

การตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมโดยใช้  
วิธีดิจิทัลโฮโลกราฟี

THE PROPERTY INVESTIGATION OF SOLDER DURING MELT BY  
USING DIGITAL HOLOGRAPHY

ทวิพล ประกอบแสง  
TAWIPON PRAKOB SANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2561

KMITL-2018-SC-M-030-040

การตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมโดยใช้  
วิธีดิจิทัลโฮโลกราฟี

THE PROPERTY INVESTIGATION OF SOLDER DURING MELT BY  
USING DIGITAL HOLOGRAPHY

ทวิพล ประกอบแสง  
TAWIPON PRAKOBsang

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2561

KMITL-2018-SC-M-030-040

THE PROPERTY INVESTIGATION OF SOLDER DURING MELT BY  
USING DIGITAL HOLOGRAPHY

TAWIPON PRAKOBANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
YEAR 2018  
KMITL-2018-SC-M-030-040



คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมโดยใช้วิธี  
ดิิจิตอลโฮโลกราฟี

The property investigation of solder during melt by using digital  
holography

ชื่อนักศึกษา

นายทวิพล ประกอบแสง

รหัสประจำตัว

59605076

ปริญญา

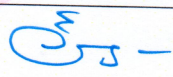

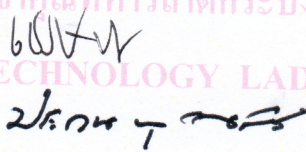
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประธาน บุรณศิริ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสีบุตรกุล สุชาติ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ กรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ กรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประธาน บุรณศิริ กรรมการ	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ วันพุธที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 13.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 307 อาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 10 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 61

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมโดยใช้วิธีดิจิตอลโฮโลกราฟี
ชื่อนักศึกษา	นาย ทวีพล ประกอบแสง
รหัสประจำตัว	59605076
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ

### บทคัดย่อ

สารเชื่อมประสานที่ไร้สารตะกั่วได้มีการพัฒนาอย่างแพร่หลายเนื่องจากสารตะกั่วเป็นมลพิษมากกว่าผลดี จึงได้มีการเปลี่ยนแปลงใช้สารเชื่อมประสานที่ไม่มีสารตะกั่วและสารเชื่อมประสานที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ใช้สารเชื่อมประสานที่ไร้สารตะกั่วชนิด Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305) ผสมกับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด AlZnO ตามความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% และทำการศึกษาคุณสมบัติของสารเชื่อมประสานที่หลอมแล้ว และ อยู่ในระหว่างการหลอม โดยหลอมที่อุณหภูมิ  $250 \pm 5^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำสารเชื่อมประสานที่ได้มาทำการถ่ายภาพดิจิตอลโฮโลกราฟี โดยใช้ระบบดิจิตอลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ มีแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการวางระบบเป็นแสงสีแดงความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร นำภาพที่ได้จากการถ่ายไปทำการสร้างภาพใหม่แล้วนำไปวัดคุณสมบัติของสารเชื่อมประสาน ค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้นต่อน้ำหนักที่ 0.05% เป็นค่าที่ดีที่สุด และค่าความหนาของฟลักซ์พบว่ามีการเพิ่มขึ้นเมื่อเติม AlZnO ที่มากขึ้น

การศึกษาสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมนั้นได้ทำการถ่ายภาพดิจิตอลโฮโลกราฟีที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที และนำภาพที่ได้ทำการสร้างภาพใหม่ แล้วนำไปวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน พบว่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นและในเวลา 30 วินาที ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานสอดคล้องกับการตรวจสอบสมบัติของสารเชื่อมประสานหลังหลอมแล้วโดยมีค่าที่ดีที่สุดอยู่ที่ค่าความเข้มข้น 0.05%

**คำสำคัญ :** สารเชื่อมประสาน, ดิจิตอลโฮโลกราฟี, ระบบดิจิตอลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์, AlZnO

<b>Thesis Title</b>	THE PROPERTY INVESTIGATION OF SOLDER DURING MELT BY USING DIGITAL HOLOGRAPHY
<b>Student Name</b>	Tawipon Prakobsang
<b>Student ID</b>	59605076
<b>Degree</b>	Master of Science (Applied Physics)
<b>Department</b>	Physics
<b>Year</b>	2018
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Prathan Buranasiri

### Abstract

The lead-free solders have been developed widely because lead is more polluting than the good. To study the properties of the lead-free solder, we investigated Sn3Ag0.5Cu (SAC305) mixed with thermoelectric AlZnO with different concentrations by weight of 0.00%, 0.02%, 0.05%, and 0.10%, respectively. In the experiment the lead-free solder was melted at  $250\pm 5$  °C for 30 seconds. The hologram images of the samples were recorded by using digital in-line holography system. A laser diode with wavelength of 635 nm was used as the light source. Then, the recorded images were numerically reconstructed via a computer programing and so the wetting of solder was measured. The concentration of solder with AlZnO at 0.05% was found to be the best condition for investigating the wetting value and the flux thickness of all sample was increasing with the concentration of AlZnO.

In the Second part of the thesis the properties of melting solder were investigated at different times of 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 seconds. Then, the recorded images and the measured wetting of the melting solder were explored. From our observation, the angle of wetting solder decreases gradually over the melting time. The contact angle at 30<sup>th</sup> second corresponds well with the results in the first part. Therefore, it can be concluded that the lead-free solder at the concentration of 0.05% would be the best condition using in the electronic industry.

**Keywords** : solder, digital holography, In-line digital holography system, AlZnO

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณ ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา แนะนำในเรื่องต่างๆ และช่วยเหลือให้สำเร็จวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ ขอขอบคุณ รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สจล. ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาเรื่องสารเชื่อมประสาน จึงทำให้เกิดเป็นงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ ขอขอบคุณ ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ สจล. ที่ให้ใช้สารเทอร์โมอิเล็กทริก AlZnO และ สละเวลาเพื่อมาสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ รศ.ดร.วิชาญ เตชิตธีระ อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ สจล. และ ผศ.ดร.สีปตระกุล สุชาติ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่เสียสละเวลาเพื่อมาสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ สั่งสอนข้าพเจ้ามาจนได้เป็นผลสำเร็จ

ขอขอบคุณทุกคนที่ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอขอบคุณห้อง 311 DATA base ขอขอบคุณผู้ดูแลห้องดุขฎีเอกชัย รัมมะรัตน์ และ ห้อง 315 ซึ่งเป็นห้องเพื่อนบ้าน ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัย สืบค้นข้อมูล และเป็นสถานที่พักผ่อนสำหรับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเทอร์โมอิเล็กทริก รวมถึงสมาชิกในห้องทุกคน และ นายศฤงคาร จันทร์ประทีป (เค็ด) นักศึกษาทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ไปเป็นคุณครูสอนน้องๆเด็กประถม ที่คอยให้คำปรึกษาในเกี่ยวกับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก และในคำแนะนำกับข้าพเจ้าทุกวันในระหว่างที่เรียนอยู่

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการโฟตอนไดนามิก ซึ่งเป็นแหล่งที่พักพิงให้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่เรียนปริญญาตรีแล้วจนสำเร็จในปริญญาโท ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคนขอขอบคุณ ดร.สุวรรณ พลายพิชิต และ ดร.สุรวุฒิ วิจารณ์ อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ มศว ซึ่งเคยเป็นรุ่นพี่ในห้องที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับดิจิตอลโฮโลกราฟี ขอขอบคุณพี่ๆดุขฎีที่คอยให้คำปรึกษา ได้แก่ ดุขฎีจันทิรา บุญศรี ว่าที่ ดร. ฤทธิรงค์ นวลศรี และ ดร.ประยุทธ์ โพธิ์ลักษณะ ขอขอบคุณเพื่อนๆในห้องทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และน้องๆ ในห้องที่ยังอยู่ในห้อง (แพรว) หรือออกจากห้องไปแล้วโดยเฉพาะ นาย ศิริชัย สาตร์พันธ์ ซึ่งอยู่ทำการทดลองช่วยเหลือการทดลองและให้คำปรึกษาข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในการเรียนตั้งแต่ระดับบัณฑิตจนถึงระดับมหาบัณฑิต ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และ น้องสาวของข้าพเจ้า ที่ให้กำลังใจและสนับสนุน ขอขอบคุณ กุ๊เล็ก น้ำป๋ม และน้องชายตัวเล็กเฮงๆ ที่คอยให้การสนับสนุนข้าพเจ้า และขอมอบวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้เป็นของขวัญแก่ คุณพ่อ และ กัง ของข้าพเจ้า โดยหวังว่าท่านทั้งสองคนคงจะได้เห็นและรับรู้ในการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงและจบเป็นมหาบัณฑิต

ทวิพล ประกอบแสง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง .....	จ
สารบัญรูป .....	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>3</b>
2.1 สารเชื่อมประสาน .....	3
2.2 ความสามารถในการเปียก .....	6
2.3 โพลีเอทิลีน.....	7
2.4 ดิจิตอลโพลีโกลกราฟี.....	8
2.4.1 การสร้างภาพดิจิตอลโพลีโกลกราฟี.....	9
2.5 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดสังกะสีออกไซด์เจืออลูมิเนียม (AlZnO).....	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>15</b>
3.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย.....	15
3.2 วิธีการทดลอง.....	17
3.2.1 การศึกษาสมบัติของสารเชื่อมประสานหลังการหลอม.....	17
3.2.2 การศึกษาสมบัติสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอม .....	17
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>19</b>
4.1 ผลจากการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผ่านการหลอม .....	19
4.2 ผลจากการศึกษาสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอม .....	24
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>38</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	38
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	39
เอกสารอ้างอิง .....	40
ภาคผนวก.....	42
ภาคผนวก ก.....	43
ประวัติผู้เขียน.....	49

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของโลหะที่มีผลต่อการเชื่อมประสาน.....	4
2.2 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลว.....	5
4.1 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.00%.....	28
4.2 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.02%.....	31
4.3 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.05%.....	35
4.4 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น 0.10%.....	38

