผิวของสารเชื่อมประสานทางผู้วิจัยได้นำหลักการของโฮโลแกรมเข้ามาช่วย เนื่องจากดิจิทัลโฮโลแกรม (Digital Hologram) เป็นระบบที่มีความสามารถในการตรวจสอบ โดยภาพของโฮโลแกรมใช้หลักการสร้างภาพด้วยการฉายแสงไปที่วัตถุซึ่งจะเกิดแสงที่เกิดการสะท้อนจากวัตถุและแสงอ้างอิงมาแทรกสอด (Interference) กัน แสงทั้งสองจะถูกบันทึกไว้บนกล้องดิจิทัลเพื่อสังเกตความหนาแน่นของฟลักซ์ของสารเชื่อมประสาน และหามุมสัมพัทธ์ระหว่างสารเชื่อมประสานที่ผสมกราฟีนออกไซด์ (GO) กับแผ่นทองแดงที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์หาสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้และมีความปลอดภัยในการใช้งาน

ผลการทดลองที่ได้จากการผสมกราฟีนออกไซด์ (GO) ความเข้มข้น 0.00%, 0.05%, 0.10% และ 0.20% ในสารเชื่อมประสานที่ไร้สารตะกั่วที่ประกอบด้วย SnAgCu (SAC) เมื่อทำการหลอมแล้วนำไปถ่ายภาพด้วยดิจิทัลโฮโลกราฟีหลังจากนั้นนำภาพที่ได้ไปทำการรีคอนสตรัคชัน พบว่าภาพที่ได้มีความคมชัดและสามารถตรวจสอบสมบัติของสารเชื่อมประสานได้เป็นอย่างดี ซึ่งวิธีการตรวจวัดด้วยดิจิทัลโฮโลกราฟีเป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการตรวจวัดสมบัติของสารเชื่อมประสาน ที่สามารถตรวจวัดความหนาแน่นของฟลักซ์ได้

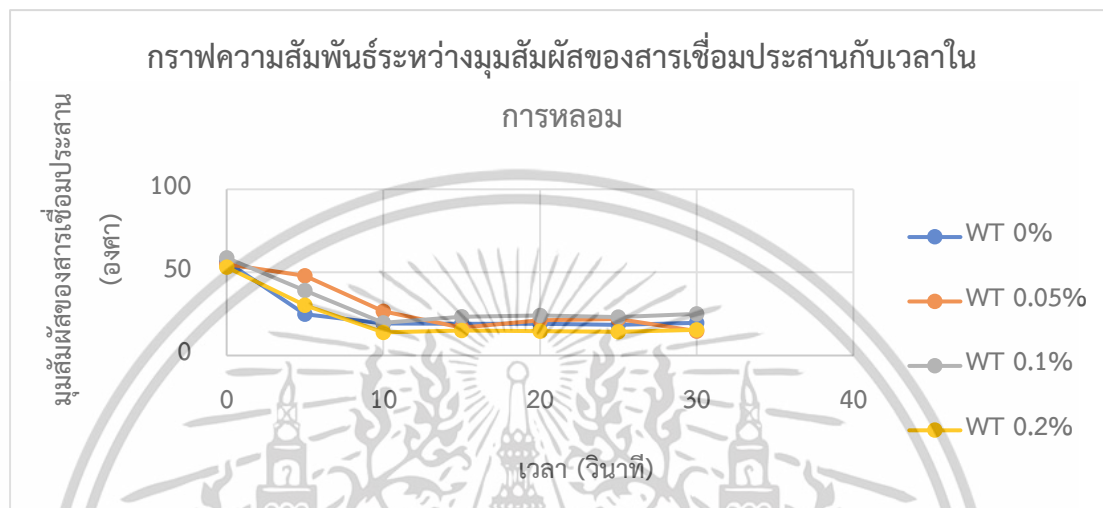
โดยการตรวจวัดสมบัติมุมสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม กราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 0.00%, 0.05%, 0.10% และ 0.20% พบว่าที่ความเข้มข้น 0.00% ซึ่งได้เป็นค่ามาตรฐานในการทดลองได้ค่ามุมสัมพัทธ์เฉลี่ยเป็น 19.72 องศา ที่ความเข้มข้น 0.10% ได้ค่ามุมสัมพัทธ์เฉลี่ยเป็น 25.02 องศา ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าของความเข้มข้น 0.00% จึงเป็นสารเชื่อมประสานที่มีการแผ่ได้ไม่ดี ที่ความเข้มข้น 0.05% ได้ค่ามุมสัมพัทธ์เฉลี่ยเป็น 14.69 องศา และ ที่ความเข้มข้น 0.20% ได้ค่ามุมสัมพัทธ์เฉลี่ยเป็น 15.37 องศา ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าของความเข้มข้น 0.00% จึงเป็นสารเชื่อมประสานที่มีการแผ่ได้ดีกว่าแบบที่ผสม 0.00%