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 บรรจุภัณฑ์ของสารเชื่อมประสานชนิด SAC305 .....	4
2.2 แสดงมุมสัมผัส (contact angle, $\theta$ ) มุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างระนาบของเหลว กับระนาบของแข็ง มุมสัมผัสนี้เป็นผลมาจากสมดุลระหว่างแรงแอดฮีชันกับแรงโคฮีชัน.....	6
2.3 แสดงการเปียก (Wetting) และมุมสัมผัสการเปียก (Contact angle).....	7
2.4 การสร้างภาพโฮโลแกรม .....	7
2.5 การอ่านภาพโฮโลแกรม .....	7
2.6 การสร้างภาพดิจิตอลโฮโลแกรม .....	8
2.7 การแทรกสอดแบบนอกแนวแกน .....	9
2.8 การแทรกสอดแบบอินไลน์โฮโลแกรม .....	9
2.9 การแทรกสอดแบบกาเบอร์ .....	9
2.10 การจำลองกระบวนการสร้างภาพใหม่ของดิจิตอลโฮโลกราฟี .....	10
2.11 การสร้างภาพใหม่ของการถ่ายภาพด้วยดิจิตอลโฮโลกราฟี .....	11
2.12 โครงสร้างแบบ wurtzite (ซ่าย) และ โครงสร้างแบบ Zinc blende (ขวา).....	13
3.1 การเตรียมระบบดิจิตอลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ .....	15
3.2 สารเชื่อมประสาน (Solder SAC305) (ซ่าย) สารเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด AlZnO (ขวา) .....	16
3.3 สารเชื่อมประสานที่มีขนาดความสูง 1.5 มิลลิเมตร และสูง 5.5 มิลลิเมตร .....	16
3.4 สารเชื่อมประสานที่ผ่านการหลอมที่อุณหภูมิ $250 \pm 5$ C° เป็นเวลา 30 วินาที .....	17
3.5 ระบบดิจิตอลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ในการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผ่านการหลอมแล้ว.....	17
3.6 ระบบดิจิตอลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ในการศึกษาสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอม .....	18
4.1 ภาพถ่ายดิจิตอลโฮโลกราฟี (ซ่าย) ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรัคชัน(ขวา) .....	19
4.2 การวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น AlZnO 0.00% .....	20
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม (Amplitude), เฟส (phase) กับระยะทาง (Distance) .....	20
4.4 ตัวอย่างการหาสมบัติของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.00% .....	21
4.5 ตัวอย่างการหาสมบัติของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.02%.....	22
4.6 ตัวอย่างการหาสมบัติของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.05%.....	23
4.7 ตัวอย่างการหาสมบัติของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.10%.....	24
4.8 ตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.00% ภาพถ่ายดิจิตอลโฮโลกราฟี (ซ่าย) ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรัคชัน (ขวา) ระหว่างการหลอมที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ .....	26
4.9 ตัวอย่างการมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมที่มีความเข้มข้น 0.00% ระหว่างการหลอมที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ .....	27

## สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.02% ภาพถ่ายดิจิตอลโฮโลกราฟี (ซ้าย) ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรักชัน (ขวา) ระหว่างการหลอมที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ.....	29
4.11 ตัวอย่างการมูมส์ผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมที่มีความเข้มข้น 0.02% ระหว่างการหลอมที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ .....	31
4.12 ตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.05% ภาพถ่ายดิจิตอลโฮโลกราฟี (ซ้าย) ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรักชัน (ขวา) ระหว่างการหลอมที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ.....	33
4.13 ตัวอย่างการมูมส์ผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมที่มีความเข้มข้น 0.05% ระหว่างการหลอมที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ .....	34
4.14 ตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.10% ภาพถ่ายดิจิตอลโฮโลกราฟี (ซ้าย) ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรักชัน (ขวา) ระหว่างการหลอมที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ.....	36
4.15 ตัวอย่างการมูมส์ผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมที่มีความเข้มข้น 0.10% ระหว่างการหลอมที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ .....	38

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและวิทยาการต่างๆที่เกิดขึ้นโลกของเรา ล้วนมีแหล่งกำเนิดจากนักคิดนักพัฒนาที่ได้ใช้ความรู้ในด้านต่าง ๆ หลากหลายสาขาวิชาไม่ว่าจะเป็น วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชีววิทยา เคมี คณิตศาสตร์ ซึ่งทุกสาขานั้นล้วนก่อให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยี องค์ความรู้ต่างๆ ทำให้มนุษย์เรานั้นได้รับความสะดวกสบายจากเทคโนโลยี โดยในเริ่มต้นนั้นมนุษย์เราได้มีการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้ชีวิต แต่ในช่วงต้นนั้นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีขนาดใหญ่ทำให้การพกพายุ่งยาก จึงได้มีการทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลงโดยใช้วิทยาการทางวิทยาศาสตร์ในหลากหลายแขนง จนได้มีเทคโนโลยี Surface Mount Technology (SMT) ในการช่วยให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลง Surface Mount Technology (SMT) นี้จะใช้ในการเชื่อมวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) ตัวต้านทาน (Resistant) และ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) ลงกับแผงวงจรรวม (Printed Circuit Board : PCB) โดยใช้สารเชื่อมประสาน (Solder paste) ด้วยเทคโนโลยีนี้ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด

เทคโนโลยีการยึดพื้นผิว (Surface Mount Technology : SMT) เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดนั้นสิ่งที่สำคัญไม่แพ้กันนั้นก็คือการพัฒนาสารเชื่อมประสาน (Solder paste) โดยสารเชื่อมประสานนั้นเป็นส่วนประกอบสำคัญของเทคโนโลยีการยึดพื้นผิว (SMT) โดยสารเชื่อมประสานที่ดีนั้นจะต้องมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี มีการแผ่เข้าหาโลหะได้ดี และ ฟลักซ์ (Flux) มีหน้าที่คลุมสารเชื่อมประสานนั้น

การสังเกตสารเชื่อมประสานนั้นได้นำหลักการของระบบดิฟร็กชันโฮโลกราฟีมา (Digital Holography) เพื่อใช้ในระบบการสังเกตเนื่องจากระบบดิฟร็กชันโฮโลกราฟี (Digital Holography) เป็นระบบที่ใช้ในการสังเกตวัตถุโดยใช้แสงที่เกิดจากการสะท้อนจากวัตถุและแสงอ้างอิงมาแทรกสอดกันและบันทึกลงบนกล้องที่เป็นระบบดิฟร็กชันซึ่งเป็นการประยุกต์จากที่ Dennis Gabor ค้นพบการถ่ายภาพโฮโลแกรม (Holography) ลงบนฟิล์ม ค.ศ.1948 การถ่ายภาพโฮโลแกรมนั้น มีวิธีการเซตระบบได้หลายวิธีการไม่ว่าจะเป็นการเซตแบบ ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ (Michelson interferometer) แบบมัค-เซนเดอร์ (Mach-Zehnder interferometer) และแบบอินไลน์ (In-line interferometer) ซึ่งจะต้องเกิดจากแสงที่มีความอาพันธ์ (Coherent) เมื่อมีแสงสองลำที่มีความอาพันธ์กันมาแทรกสอดลงบนฉากจะก่อให้เกิดริ้วการแทรกสอดโดยริ้วการแทรกสอดนี้เกิดจากการที่แสงมีเฟส (Phase) ที่แตกต่างกันออกไปทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของเฟส เราจึงได้นำจุดเด่นของโฮโลกราฟีเพื่อมาใช้ในการสังเกตความหนาฟลักซ์ (Flux) ของสารเชื่อมประสานที่มีความหนาน้อยและใส และหามุมสัมพันธ์ระหว่างสารเชื่อมประสานกับแผ่นทองแดง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาความหนาพลาซมาของสารเชื่อมผสมนูนัมผสมของสารเชื่อมผสมระหว่างแผ่นทองแดง
- 2) ศึกษาหลักการการทำงานของดิจิทัลโฮโลกราฟี
- 3) ประยุกต์การใช้ดิจิทัลโฮโลกราฟีเพื่อศึกษาสมบัติของสารเชื่อมผสม

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาและเข้าใจการเตรียมสารเชื่อมผสมที่มีการผสม  $AlZnO$  ที่ความเข้มข้น 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% โดยน้ำหนัก
- 2) ศึกษาและประยุกต์ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีเพื่อศึกษาสมบัติของสารเชื่อมผสม
- 3) ใช้หลักการดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์เพื่อศึกษาสมบัติของสารเชื่อมผสม

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) องค์ความรู้ในการศึกษาทฤษฎีดิจิทัลโฮโลกราฟีและสารเชื่อมผสม
- 2) ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีเพื่อศึกษาสมบัติสารเชื่อมผสม
- 3) องค์ความรู้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วอันเนื่องมาจากมนุษย์ โดยภายในของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยแผงวงจรรวม (Printed Circuit Board : PCB) ต่าง ๆ ซึ่งแผงวงจรเหล่านี้ก็จะมีชิ้นส่วนเล็ก ๆ จำนวนมากติดอยู่ ไม่ว่าจะเป็น ตัว IC (Integrated Circuit) ตัวต้านทาน (Resistance) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นต้น โดยชิ้นส่วนเหล่านั้น ต้องทำการบัดกรีเพื่อให้ยึดติดกับแผงวงจรเพื่อเพิ่มความคงทนของตัวอุปกรณ์ และอายุการใช้งานที่ยั่งยืน การบัดกรีหรือเชื่อมประสานด้วยโลหะบัดกรีซึ่งโลหะบัดกรีแบ่งออกเป็นสองแบบได้แก่ แบบของแข็งที่เป็นโลหะผสมและโลหะหลอมเหลวหรือเป็นโลหะบัดกรีแบบกึ่งของเหลวของแข็ง (Solder Paste) ทั้งนี้สารบัดกรีที่ใช้จะช่วยให้ประสิทธิภาพการยึดติด โดยมีเงื่อนไขว่าสารนี้จะต้องมีสภาพต้านทานต่ำเพื่อให้กระแสไหลได้ดีและอายุการใช้งานให้นานยิ่งขึ้น ส่วนฟลักซ์ (Flux) คือ ตัวช่วยประสานที่ใช้ในการเชื่อมประสานมีทั้งชนิดเหลวและชนิดผง มีประสิทธิภาพช่วยทำให้การยึดติดและการไหลตัวของน้ำประสาน (solder) ดียิ่งขึ้น เพราะโดยปกติเมื่อโลหะถูกความร้อนจะเกิดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลมาจากโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้การยึดติดและนำไฟฟ้าของสารเชื่อมประสานลดลง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเปียกและลดแรงตึงผิวของโลหะอีกด้วย

### 2.1 สารเชื่อมประสาน (Solder Paste)[1-5]

การเชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ติดกับแผงวงจร (PCB) จำเป็นที่จะต้องใช้สารเชื่อมประสาน โดยทั่วไปสารเชื่อมประสานจะเป็นโลหะผสมกับฟลักซ์ (Flux) โลหะที่ผสมในปัจจุบันนี้ทั้งการที่เป็นโลหะผสมตะกั่วและไม่มีตะกั่ว (Lead free) สารที่ไม่มีส่วนผสมตะกั่วจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าที่ไม่มีส่วนผสมตะกั่วแต่การที่มีตะกั่วในส่วนผสมทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งมีชีวิต จึงได้พัฒนาสารเชื่อมประสานที่ไม่มีส่วนผสมตะกั่วที่มีจุดหลอมเหลวน้อยลงและผสมกับโลหะเพื่อนำไฟฟ้าได้ดี แต่ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน ชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กมาก จึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการยึดพื้นผิว (Surface Mount Technology : SMT) ในการเชื่อมแบบกึ่งของเหลวผสมของแข็ง (Solder Paste) ทำให้เชื่อมอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กได้ดี ทั้งนี้สารเชื่อมประสานที่ใช้จะช่วยให้ประสิทธิภาพการยึดติด โดยมีเงื่อนไขว่าสารนี้จะต้องมีสภาพต้านทานต่ำเพื่อให้กระแสไหลได้ดีและอายุการใช้งานให้นานยิ่งขึ้น ในการเชื่อมประสานนั้นจะใช้ความร้อนในการหลอมละลายมีอยู่ 2 วิธีที่ใช้กัน คือ การเชื่อมประสานโดยใช้หัวแร้งซึ่งเป็นวิธีการทั่วไป และการเชื่อมโดยใช้การอบความร้อนโดยวิธีการนี้จะใช้ในระบบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีการผลิตวงจรไฟฟ้าที่มีความซับซ้อนสูง ซึ่งสารเชื่อมประสานที่ใช้ในวิธีการหลอมทั้ง 2 แบบจะเป็นการใช้สารเชื่อมประสานต่างกันนั้น คือ สารเชื่อมประสานแบบแข็ง (Brazing) และ สารเชื่อมประสานแบบอ่อน (Soft soldering)

สารเชื่อมประสานแบบแข็ง (Brazing) เป็นสารเชื่อมประสานที่ต้องใช้ความร้อนสูงในการเชื่อมประสาน โดยใช้ความร้อนมากกว่า  $420\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมจะไม่สูงไปกว่าฐานสารเชื่อมประสาน โดยทั่วไปการเชื่อมประสานลักษณะนี้จะใช้การเชื่อมประสานเงินโดยการเชื่อมนี้จะมีความแข็งแรงเทียบเท่ากับการเชื่อมโลหะ

สารเชื่อมประสานแบบอ่อน (Soft soldering) เป็นการเชื่อมประสานโดยใช้ความร้อนต่ำ อุณหภูมิไม่เกิน  $420\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยฐานสารเชื่อมประสานที่ใช้จะเป็นโลหะทั่วไป ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้การเชื่อมประสานแบบอ่อนในการศึกษาครั้งนี้

สารเชื่อมประสานที่ไร้สารตะกั่วจะมีสัดส่วนการผสมของโลหะในแต่ละชนิดต่างๆเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม คือ สารเชื่อมประสาน Sn-Ag-Cu มีสัดส่วนการใช้ร้อยละ 66 โลหะบัดกรี Sn-Ag-Cu-Bi มีสัดส่วนการใช้ร้อยละ 19 โลหะบัดกรี Sn-Ag-Bi-In มีสัดส่วนการใช้ร้อยละ 9 และโลหะบัดกรี Sn-Zn-Bi มีสัดส่วนการใช้ร้อยละ 6 โดย The Japanese Electronics and Information Technology Industry Association (JEITA) แนะนำให้ใช้สารเชื่อมประสานที่มีส่วนประกอบโดยน้ำหนักเป็น  $96.5\text{Sn}-3.0\text{Ag}-0.5\text{Cu}$  (SAC305) ส่วน National Electronic Manufacturing Initiative (NEMI) แนะนำให้ใช้โลหะบัดกรีที่มีส่วนประกอบโดยน้ำหนักเป็น  $95.5\text{Sn}-3.9\text{Ag}-0.6\text{Cu}$  และ  $96.5\text{Sn}-3.5\text{Ag}$  สำหรับกระบวนการบัดกรีแบบ reflow soldering<sup>[1]</sup>

สารเชื่อมประสานที่ใช้คือ SAC 305 เป็นสารเชื่อมประสานที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายโดยมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้คือ ดีบุก (Sn) 96.5% เงิน (Ag) 3% ทองแดง (Cu) 0.5% และมีฟลักซ์ (Flux) เป็นส่วนประกอบที่มีหน้าที่ป้องกันการเกิดออกไซด์บนผิวสารเชื่อมประสาน



รูปที่ 2.1 บรรจุภัณฑ์ของสารเชื่อมประสานชนิดSAC305

ในการเชื่อมประสานนั้นมีปัจจัยอยู่ 3 อย่างที่จะทำให้สารเชื่อมประสานมีประสิทธิภาพที่ติดนั้น คือ ฐานของสารเชื่อมประสาน (Base metal) คือ ชนิดของฐานเชื่อมประสาน ชนิดของสารเชื่อมประสานที่ใช้ในการหลอม และ สารฟลักซ์<sup>[1-3]</sup>

ฐานของสารเชื่อมประสาน (Base metal) โดยส่วนใหญ่จะเป็นเหล็กและทองแดง และ อลูมิเนียมโดยอลูมิเนียมมีน้ำหนักเบาแต่มีการเชื่อมได้ยากกว่าเหล็กและทองแดง

#### ตารางที่ 2.1 ชนิดของโลหะที่มีผลต่อการเชื่อมประสาน

ชนิดของโลหะ	การเชื่อมประสาน
เงิน ดีบุก ทองแดง แคดเมียม แพลลาเดียม โรเดียม บรอนซ์ ทองเหลือง ตะกั่ว	ดี
เหล็ก สังกะสี นิเกิล	พอใช้
อลูมิเนียม อลูมิเนียมผสมบรอนซ์ เหล็กผสมโครเมียม	ยาก

ชนิดของสารเชื่อมประสาน (Soldering) สารเชื่อมประสานนั้นเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกและตะกั่วในอัตราส่วนต่างๆ แล้วอาจผสมโลหะอื่นๆ เช่น เงิน แคดเมียม อินเดียม บิสมัท เป็นต้น ซึ่งช่วยในคุณสมบัติของสารเชื่อมประสาน อาทิ ช่วงเวลาที่ใช้ในการหลอม ความแข็งแรงของการเชื่อมประสาน เพิ่มการป้องกันการกัดกร่อน โดยที่อุณหภูมิของการหลอมที่มีสารตะกั่วจะอยู่ที่  $183^{\circ}\text{C}$  แต่ในปัจจุบันได้มีการยกเลิกการใช้สารตะกั่วเนื่องจากเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการพัฒนาสารเชื่อมประสานที่ไร้ตะกั่ว โดยสารที่เป็นพื้นฐานของสารเชื่อมประสานได้แก่ ดีบุก (Sn) ซึ่งดีบุกเริ่มหลอมเหลวที่  $283^{\circ}\text{C}$  และได้ทำการผสมโลหะอื่นๆ เช่น อินเดียม เงิน และ บิสมัท ซึ่งอินเดียม เป็นโลหะที่ทำให้จุดหลอมเหลวของสารผสมลดลงได้ดีและลดมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานได้ดี แต่ว่าอินเดียมเป็นโลหะที่หาได้ยากราคาแพง เงิน ก็เป็นโลหะอีกชนิดหนึ่งก็นำมาใช้ผสมทำให้จุดหลอมเหลวลดลง มีความแข็งแรงในการเชื่อมประสานมากขึ้น บิสมัท เป็น โลหะที่ช่วยลดจุดหลอมเหลวและมุมสัมผัสได้แบบอินเดียมโดยได้จุดหลอมเหลวที่ต่ำมาก คือ  $139^{\circ}\text{C}$  จึงเป็นสารที่ดีมากแต่ไม่สามารถใช้วงจรที่มีความร้อนสูงได้ ซึ่งสารเชื่อมประสานได้ถูกพัฒนาและแบ่งตามจุดหลอมเหลวได้ 4 กลุ่ม<sup>[4]</sup>

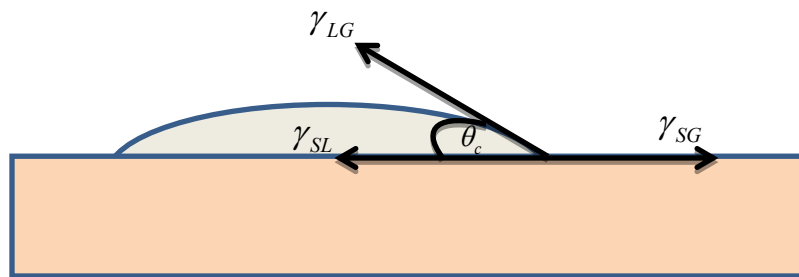
#### ตารางที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลว

ช่วงอุณหภูมิที่หลอมเหลว	ส่วนผสม	จุดหลอมเหลว
ช่วงอุณหภูมิต่ำ ( $<180^{\circ}\text{C}$ )	Sn-58Bi	138
	Sn-52In	118
	Sn-50In	118-125
	Bi-33In	109
ช่วงอุณหภูมิปานกลาง ( $180 - 200^{\circ}\text{C}$ )	Sn-9Zn	198.5
	Sn-8Zn-3Bi	188-189
	Sn-20Bi-10In	143-195
ช่วงอุณหภูมิสูง ( $200 - 230^{\circ}\text{C}$ )	Sn-3.5Ag	221
	Sn-2Ag	221-226
	Sn-0.7Cu	227
	Sn-3.5Ag-3Bi	206-213
	Sn-7.5Bi-2Ag	207-212
	Sn-3.8Ag-0.7Cu	217
	Sn-2Ag-0.8Cu-0.5Sb	216-222
ช่วงอุณหภูมิสูงมาก ( $>230^{\circ}\text{C}$ )	Sn-5Sb	232-240
	Sn-80Au	280
	Sn-25Ag-10Sb	233

ฟลักซ์ (Flux) เป็นคำมาจากภาษาละติน หมายความว่า Flow ทำหน้าที่ในการช่วยในการให้สารเชื่อมประสานมีการประสานได้ดีและยังมีหน้าที่ให้การป้องกันการเกิดออกไซด์บริเวณผิวให้แก่งาน โดยฟลักซ์จะมีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ ฟลักซ์แบบกัดกร่อน (Corrosive fluxes) และ ฟลักซ์แบบไม่กัดกร่อน (Noncorrosive fluxes)

## 2.2 ความสามารถในการเปียก (wetting)[1-3]

ฟลักซ์ (Flux) คือ กรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์มีทั้งชนิดเหลวและชนิดผง มีประสิทธิภาพช่วยทำให้การยึดติดและการไหลตัวของสารเชื่อมประสาน (solder Paste) ดียิ่งขึ้น เพราะโดยปกติเมื่อโลหะถูกความร้อนจะเกิดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลมาจากโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ดังนั้น ฟลักซ์ (Flux) ช่วยในการป้องกันการเกิดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากตีบูกเพื่อให้สารเชื่อมประสานมีอายุในการใช้งานได้นานขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเปียกและลดแรงตึงผิวของโลหะอีกด้วย ซึ่งความสามารถในการเปียก (wetting) คือ ความสามารถของของเหลวในการรักษาหน้าสัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง ซึ่งเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลโดยระดับชั้นของสถานะการเปียกขึ้นกับความสมดุลระหว่างแอดฮีชันและโคฮีชัน ในสถานะการเปียกมีความสำคัญในการยึดติดกันของวัสดุสองชิ้น แรงยกตัว (Capillary Effect) ก็เป็นผลมาจากสถานะการเปียกและแรงพื้นผิวที่กำหนดสถานะการเปียก รูปร่างของการหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็งจะมีรูปร่างเป็นรูปทรงโค้งดังรูป

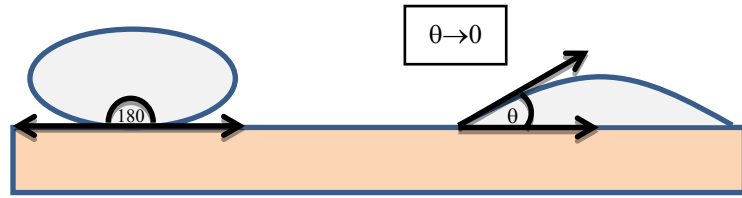


รูปที่ 2.2 แสดงมุมสัมผัส (contact angle,  $\theta$ ) มุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างระนาบของเหลว กับระนาบของแข็ง มุมสัมผัสนี้เป็นผลมาจากสมดุลระหว่างแรงแอดฮีชันกับแรงโคฮีชัน