ดังนั้นจึงสรุปว่าผลการทดลองที่ได้จากการศึกษามุมสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้นของกราฟีนออกไซด์ 0.00%, 0.05%, 0.10% และ 0.20% โดยวิธีการถ่ายภาพดิจิทัลโฮโลกราฟีของสารเชื่อมประสานที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที เมื่อนำค่าที่ได้ทำการหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสานกับเวลาในการหลอมพบว่า เส้นกราฟเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของสารเชื่อมประสาน

ผสมกราฟีนออกไซด์ที่ 0.00%, 0.10% และ 0.20% มีมุมสัมพัทธ์ที่เรียบ แสดงว่าสารเชื่อมประสานที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมกราฟีนมีการนำความร้อนที่เสถียร เมื่อเราผสมกราฟีนออกไซด์ที่มีน้ำหนักเป็นเปอร์เซ็นต์ (%wt) เข้าด้วยกันน้อยลง เมื่อน้ำหนักเป็นเปอร์เซ็นต์ 0.05% กราฟีนออกไซด์ที่มีการกระจายตัวน้อยลงจะส่งผลต่อการนำความร้อนของสารบัดกรีได้ไม่ดี เมื่อสารเชื่อมประสานหลอมละลาย เส้นกราฟจะไม่เรียบ



รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานกับเวลาในการหลอม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการเตรียมสาร SAC ต้องทำให้เข้ากันด้วยเครื่อง Stirrer ก่อนจึงสามารถนำมาผสมกับกราฟีนออกไซด์ได้ เพราะหากสารเชื่อมประสานไม่เข้ากันจะทำให้เกิดการแยกชั้นของฟลักซ์
2. ในการใช้เตาหลอมต้องระวังเรื่องการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกินอุณหภูมิที่ใช้
3. แผ่นทองแดงที่ใช้เป็นฐานใส่สารระหว่างหลอม หากเล็กเกินไปอาจจะทำให้รูปทรงเสียเมื่อโดนความร้อนได้ ส่งผลให้ตอนถ่ายรูป องศาอาจจะไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Schnee, “Principles of Brazing and Soldering”, Technical Materials BrazeTec.
- [2]. A. T. Smith, A. M. LaChance, “Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites”, Nano Materials Science, 1(1), 2019, 31-47.
- [3]. P.Birch, R.Young,D.Budgett,et.al. “Computer-generated complex filter for an all optical and a digital–optical hybrid correlator”, Opt. Eng., 41, 2002, 105-111.
- [4] U.Schnars and W. Jueptner, “Digital holograms: digital hologram recording, numerical reconstruction, and related technique”, Springer, Berlin, 2005.
- [5]. J. P. Fugal, T. J. Schulz, and R. A. Shaw, “Practical methods for automated reconstruction and characterization of particles in digital inline holograms”, Meas. Sci. Technol. 20(7), 2009, 075501.
- [6]. M. K. Kim, “Principles and techniques of digital holographic microscopy”, Journal of Photonics for Energy, 018005, 2010.
- [7]. M. K. Kim, “Digital Holographic Microscopy”, Springer, 2011.
- [8]. S. Plaipichitb, and P. Buranasiri, “Moisture effect of fingerprint using total internal reflection digital in-line holography”, Optical Engineering ,53(11), 2014, 112315-1 - 112315-5.
- [9]. T. Thong-on, T. Prakobsang, W. Pedsantad,, C. Boonsri, S. Plaipichit, P. Buranasiri, and K.Yoshimori, “The investigation of thermal effect on dynamical shape changing of solder paste by using double-view Digital holography”, Proc. of SPIE ,9659, 2015, 965912-1-965912-6.
- [10]. C. Boonsri, and P. buranasiri, “Quality investigation of surface mount technology using phase-shifting digital holography”, Proc. of SPIE , 9970, 2016, 99700A-1-99700A-6.
- [11]. M. F. Arenas, V. L. Acoff, “Contact angle measurements of Sn-Ag and Sn-Cu lead-free solders on copper substrates”, J. Electron.Mater, 33(12), 2004, 1452–1458.
- [12]. V. Vuorinen, T. Laurila, H. Yu, J.K. Kivilahti, “Phase formation between lead-free Sn–Ag–Cu solder and Ni(P)/Au finishes”, J. Appl. Phys. 99(2), 2006, 023530.
- [13]. S. Amore, E. Ricci, G. Borzone, R. Novakovic, “Wetting behavior of lead-free Sn-based alloys on Cu and Ni substrates”, Mater. Sci. Eng. A, 495(1–2), 2008, 108–112.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14]. S. Chantaramanee, P. Sungkhaphaitoon, “The Study of Wettability and Microstructure for SAC305 and SAC305-0.5In Lead-Free Solders on Copper Substrate, Thai Industrial Engineering Network Journal”, 4(1), 2017, 42-51.
- [15]. S. Chantaramanee, P. Sungkhaphaitoon, “Effects of Indium for Thickness of Intermetallic Compound Layer of The Sn-3.0Ag-0.5Cu-0.5In Lead-free Solder Alloys on The Copper Substrate”, Thai Industrial Engineering Network Journal, 26(2), 2018, 37-46.
- [16]. T. Prakobsang, S. Plaipichitb, K. Kanlayasiri, and P. Buranasiri, “The Property Investigation of Solder Mixed with Thermoelectrics AlZnO by using Digital Holography, IEEE International Symposium on Industrial Electronics”, 2018, pp. 1365-1368.
- [17]. Ke Xu, J. Zhang, X. Hao, “Wetting Properties of Defective Graphene Oxide: A Molecular Simulation Study”, *Molecules*, 23(6), 2018.
- [18]. M. Wikatsama, N. Somdock, C. Boonsri, “Contact Angle Measurement of Melting SnAgCu Solder Paste Mix with Carbon Allotropes Using In-Line Digital Holography Technique”, *Key Engineering Materials*, 2021, 904, 369-374.
- [19]. M. M. Zamani Asl, C. A. Dorao, “Digital holographic microscopy for measurement of instantaneous contact angle of an evaporating droplet”, *Experiments in Fluids*, 2023, 64, pp.152.
- [20]. Y. Li, S. Yu, L. Li, “A Review on the Development of Adding Graphene to Sn-Based Lead-Free Solder”, *Metals*, 2023, 13(7), 1209.