สำหรับแรงตึงผิวก็จะมีความสัมพันธ์กับการเปียก โดยหากแรงตึงผิวระหว่างน้ำประสานและผิวชิ้นงานมีมาก นั่นก็หมายความว่าน้ำประสานมีความสามารถในการเปียกต่ำ จากรูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิว (Surface Tension:  $\gamma$ ) กับมุมสัมผัส (Contact angle:  $\theta$ )

มุมสัมผัสจะบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นผิวเรียบของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว ซึ่งมุมสัมผัสที่น้อยกว่า  $90^\circ$  โดยทั่วไป หมายถึง สถานะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดี และของเหลวจะกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง มุมสัมผัสที่มากกว่า  $90^\circ$  โดยทั่วไป หมายถึง สถานะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อยและจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง

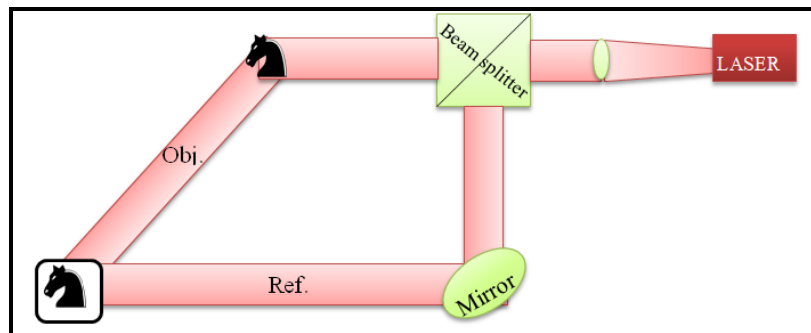
ในกรณีเดียวกันกับการเปียกของสารเชื่อมประสานกับชิ้นงาน หากมุมสัมผัสระหว่างสารเชื่อมประสานกับผิวทองแดงมีขนาด  $180^\circ$  นั่นคือ น้ำประสานและชิ้นงานไม่เกิดการเปียกเลย ซึ่งก็มีผลให้สารเชื่อมประสานไม่เกาะกับผิวทองแดงและหากมุมสัมผัสที่ว่ามีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จะทำให้สารเชื่อมประสานสามารถเกาะกับชิ้นงานได้มากขึ้น หากมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานกับผิวทองแดงมีขนาดเท่ากับ  $0^\circ$  ก็จะหมายความว่าสารเชื่อมประสานสามารถเปียกบนผิวทองแดงได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าจะให้งานเชื่อมประสานมีคุณภาพดี เพราะว่าการที่มีความสามารถในการเปียกบนผิวทองแดงได้ดีนั้นบ่งบอกถึงการที่สารเชื่อมประสานนั้นสามารถแพร่เข้าโลหะได้ดี จึงเหมาะสมในการที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรม



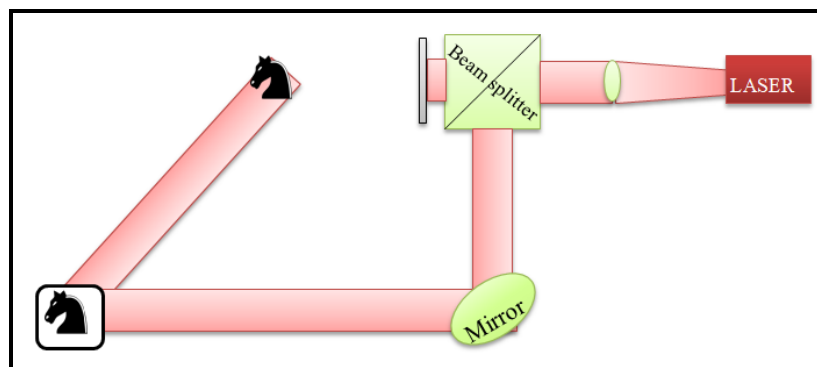
รูปที่ 2.3 แสดงการเปียก (Wetting) และมุมสัมผัสการเปียก (Contact angle)

### 2.3 โฮโลแกรม (Hologram)[6-7]

โฮโลกราฟี (Holography) คือ กระบวนการสร้างภาพโฮโลแกรม เป็นภาพที่บันทึกลงบนแผ่นฟิล์ม ซึ่งเป็นเทคนิคการบันทึกด้วยการใช้แสงอาพันธ์ (Coherence) เป็นแหล่งกำเนิด เช่น แสงเลเซอร์ ที่มีหน้าคลื่นสอดคล้องกัน 2 ลำแทรกสอดลงบนแผ่นฟิล์ม ภาพที่ถูกสร้างขึ้นมาจากการแสงเลเซอร์ โดยบันทึกไว้รอยของการแทรกสอด (Interference Pattern) ของแสงเลเซอร์ ทำให้เราสามารถมองเห็นภาพที่แตกต่างจากภาพทั่วไป ซึ่งในภาพทั่วไปจะมีการบันทึกเพียงแต่ความเข้มของแสงเท่านั้น จึงทำให้ภาพที่ได้ออกมาไม่มีความลึกทางมิติของภาพ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกันจะพบว่าภาพที่มาจากกระบวนการบันทึกโดยเทคนิคโฮโลแกรมนั้นจะมีความเป็นมิติมากกว่าเนื่องจากการบันทึกภาพของโฮโลแกรมนั้น จะบันทึกทั้งเฟสและความเข้มของภาพที่บันทึกได้ดังนั้นภาพที่ได้จึงมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การใช้เพื่อระบบรักษาความปลอดภัย เนื่องจากการอ่านภาพโฮโลแกรมจำเป็นต้องใช้แสงในความยาวคลื่นเดียวกับที่สร้างและเป็นมุมตกกระทบเดียวกันกับมุมที่ใช้ในการสร้าง



รูปที่ 2.4 การสร้างภาพโฮโลแกรม



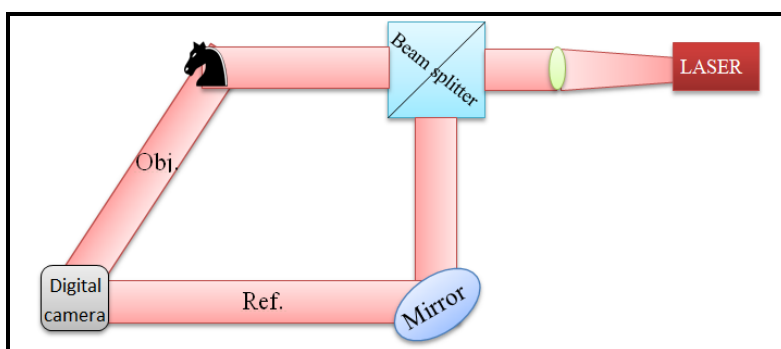
รูปที่ 2.5 การอ่านภาพโฮโลแกรม

โฮโลแกรมนี้ถูกค้นพบโดยเดนนิส กาเบอร์ (Dennis Gabor, 1900-1979) วิศวกรไฟฟ้าชาวฮังการี ปี ค.ศ. 1947 กาเบอร์ได้ค้นพบหลักการของโฮโลกราฟีอย่างบังเอิญ ในขณะที่พัฒนาปรับปรุงคุณภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จากการค้นพบนี้กาเบอร์ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1971 เทคนิคที่คิดค้นเดิมยังใช้อยู่ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่เป็นที่รู้จักกันในชื่อภาพสามมิติอิเล็กตรอน แต่ภาพสามมิติเป็นเทคนิคแสงซึ่งไม่ได้มีการพัฒนาอย่างจริงจัง จนกระทั่งมีการพัฒนาของเลเซอร์ในปี 1960

## 2.4 ดิจิตอลโฮโลกราฟี(Digital holography)[8-13]

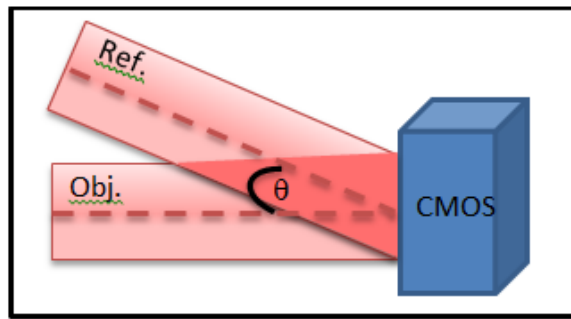
ดิจิตอลโฮโลกราฟีนั้น แตกต่างจากโฮโลกราฟีเพียงประยุกต์ใช้จากการบันทึกภาพลงบนฟิล์มลงบนกล้องถ่ายภาพดิจิตอลชนิด CCD (Charge Coupled Devices) หรือ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) โดยภาพที่บันทึกได้จะเป็นภาพดิจิตอลและสามารถดูภาพได้จากคอมพิวเตอร์ การใช้กล้องดิจิตอลมีข้อดีกว่าแบบเดิม คือ สามารถเก็บรักษาภาพที่บันทึกได้ยาวนาน ไม่เปลืองฟิล์มและการใช้สารเคมีในการล้างภาพแบบฟิล์ม

หลักการทำงานของดิจิตอลโฮโลกราฟี โดยใช้แสงเลเซอร์ที่แยกออกเป็นสองลำแสง ลำแรกเรียกว่าลำแสงอ้างอิง (Reference beam) และลำแสงที่สองสะท้อนจากวัตถุ เรียกว่าลำแสงวัตถุ (Object beam) ทั้งสองลำแสงจะซ้อนทับกันลงบนกล้องดิจิตอล



รูปที่ 2.6 การสร้างภาพดิจิตอลโฮโลแกรม

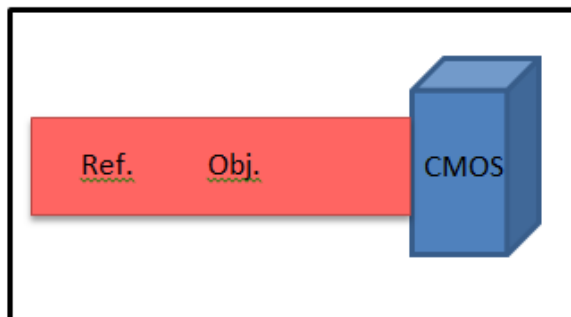
โฮโลกราฟีแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆได้ 2 ประเภท คือ การแทรกสอดแบบนอกแนวแกน (off-axis Holography) และการแทรกสอดแบบอินไลน์โฮโลแกรม (in-line Holography) การแทรกสอดที่เกิดขึ้นทั้งสองแบบนี้เกิดจากการที่ลำแสงอ้างอิงซ้อนทับกับลำแสงวัตถุ โดยแสงทั้งสองจะมีความเป็นอาพันธ์กันจึงจะเกิดการแทรกสอดเป็นภาพโฮโลแกรมได้ การแทรกสอดแบบนอกแนวแกน (off-axis Holography) แสดงดังรูปที่ 2.7 และในแบบการแทรกสอดแบบอินไลน์โฮโลแกรม (in-line Holography) จะมีซ้อนทับอยู่ 2 แบบด้วยกันแบบแรกเรียกว่าการแทรกสอดแบบอินไลน์โฮโลแกรม (in-line Holography) แบบที่สองเรียกว่าการแทรกสอดแบบกาเบอร์ (Gabor-Holography) แสดงดังรูปที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ