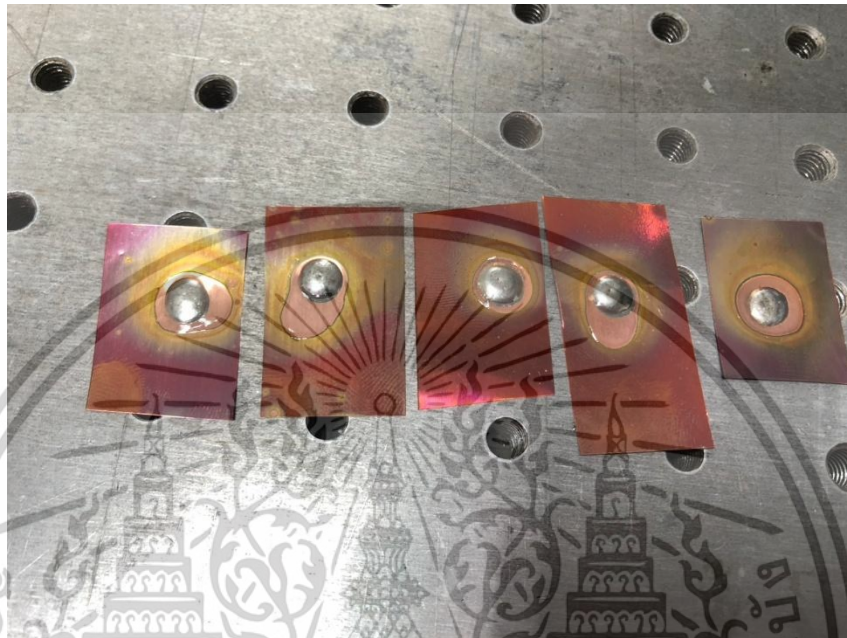


ภาคผนวก

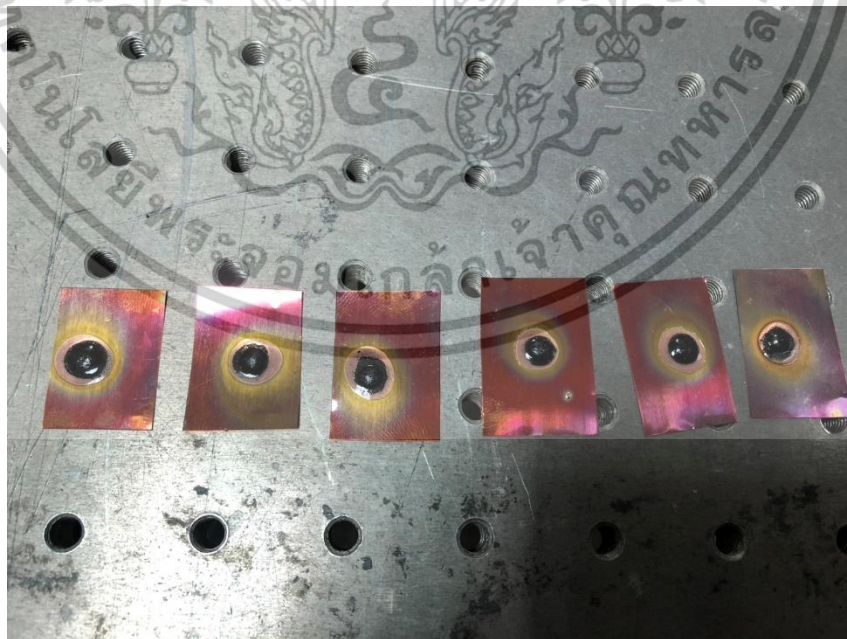
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ข้อมูลส่วนที่ 1 การศึกษาผลการทดลอง



รูปที่ 1 หลังหลอมเสร็จแบบไม่ผสมกราฟีนออกไซด์



รูปที่ 2 หลังหลอมเสร็จแบบผสมกราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 กราฟีนออกไซด์ที่เป็นของเหลวไม่สามารถใช้ผสมสารเชื่อมประสานได้เพราะจะทำให้สารเชื่อมประสานจับตัวกันเป็นก้อนแข็ง และกราฟีนออกไซด์จะไม่ผสมกับสารเชื่อมประสาน จึงต้องทำให้เป็นผงก่อน



รูปที่ 4 เมื่อความเข้มข้นมากกว่า 0.2% กราฟีนออกไซด์จะเข้มข้นเกินไป เมื่อหลอมแล้วสารเชื่อมประสานจะแข็ง เปราะ แตกหักง่ายเหมือนถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Investigation of Contact Angles of SnAgCu Solder Paste Mixed with Graphene Oxide Using Digital Holography Technique

Kavira Jongjnakool
Physics Department, Faculty of Science
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
61605084@kmitl.ac.th

Tawipon Prakobsang
Physics Department, Faculty of Science
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
61605014@kmitl.ac.th

Suwan Plaipichit
Physics Department, Faculty of Science
Srinakharinwirot University
Bangkok, Thailand
suwanp@g.svu.ac.th

Kannachai Kanlayasiri
Industrial Engineering Department,
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
kannachai.ka@kmitl.ac.th
line 4: City, Country
line 5: email address or ORCID

Mettaya Kitiwan
Physics Department, and Electronic
and Optoelectronic Device Research
Unit, Faculty of Science
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
mettaya.ki@kmitl.ac.th

Prathan Buranasiri
Physics Department, and Electronic
and Optoelectronic Device Research
Unit, Faculty of Science
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
*prathan.bu@kmitl.ac.th

Abstract—Since lead is a pollutant to the environment, therefore lead-free solder paste compounds have been interested in many research teams. The objective of this research is the investigation properties of solder paste with graphene oxide and reduced graphene oxide. In our experimental method the solder pastes of SnAgCu mixed with graphene oxide with bad electrical conductivity at different concentration by weight of 0.00%, 0.05 %, 0.1% and 0.2% respectively. Subsequently, the shape changes of the compounds have been investigated by using digital in-line holography using laser diode wavelength 635 nm as the light source. The solder paste compounds were melted at $250 \pm 5^\circ\text{C}$ and were recorded for every 5 seconds. Then, the contact angles of the melted solder paste compound have been determined using their digital holographic reconstructed images.

Keywords—: SnAgCu, graphene oxide, reduced graphene oxide, digital holography, solder paste, contact angle

I. INTRODUCTION

Digital holography (DH) is a tool for nondestructive testing for investigating phenomena in physics, biology, chemistry and many engineering fields. Here, the experimental set-up of DH is used an interferometer of a reference path and object path with a digital camera for recording [1-2] and a laser diode for its light source. DH systems are a low cost for experimental set due to using a few optical elements, digital camera, lasers, and mirrors. When recorded holographic images from a digital camera are reconstructed by numerical diffraction computer software, amplitude and phase of those images are analyzed [3-6].

The solder paste is a compound of the metal is used for interconnected welding of electronic components on printed circuit boards (PCB). In the recent years, the electronic industry is moving towards to very small size of products electronically. The soldering process consists in the formation of a good joint between the molten solder and the PCB. Thus, the ability of the molten solder to spread on the copper substrate is important for the formation of a proper metallic

bond. Here, the extent of wetting is measured by the degree and rate of wetting. The degree of wetting is shown by the contact angle that is formed at the interface between the surface and the soldering liquid. It is optimized by the value of the contact angle: $0^\circ < \theta < 30^\circ$ is very good, $30^\circ < \theta < 40^\circ$ is good, $40^\circ < \theta < 55^\circ$ is acceptable, $55^\circ < \theta < 70^\circ$ is poor, and $> 70^\circ$ is very poor [6-9].

In this research graphene oxide, an allotrope of carbon consisted of a single layer of graphite oxide, due to very excellence properties, such as extraordinary, electrical, thermal, and physical properties [4] was mixed to the solder paste of SnAgCu was investigated for using in a connection between electronic element junction.

II. EXPERIMENTAL METHODS

A. Materials

In this experiment dried graphene oxide from suspension were mixed in solder paste SAC305 lead-free alloy Sn-3 % Ag-0.5 % Cu (wt%) with 0.05%, 0.10% and 0.20% concentration by weight as following equation.

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

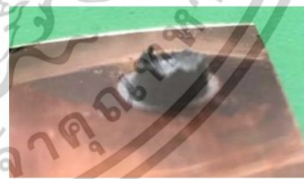


Fig 1. A completely solder paste with a copper plate.

The solder paste was put into a cylinder block radius 2.75 mm and height 1.5 mm, shown in figure 1, then, the solder was heated by hot plate with temperatures of 250 ± 5 °C for 30 seconds and captured solder paste's images by in-line digital holography, during melting every 5 seconds.

B. Digital Holography

The experimental setup of an in-line digital holography system was shown in Figure 2. A laser diode wavelength at 632 nm and digital camera (Canon 70D) CMOS sensor size of 22.5 x 15 mm (CMOS: complementary metal-oxide semiconductor) was used as the light source and detector respectively and a lens L1 (L1 focal length 150 mm) was used for collimating laser beam at the size larger than our samples.



Fig 2. The experimental setup of in-line digital holography system

By using Huygens-Fresnel numerical reconstruction, the diffraction path of the hologram plane can be as following equation.

$$h(x, y) = \frac{z}{j\lambda} \iint O(\xi, \eta) \frac{\exp(jk\rho)}{\rho^2} d\xi d\eta \quad (2)$$

here $O(\xi, \eta)$ is the optical field at the object plane which propagates along the z-direction, $\rho = [z^2 + (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2]^{\frac{1}{2}}$ and $k = 2\pi/\lambda$. Fig. 3 shown illustrated schematically the working principle of holographic numerical reconstruction.

The Hologram can be written as equation (4) by using the convolution method.

$$h(x, y) = F^{-1}\{F[O(\xi, \eta)] * F[g(\xi, \eta, x, y)]\} \quad (3)$$

And, the numerical reconstructed optical field at the image plane can be written as

$$R(\xi', \eta') = F^{-1}\{F[h(x, y)] * F[g(\xi, \eta, x, y)]\}$$

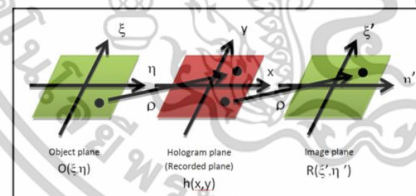


Fig. 3 Coordinating for numerical reconstruction image

The template is used to format your paper and style the text. All margins, column widths, line spaces, and text fonts are prescribed; please do not alter them. You may note

peculiarities. For example, the head margin in this template measures proportionately more than is customary. This measurement and others are deliberate, using specifications that anticipate your paper as one part of the entire proceedings, and not as an independent document. Please do not revise any of the current designations.