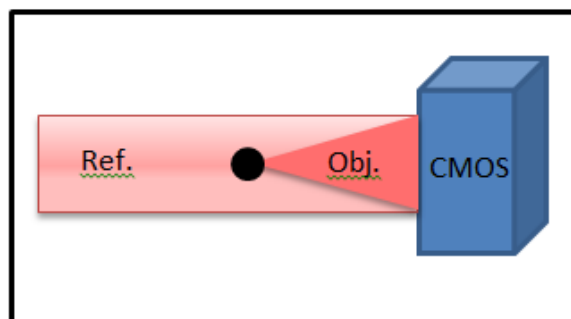
รูปที่ 2.7 การแทรกสอดแบบนอกแนวแกน (off-axis Holography)

การแทรกสอดแบบนอกแนวแกน (off-axis Holography) เป็นการซ้อนทับของแสงอ้างอิง (Reference beam) และแสงวัตถุ (Object beam) โดยที่ทั้ง 2 ลำแสงจะมีมุมในการซ้อนทับกันไม่เท่ากับ 0 องศา

การแทรกสอดแบบอินไลน์ (In-line Holography) เป็นการซ้อนทับกันของลำแสงอ้างอิง (Reference beam) และแสงวัตถุ (Object beam) เป็นมุม 0 องศา และการแทรกสอดแบบอินไลน์ มีด้วยกัน 2 แบบที่แสดงในรูปที่ 2.8 คือการแทรกสอดแบบอินไลน์ (In-line Holography) และในรูปที่ 2.9 เป็นการแทรกสอดอินไลน์อีกหนึ่งแบบซึ่งเรียกว่าการแทรกสอดแบบกาเบอร์ (Gabor-Holography) โดยการแทรกสอดแบบกาเบอร์นั้นจะเกิดเมื่อวัตถุมีขนาดเล็ก



รูปที่ 2.8 การแทรกสอดแบบอินไลน์โฮโลแกรม (in-line Holography)

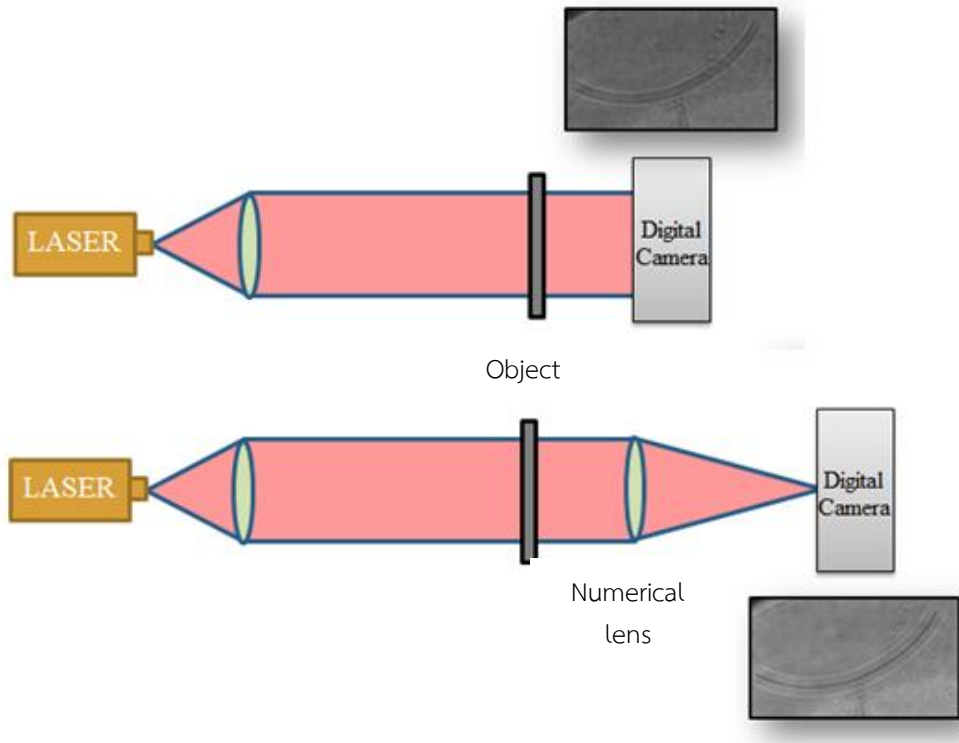


รูปที่ 2.9 การแทรกสอดแบบกาเบอร์ (Gabor-Holography)

#### 2.4.1 การสร้างภาพดิจิตอลโฮโลกราฟี (Reconstruction)

การสร้างภาพดิจิตอลโฮโลกราฟี (Reconstruction) นั้นจะแตกต่างจากการสร้างภาพแบบเดิม เนื่องจากภาพที่บันทึกได้เป็นภาพดิจิตอลจึงจะต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการสร้าง

ภาพใหม่ขึ้นมา การสร้างภาพดิจิทัลโฮโลกราฟี (Reconstruction) นั้นได้ใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เข้าในการคำนวณโดยมีที่นิยมใช้การอยู่ 2 รูปแบบโดยกันคือ ฮอยเกนส์คอนโวลูชัน (Huygens convolution) และ หลักการสเปกตรัมเชิงมุม (Angular spectrum) ในการทดลองนี้ได้ใช้การสร้างภาพแบบหลักการสเปกตรัมเชิงมุมเนื่องจากหลักการสเปกตรัมเชิงมุมสามารถสร้างภาพได้แม้ในการบันทึกระยะไกล ก็สามารถสร้างภาพได้อย่างดี เพราะการสร้างภาพสเปกตรัมเชิงมุมได้มีการคำนวณทางสนามทางแสง



รูปที่ 2.10 การจำลองกระบวนการสร้างภาพใหม่ของดิจิทัลโฮโลกราฟี

ในการสร้างภาพใหม่ของระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีนั้นเป็นการใช้โปรแกรมรีคอนสตรัคชันในการช่วยการระยะภาพที่ชัดเจนขึ้นโดยการที่เปรียบเสมือนการจำลองเลนส์ขึ้นมาเพื่อให้ภาพที่ได้จากการถ่ายแบบดิจิทัลโฮโลกราฟีนั้นมีความชัดเจนขึ้น โดยเมื่อได้ระยะที่ทำให้ภาพชัดเจน เรียกระยะนั้นว่า ระยะรีคอนสตรัคชัน

#### หลักการฮอยเกนส์คอนโวลูชัน (Huygens convolution)

การสร้างภาพแบบฮอยเกนส์คอนโวลูชันนั้นได้ใช้หลักการการเลี้ยวเบนของเฟสเนล (Fresnel) และทฤษฎีคอนโวลูชัน โดยที่  $h(x,y)$  คือ การเลี้ยวเบนของแสงในระนาบสองมิติ ซึ่งหลักการฮอยเกนส์-เฟสเนล (Huygens-Fresnel principle) ในการอธิบายการเลี้ยวเบนของแสงผ่านรูรับแสงในพิกัดฉากโดนเขียนสมการการเลี้ยวเบนแสงได้ดังนี้

$$h(x, y) = \frac{z}{j\lambda} \iint O(\xi, \eta) \frac{\exp(jk\rho)}{\rho^2} d\xi d\eta \quad (2.1)$$

โดยที่

$O(\xi, \eta)$  คือ สนามแสงที่ระนาบวัตถุ

$\rho = [z^2 + (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]^{1/2}$  คือ ระยะจากทุกจุดบนระนาบวัตถุ  $(\xi, \eta)$  ไปยังระนาบ

การบันทึกโฮโลกราฟี  $(x, y)$

$z$  คือ ระยะห่างระหว่างการแพร่

$k = 2\pi / \lambda$  คือ เลขคลื่น

หลังจากที่ผ่านการเทคนิคคอนโวลูชันแล้ว สามารถเขียนฟังก์ชันโฮโลกราฟีเป็น

$$h(x, y) = F^{-1} \{ F [ O(\xi, \eta) ] \cdot F [ g(\xi, \eta, x, y) ] \} \quad (2.2)$$

สามารถเขียนคอร์เนล  $g(\xi, \eta, x, y)$  ในสมการตอนนี้

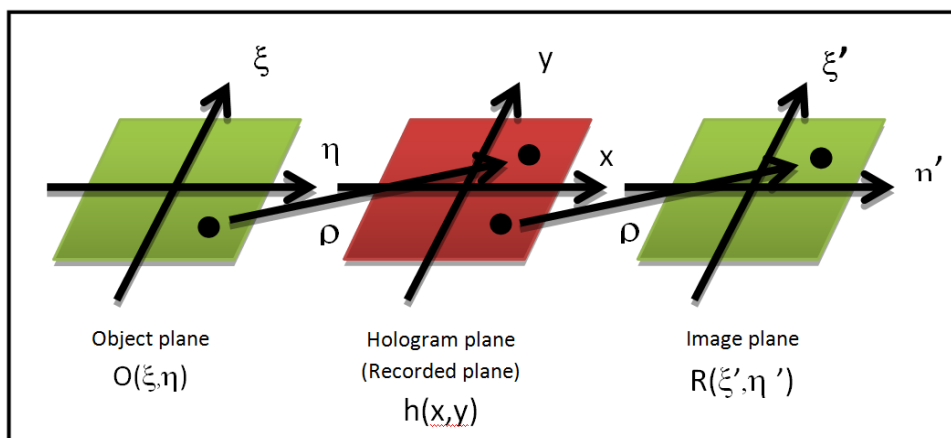
$$g(\xi, \eta, x, y) = \frac{z}{j\lambda} \frac{\exp(jk\rho)}{\rho^2} \quad (2.3)$$

และขนาดเซนเซอร์ของอุปกรณ์บันทึกภาพ (CCD หรือ CMOS) ที่เล็กมากเมื่อเทียบกับระยะทางการแพร่ของแสง  $\rho^2$  พารามิเตอร์ จึงถูกลดให้กลายเป็น  $z^2$  ดังนั้นพจน์คอร์เนลจึงถูกเขียนได้ดังนี้

$$g(\xi, \eta, x, y) = \frac{\exp(jk\rho)}{j\lambda z} \quad (2.4)$$

สนามแสง ณ ระนาบภาพ  $R(\xi', \eta')$  ถูกสร้างภาพกลับได้โดยการใช้การแปลงฟูเรียร์กลับของตัวกรองฮอยเกนส์-เฟสเนล ได้ดังนี้

$$R(\xi', \eta') = F^{-1} \{ F(x, y) \cdot F [ g(\xi, \eta, x, y) ] \} \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.11 การสร้างภาพใหม่ของการถ่ายภาพด้วยดิจิทัลโฮโลกราฟี