III. RESULTS AND DISCUSSION

In the experimental three sample sets of different percent weights (WT%) of graphene oxide mixed with solder paste SAC305 (0.05%, 0.1% and 0.2%) samples were prepared. Then, the prepared compound solder pastes SAC305 were melted by the hot plate at temperature of 250 ± 5 °C. The melting solder paste's images were captured using a digital camera during melting every 5 seconds, then recorded images were reconstructed using HOLOVIEWER [10]. The contact angles of the melting solder paste mixed with graphene oxide were investigated by using their reconstructed images as shown in Fig. 4

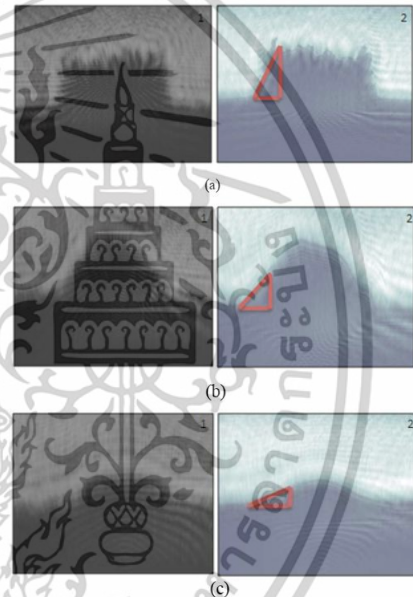


Fig.4. (1) Recorded images and (2) Reconstructed images of compounded solder paste by numerical program, measurement contact angles at time during melting. (a.) at 0 seconds. (b.) at 5 seconds. (c.) at 10 seconds.

Table 1 has shown the average contact angles of melted mixed solder paste at different time. At different graphene oxide concentration, the results have shown that the contact angles have been suddenly changed from large angle due to the block to a small angle in the beginning and then have been decreased a little bit when the time passed. The angles then have been stayed constant when the time passed by until the solder paste flux was burned.

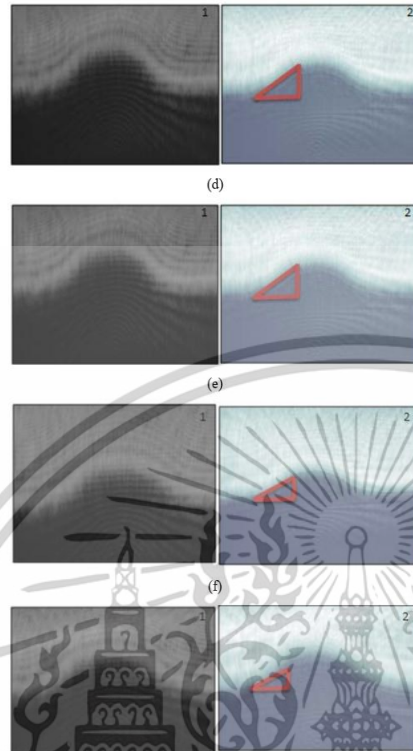


Fig.4. (1) Recorded images and (2) Reconstructed images of compounded solder paste by numerical program, measurement contact angles at time during melting. (d.) at 15 seconds. (e.) at 20 seconds. (f.) at 25 seconds. (g.) at 30 seconds.

We found that when the percent weight of the graphene oxide is 0.2% the contact angles at different time are smallest when compare with the other percent weights. The graph of average contact angles (degree) of solder paste mixed different graphene oxide percent weights (WT%) changed with time (s) is shown in the Fig. 5. The graph lines of solder paste percent weight of the graphene oxide at 0%, 0.1%, and 0.2% and contact angles are looking smooth. Because the heat conduction of the solder paste (SAC305) and graphene oxide are stable, when the mixed percent weights (WT%) of graphene oxide is increasing. However, at percent weights of 0.05%, graphene oxide less diffuse in the solder paste then the influence of heat conduction is not good. During the solder paste is melted, the graph line is not smooth at this concentration.

IV. CONCLUSION

In this research, DH was used to investigate the contact angles of solder paste SAC305 mixed with graphene oxide during melting at different times. By using some more complicated DH setup and programming, this technique in the

TABLE I The average contact angle (degree) of reconstructed image of SnAgCu solder paste with different percent weights of graphene oxide at different times.

Time(s)	WT%			
	0.00%	0.05%	0.1%	0.2%
0	56.45	44.93	58.78	53.15
5	24.94	47.92	39.19	30.19
10	19.31	26.50	19.68	13.94
15	19.12	16.81	23.34	15.03
20	19.04	21.23	24.00	14.64
25	18.46	22.05	23.05	14.17
30	19.72	14.69	25.02	15.37

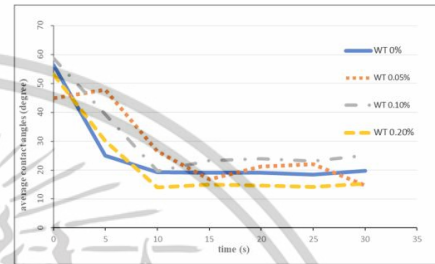


Fig.5 Graph average contact angles (degree) with time (s) of solder paste mixed different graphene oxide percent weights (WT%).

future, would be used in electronic industry since DH is compact, versatile and can be detected in real time.

V. ACKNOWLEDGMENTS

This article has been supported the reconstructed using HOLOVIEWER tool from Department of Physics, Michigan Technological University [10]. The SAC305 lead-free alloy Sn-3 % Ag-0.5 % Cu was supplied by Department of Industrial engineering, KMUTL. The Reduced Graphene Oxide was supplied by Department of Chemistry, KMUTL.

REFERENCES

- [1] U.Schnars and W. Jueptner, Digital holograms: digital hologram recording, numerical reconstruction, and related technique, Springer, Berlin, 2005.
- [2] M. K. Kim, Digital Holographic Microscopy, Springer, 2011.
- [3] C. Boonsri, and P. Buranasiri, Quality investigation of surface mount technology using phase-shifting digital holography, Proc. of SPIE Vol. 9970, 2016, pp. 99700A-1-99700A-6.
- [4] T. Thong-on, T. Prakobsang, W. Pedsantad., C. Boonsri, S. Plaipichit, P. Buranasiri, and K. Yoshimori, The investigation of thermal effect on dynamical shape changing of solder paste by using double-view Digital holography, Proc. of SPIE Vol. 9659, 2015, pp. 965912-1-965912-6
- [5] S. Plaipichitb, and P. Buranasiri, Moisture effect of fingerprint using total internal reflection digital in-line holography, Optical Engineering Volume 53, Issue 11, 2014, pp. 112315-1-112315-5.
- [6] T. Prakobsang, S. Plaipichitb, K. Kanlayasiri, and P. Buranasiri, The Property Investigation of Solder Mixed with Thermoelectrics AlZnO by using Digital Holography, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2018-June, pp. 1365-1368. R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.

2021 Second International Symposium on Instrumentation, Control, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP)

- [7] M.F. Arenas, V.L. Acoff, Contact angle measurements of Sn-Ag and Sn-Cu lead-free solders on copper substrates. *J. Electron.Mater.* 33(12), 2004, 1452–1458.
- [8] S. Amore, E. Ricci, G. Borzone, R. Novakovic, Wetting behavior of lead-free Sn-based alloys on Cu and Ni substrates. *Mater. Sci. Eng. A* 495(1–2), 2008, 108–112.
- [9] V. Vuorinen, T. Laurila, H. Yu, J.K. Kivilahti, Phase formation between lead-free Sn–Ag–Cu solder and Ni(P)/Au finishes. *J. Appl. Phys.* 99(2), 2006, 023530.
- [10] J. P. Fugal, T. J. Schulz, and R. A. Shaw, “Practical methods for automated reconstruction and characterization of particles in digital inline holograms,” *Meas. Sci. Technol.* 20(7), 2009, 075501.



Authorized licensed use limited to: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang provided by UniNet. Downloaded on July 25, 2024 at 05:20:07 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาว กวิสรา จงจินากุล
 วัน เดือน ปีเกิด 28 กันยายน พ.ศ. 2538
 ที่อยู่ปัจจุบัน 18/8 ม.1 ต.ท่ามะกา อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี 71120
 ประวัติการศึกษา (2560) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์
 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
 (2568) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์
 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
 ทุนการศึกษาที่ได้รับ -
 ผลงานทางวิชาการ 1. Investigation of contact angles of SnAgCu solder paste mixed with graphene oxide using digital holography technique

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้