### หลักการสเปกตรัมเชิงมุม (Angular spectrum)

กำหนดให้ระนาบ  $z = 0$  คือ ระนาบที่วัตถุ ( $\xi, \eta$ ) ดังรูปที่ 2.11 และระนาบของสนามวัตถุ  $O(\xi, \eta)$  ซึ่งใช้การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) แบบ 2 มิติได้ว่า

$$\begin{aligned} O'(f_\xi, f_\eta; 0) &= F\{O(\xi, \eta, 0)\} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O(\xi, \eta, 0) \exp[-j2\pi(f_\xi \xi + f_\eta \eta)] d\xi d\eta \end{aligned} \quad (2.6)$$

และการแปลงฟูเรียร์กลับ (inverse Fourier Transform) ของ Angular spectrum ได้ว่า

$$\begin{aligned} O(f_\xi, f_\eta; 0) &= F^{-1}\{O'(\xi, \eta, 0)\} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O'(\xi, \eta, 0) \exp[-j2\pi(f_\xi \xi + f_\eta \eta)] df_\xi df_\eta \end{aligned} \quad (2.7)$$

โดยที่  $f_\xi$  และ  $f_\eta$  เป็นส่วนประกอบทางความถี่เชิงพื้นที่ (spatial frequency) ให้เป็นระนาบที่คลื่นที่แพร่ไปด้วยทิศแบบโคไซน์ (cosine) ส่วนประกอบของความถี่เชิงพื้นที่คือ

$$\alpha = \lambda f_\xi \beta = \lambda f_\eta \gamma = \sqrt{1 - (\lambda f_\xi)^2 - (\lambda f_\eta)^2} \quad (2.8)$$

จึงทำให้สมการที่ (2.7) ได้เป็น

$$O\left(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}; 0\right) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O(\xi, \eta, 0) \exp\left[-j2\pi\left(\frac{\alpha}{\lambda}\xi + \frac{\beta}{\lambda}\eta\right)\right] d\xi d\eta \quad (2.9)$$

เนื่องจากแสงมีการแพร่ไปเป็นระยะทาง  $z$  จึงมีส่วนประกอบในเลขชี้กำลัง  $\exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z\right)$  ทำให้ Angular spectrum ของสนามวัตถุเป็น

$$\begin{aligned} O\left(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}; z\right) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O(\xi, \eta, 0) \exp\left[-j2\pi\left(\frac{\alpha}{\lambda}\xi + \frac{\beta}{\lambda}\eta\right)\right] \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z\right) d\xi d\eta \\ &= F\left\{O(\xi, \eta, 0) \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z\right)\right\} \end{aligned} \quad (2.10)$$

เมื่อสมการที่ 2.10 มีการแปลงฟูเรียร์กลับ สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned}
O\left(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}; z\right) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O'\left(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}, 0\right) \exp\left[-j2\pi\left(\frac{\alpha}{\lambda}\xi + \frac{\beta}{\lambda}\eta\right)\right] \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z\right) d\frac{\alpha}{\lambda} d\frac{\beta}{\lambda} \\
&= F^{-1}\left\{O'(\xi, \eta; 0) \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z\right)\right\}
\end{aligned} \tag{2.11}$$

จากการแพร่ของคลื่นจากระนาบวัตถุไปยังระนาบโฮโลกราฟีไปเป็นระยะ  $z$  สนามทางแสงบนระนาบโฮโลกราฟีจึงเป็นไปดังสมการที่ 2.12

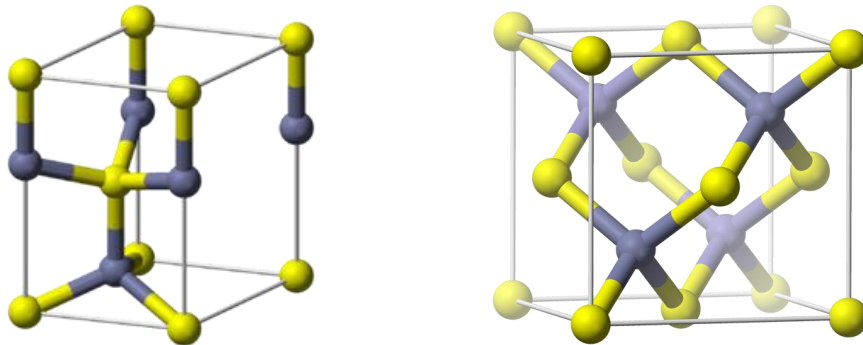
$$\begin{aligned}
h(x, y, z) &= O(x, y, z) \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O'\left(\frac{\alpha}{\lambda}, \frac{\beta}{\lambda}, 0\right) \exp\left[-j2\pi\left(\frac{\alpha}{\lambda}\xi + \frac{\beta}{\lambda}\eta\right)\right] \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z\right) d\frac{\alpha}{\lambda} d\frac{\beta}{\lambda} \\
&= F^{-1}\left\{F\{O(x, y, 0)\} \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z\right)\right\}
\end{aligned} \tag{2.12}$$

ในส่วนของระนาบการสร้างภาพโฮโลแกรม  $R(\xi', \eta')$  สามารถเขียนอยู่ในรูปส่วนกลับของการแปลงฟูเรียร์จากสนามโฮโลกราฟี

$$R(\xi', \eta', z) = F^{-1}\left\{h(x, y, 0) \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}\gamma z\right)\right\} \tag{2.13}$$

## 2.5 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดสังกะสีออกไซด์เจืออลูมิเนียม (AlZnO)[14]

โดยทั่วไปสารประกอบสังกะสีออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบ wurtzite ซึ่งเป็นประจุไอออนบวกล้อมรอบไอออนลบ ส่วนโครงสร้างแบบ Zinc blende จะมีโครงสร้างคล้ายเพชรแต่แตกต่างกันที่ basic lattice จะอยู่ที่  $(0,0,0)$  และ  $(1/4, 1/4, 1/4)$  โดยทั้งสองตำแหน่งนี้จะเป็น basic lattice คนละชนิดกัน



รูปที่ 2.12 โครงสร้างแบบ wurtzite (ซ้าย) และ โครงสร้างแบบ Zinc blende (ขวา)

สังกะสีออกไซด์เจืออลูมิเนียม  $Zn_{0.96}Al_{0.04}O$  โดยการที่เจืออลูมิเนียมเข้าไปเนื่องจากอลูมิเนียมมีอิเล็กตรอนวงนอก 3 ตัว มากกว่าสังกะสีทำให้น้ำไฟฟ้าได้ดีกว่าสังกะสีอย่างเดียวที่มีอิเล็กตรอนวงนอก 2 ตัว และมีค่าสภาพนำความร้อนลดลง ส่งผลให้การส่งผ่านความร้อนจากวงจรไฟฟ้าไม่ถูกส่งผ่านไปถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[15-21]

ในงานวิจัยของ C. Goncalves และคณะ ได้ศึกษามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานในสุญญากาศและก๊าซเฉื่อย โดยใช้สารเชื่อมประสานชนิด Sn-3Ag-0.5Cu บนฐานของ Sn, NiAu, และ OSP (Organic Solderability Preservative) ในอุณหภูมิ  $225C^{\circ}$  ได้มุมสัมผัสบนฐานเมื่อใส่ก๊าซเฉื่อยลงไปพบว่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานอยู่บน NiAg มีมุมสัมผัสที่ดีกว่า OPS และ Sn และในสุญญากาศทุกสารเชื่อมประสานมีค่าของมุมลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น<sup>[15]</sup> การ ในงานวิจัยของ Mayappan และคณะ ได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดกับ Sn-Zn ที่มีต่ออุณหภูมิในการหลอมโดยใช้ Wetting balance tester และมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน โดยได้ศึกษาสารเชื่อมประสาน Sn-40Pb, Sn-9Zn และ Sn-8Zn-3Bi ตามลำดับ แล้วผสมฟลักซ์ชนิด HCl การแผ่ของสารเชื่อมประสานมีการแผ่ที่ลดลงหรือแผ่ได้เล็กน้อยเมื่อด้วยฟลักซ์ MHS พบว่าการแผ่ของสารเชื่อมประสานมีการแผ่ที่เพิ่มขึ้นหรือแผ่ได้มากขึ้น เนื่องผลของ HCl มีการระเหยที่เร็วกว่า MHS ทำให้ฟลักซ์ที่เป็นตัวช่วยในการเร่งการแผ่สารเชื่อมประสานระเหยได้เร็วกว่าจึงได้ผลของการแผ่ที่เร็วกว่าการผสมด้วย MHS<sup>[16]</sup> ในงานวิจัยของ ฉวีวรรณ ลีสุวรรณ ได้ศึกษาการแผ่ของสารเชื่อมประสานและโครงสร้างทางจุลภาคของสารเชื่อม ชนิด Sn-0.3Ag-0.7Cu พบว่าการเติมอินเดียมช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความประสานให้กับสารเชื่อมประสาน<sup>[17]</sup> ในงานวิจัยของ Noh และคณะได้ศึกษาผลกระทบของการแผ่และโครงสร้างทางจุลภาค ของสารเชื่อมประสานชนิด Sn-Ag ผสมด้วย Ce โดยใช้วิธี Wetting balance tester พบว่า Sn-1.0Ag-0.3Ce มีการแผ่ที่ดีกว่าไม่มีการเติม Ce<sup>[18]</sup> ในงานวิจัยของ Liang และคณะ ได้ทำการศึกษาศารเชื่อมประสานชนิด SnZn-xEr เมื่อเติมธาตุเออร์เบียม (Er) ในปริมาณที่น้อยกว่า 0.08 wt% พบว่าในการเติม Er ในปริมาณที่มากกว่า 0.08 wt% มีการแผ่ของสารเชื่อมประสานลดลง<sup>[19]</sup> ในงานวิจัยของ Chen และคณะ ได้ทำการศึกษาสมบัติการแผ่ของสารเชื่อมประสาน ของสารเชื่อมประสานชนิด Sn-Zn-xGa บนผิวทองแดง พบว่าสารเชื่อมประสานชนิด Sn-9Zn-0.5Ga แผ่กระจายได้ดีกว่าสารเชื่อมประสานชนิด Sn-9Zn และก่อให้เกิดการป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่า และเพิ่มการป้องกันให้เกิดการออกซิเดชันได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเติม Ga ที่ 1-3wt%<sup>[20]</sup> ในงานวิจัยของ L.Wang และคณะ ได้ทำการปรับปรุงการแผ่ของสารเชื่อมประสานโดยได้ศึกษาศารเชื่อมประสานชนิด Sn-Ag-RE โดยการเติม RE ลงในสารเชื่อมประสาน Sn-3.5Ag จนถึง 0.5 wt% มีผลทำให้สารเชื่อมประสานมีมุมสัมผัสลดลงเท่ากับ  $31\pm 2^{\circ}$  ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการเติม RE ที่ 0.5 wt% จากนั้นทำให้มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานเพิ่มขึ้น<sup>[21]</sup>

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยการผสมสารเชื่อมประสานเข้ากับ ALZnO การเตรียมการทดลองระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย และในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนั้นได้มีอยู่ 2 ตอน คือ การศึกษาสมบัติของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมและหลังจากการหลอมแล้ว

#### 3.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยได้ทำการถ่ายภาพของสารเชื่อมประสานโดยใช้ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟี โดยมีแหล่งกำเนิดแสงชนิดเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) แสงสีแดงมีความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร ขนาดกำลัง 1.2 มิลลิวัตต์ (รุ่น CPS635R, Thorlabs) ส่งผ่านเลนส์นูนแกรมนานาบ (Plano-Convex Lenses) แบบไม่เคลือบผิว (Uncoated) ขนาดความยาวโฟกัส 200 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร (LA1708-N-BK7) เพื่อขยายลำแสงให้มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุเป็นแบบกาเบอร์โฮโลกราฟีวัตถุและเป็นลำแสงขนานและส่องผ่านเข้าสู่กล้องดิจิทัลเซนเซอร์ชนิด CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) มีขนาดเซนเซอร์ 22.3×14.9 มิลลิเมตร มีความละเอียดสูงสุด 18 ล้านพิกเซล (Canon EOS 700D)



รูปที่ 3.1 การเตรียมระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์

ในการเตรียมสารเชื่อมประสานเราสามารถใช้สารเชื่อมชนิด SAC305 โดยได้ทำการผสม ALZnO โดยน้ำหนักโดยใช้ตามสมการที่ 3.1 ในการเตรียมความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง เพื่อชั่งสารเชื่อมประสานและ ALZnO ให้นำหนักตามต้องการ และผสมโดยการกวนให้เข้ากัน (Stirring) เป็นเวลา 30 นาที

$$WT\% = \frac{ALZnO\ weight}{ALZnO\ weight + Solder\ weight} \times 100\% \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.2 สารเชื่อมผสม (Solder SAC305) (ซ้าย) สารเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด ALZnO (ขวา)

$$\begin{aligned}
 0.02\% &= \frac{0.001g}{5g + 0.001g} \times 100\% \\
 0.05\% &= \frac{0.0025g}{5g + 0.0025g} \times 100\% \\
 0.10\% &= \frac{0.005g}{5g + 0.005g} \times 100\%
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

เมื่อได้สารเชื่อมผสมที่มีความเข้มข้นตามน้ำหนักเป็น 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% แล้วนำไปทำการใส่ลงให้แม่พิมพ์อลูมิเนียมทรงกระบอกโดยมีความสูง 1.5 มิลลิเมตร และสูง 5.5 มิลลิเมตร ลงบนแผ่นทองแดงที่ทำความสะอาดโดยใช้แอลกอฮอล์เข้มข้น 70% เพื่อขจัดคราบไขมันออกจากแผ่นทองแดง



รูปที่ 3.3 สารเชื่อมผสมที่มีขนาดความสูง 1.5 มิลลิเมตร และสูง 5.5 มิลลิเมตร

เมื่อได้สารเชื่อมผสมที่ผ่านการผสม ALZnO ที่ความเข้มข้นตามน้ำหนักแล้วนำสารเชื่อมผสมที่ได้ไปทำการหลอมที่เตาความร้อน (Hot plate 18715-1500 วัตต์) โดยหลอมที่อุณหภูมิ  $250 \pm 5^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 30 วินาที



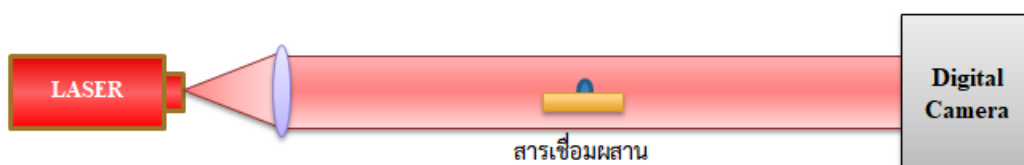
รูปที่ 3.4 สารเชื่อมผสานที่ผ่านการหลอมที่อุณหภูมิ  $250 \pm 5$  °C เป็นเวลา 30 วินาที

สารเชื่อมผสานที่ผ่านการหลอมแล้วจะมีลักษณะเป็นทรงครึ่งวงกลม มีสีของสารเชื่อมผสานเป็นสีเงินวาว และบริเวณโดยรอบมีสีใสลักษณะคล้ายน้ำ คือ ฟลักซ์ที่ปกคลุมสารเชื่อมผสานเพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ชั้นของสารเชื่อมผสาน

## 3.2 วิธีการทดลอง

### 3.2.1 การศึกษาสมบัติของสารเชื่อมผสานหลังการหลอม

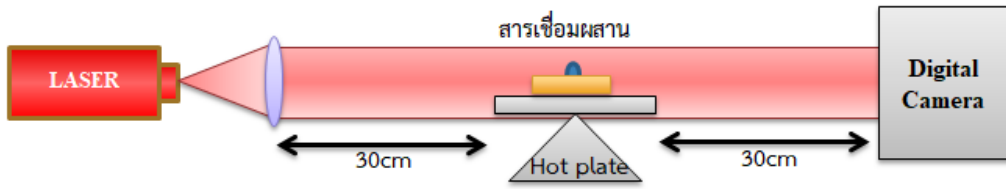
เมื่อได้ทำการหลอมสารเชื่อมผสานที่มีความเข้มข้นตามน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% แล้ว ได้นำสารเชื่อมผสานที่ได้ไปทำการถ่ายภาพโฮโลกราฟีแล้วนำภาพที่ได้ไปทำการสร้างภาพใหม่โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Reconstruction) และนำภาพที่ผ่านการสร้างใหม่มาทำการวัดหามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานเพื่อศึกษาคุณสมบัติการแผ่ของสารเชื่อมผสาน



รูปที่ 3.5 ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ในการศึกษาสารเชื่อมผสานที่ผ่านการหลอมแล้ว

### 3.2.2 การศึกษาสมบัติสารเชื่อมผสานระหว่างการหลอม

ในการศึกษาระหว่างการหลอมของสารเชื่อมผสานนั้นได้ทำการถ่ายภาพโฮโลกราฟีในขณะที่สารเชื่อมผสานอยู่บนเตาหลอมโดยได้วางระบบเป็นดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบอินไลน์ (In-line Holography) ชนิดกาเบอร์โฮโลกราฟี (Gabor Holography) โดยได้วางเตาให้ความร้อนอยู่ห่างจากเลนส์เป็นระยะ 30 เซนติเมตร และห่างจากกล้องดิจิทัลเป็นระยะ 30 เซนติเมตรเช่นกัน เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ความร้อนทำให้เกิดความเสียหายให้แก่อุปกรณ์การทดลอง และได้ทำการถ่ายภาพโฮโลกราฟี ณ เวลาที่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ในขณะที่เตาให้ความร้อนมีอุณหภูมิ  $250 \pm 5$  °C แล้วนำภาพที่ได้ไปทำการสร้างภาพใหม่โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Reconstruction) และนำภาพที่ได้ทำการวัดค่ามุมสัมผัสเพื่อคุณสมบัติการแผ่ของสารเชื่อมผสาน



รูปที่ 3.6 ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีแบบออนไลน์ในการศึกษาสารเชื่อมผสมระหว่างการหลอม

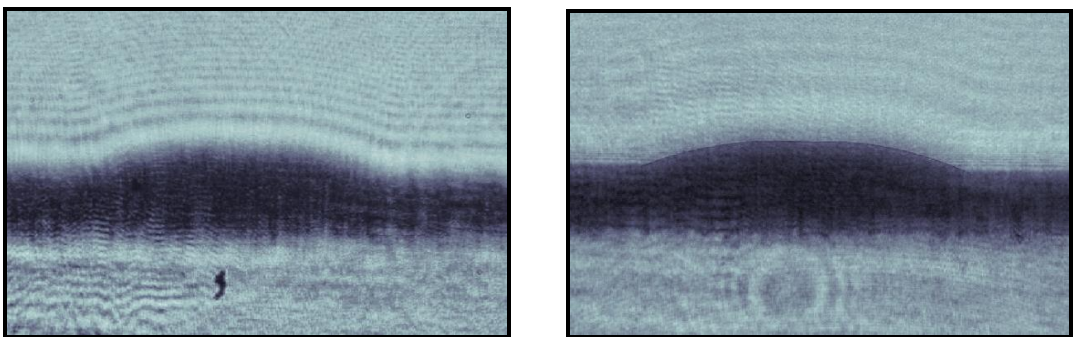
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

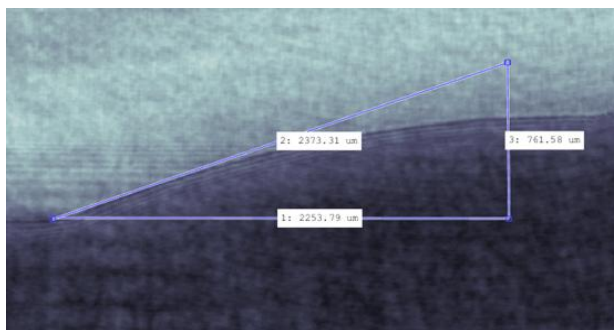
ในบทนี้จักกล่าวถึงผลการทดลองของสารเชื่อมประสานที่ผสม AlZnO ในความเข้มข้นต่อน้ำหนักโดยใช้ปริมาณความเข้มข้นดังต่อไปนี้ 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% โดยได้วิเคราะห์ผลการจากการทดลองทั้ง 2 การทดลอง ในตอนแรกได้ศึกษาสารเชื่อมประสานที่หลอมแล้ว ณ อุณหภูมิ  $250 \pm 5$  °C ผ่านการถ่ายภาพดิฟฟราคชันรังสีเอกซ์ โดยได้วิเคราะห์ ค่ามุมสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสาน และค่าความหนาของฟลักซ์ที่ปกคลุมสารเชื่อมประสาน ในตอนที่สองนั้นได้ศึกษาสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมโดยหลอมที่ อุณหภูมิ  $250 \pm 5$  °C และทำการถ่ายภาพดิฟฟราคชันรังสีเอกซ์ในเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที แล้วได้ทำการวัดค่ามุมสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสาน

#### 4.1 ผลจากการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผ่านการหลอม

ในการศึกษาสารเชื่อมประสานที่ผ่านการหลอมนั้น ได้ทำการทำการทดลองใหม่ 3 ครั้ง โดยวางระบบดิฟฟราคชันรังสีเอกซ์ตามรูปที่ 3.5 และได้ถ่ายภาพดิฟฟราคชันรังสีเอกซ์ของสารเชื่อมประสานในความเข้มข้นต่อน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% แล้วนำภาพที่ได้ไปเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อรอรับการสร้างภาพใหม่โดยใช้โปรแกรมรีคอนสตรัคชัน ทหาระยะรีคอนสตรัคชัน เมื่อได้ระยะที่เกิดภาพชัดเจนแล้วจึงนำภาพที่ได้ไปทำการวัดค่ามุมสัมพัทธ์ตามรูปที่ 2.2 โดยแสดงในรูปที่ 4.3 และการวัดหาค่าความหนาของฟลักซ์โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม (Amplitude), เฟส (phase) กับระยะทาง (Distance :  $\mu\text{m}$ ) ค่าความหนาของฟลักซ์ที่ได้จะแสดงออกมาในรูปของเฟสและความเข้มที่สอดคล้องกันโดนที่บริเวณขอบของสารเชื่อมประสานจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มที่ลดลงนั้นแสดงให้เห็นถึงว่าบริเวณที่เป็นอากาศและสารเชื่อมประสานมีค่าความเข้มที่ไม่เท่ากัน และค่าของเฟสที่บริเวณนั้นมีความไม่สม่ำเสมอเหมือนในระยะเวลาแรกที่อยู่ในอากาศบริเวณที่เฟสมีสม่ำเสมอ นั้นจึงเป็นที่อยู่ของฟลักซ์สามารถวัดความหนาของฟลักซ์ได้โดยวัดระยะของเฟสที่ไม่มีความสม่ำเสมอแสดงในรูปที่ 4.3

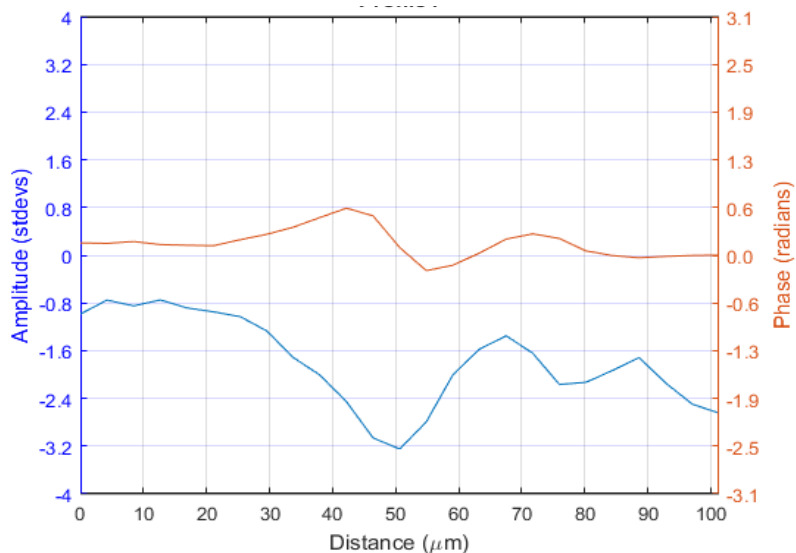


รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายดิฟฟราคชันรังสีเอกซ์ (ซ้าย) ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรัคชัน (ขวา)

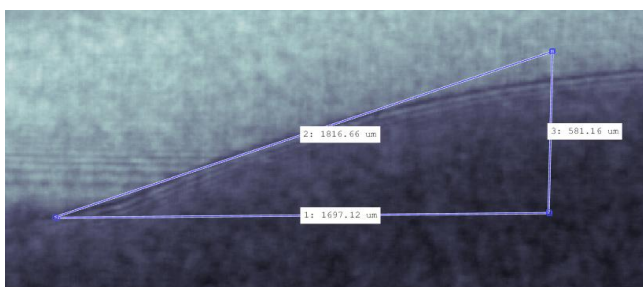
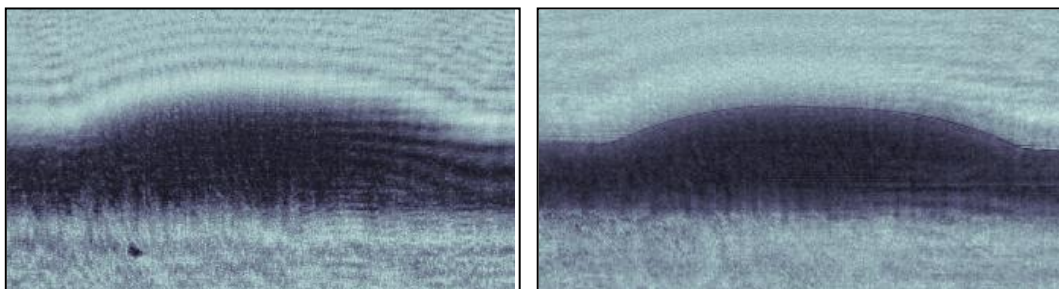


รูปที่ 4.2 การวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมผสมที่มีความเข้มข้น AlZnO 0.00%

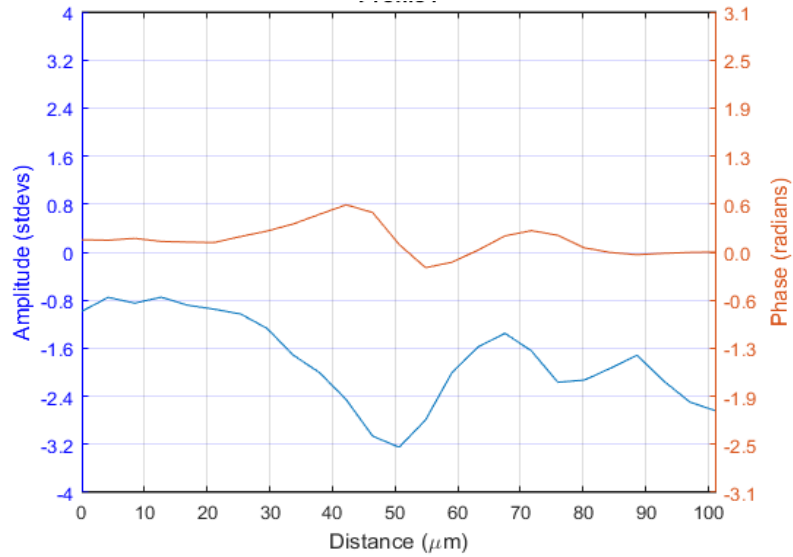
**AlZnO (0%) S3**



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม (Amplitude), เฟส (phase) กับระยะทาง (Distance)

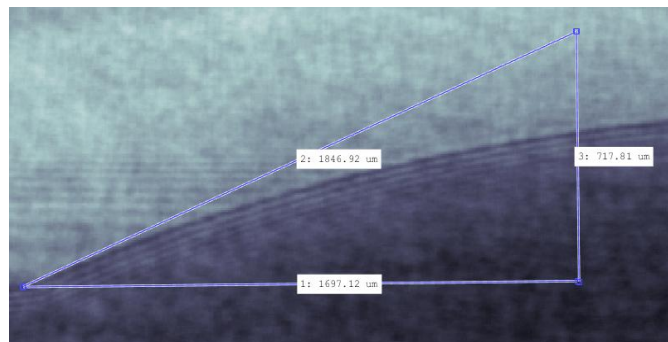
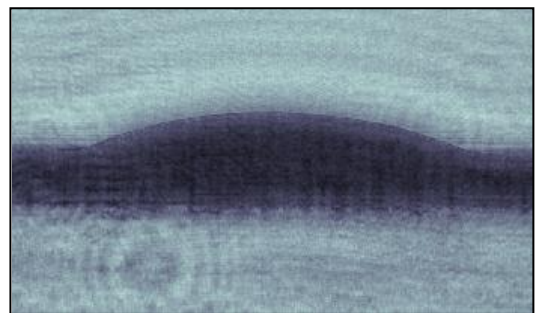
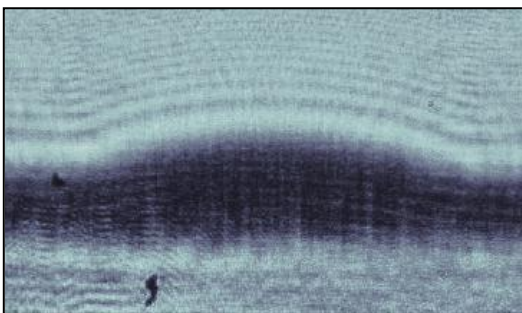


### AlZnO (0%) S3

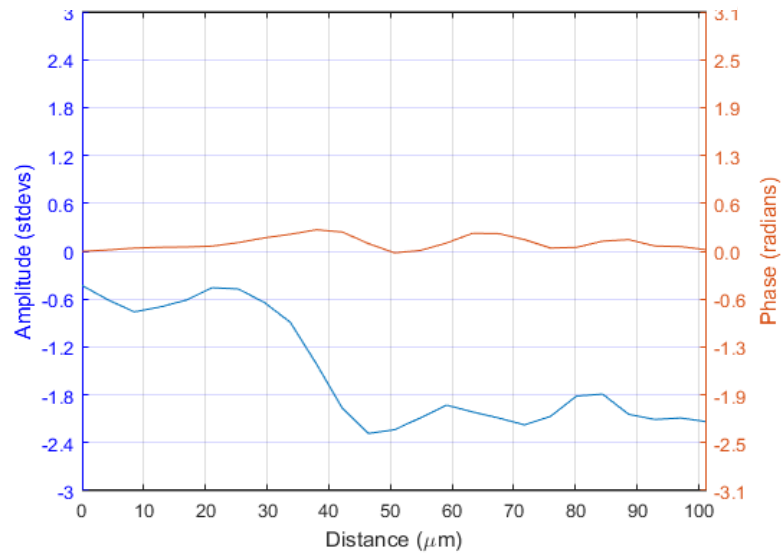


รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการหาสมบัติของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.00%

สารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.00% ของการผสมด้วย AlZnO เมื่อได้ทำการวัดมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานของทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่าของมุมสัมผัสเป็น 18.664, 18.625 และ 18.903 องศา ค่าเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม 0.00 % เป็น 18.740 องศา และวัดค่าความหนาของฟลักซ์ได้เป็น 15, 20 และ 25 ไมโครเมตร ค่าเฉลี่ยที่วัดได้ของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม 0.00% เป็น 20.0 ไมโครเมตร

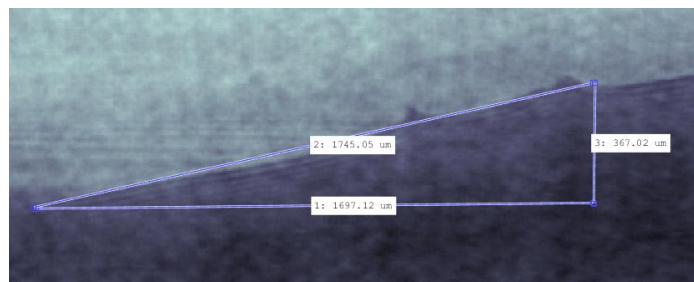
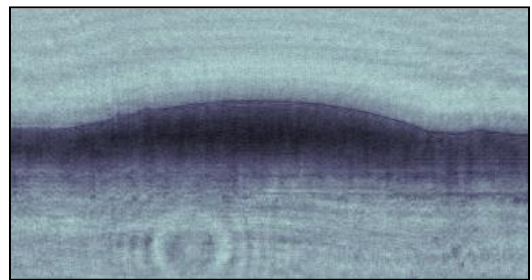
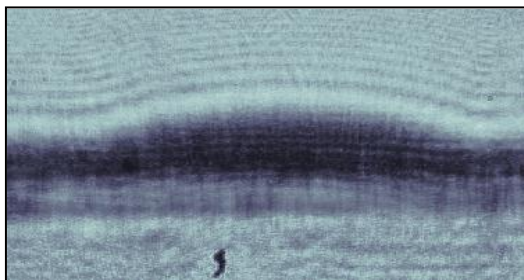


### AlZnO (0.02%) S1

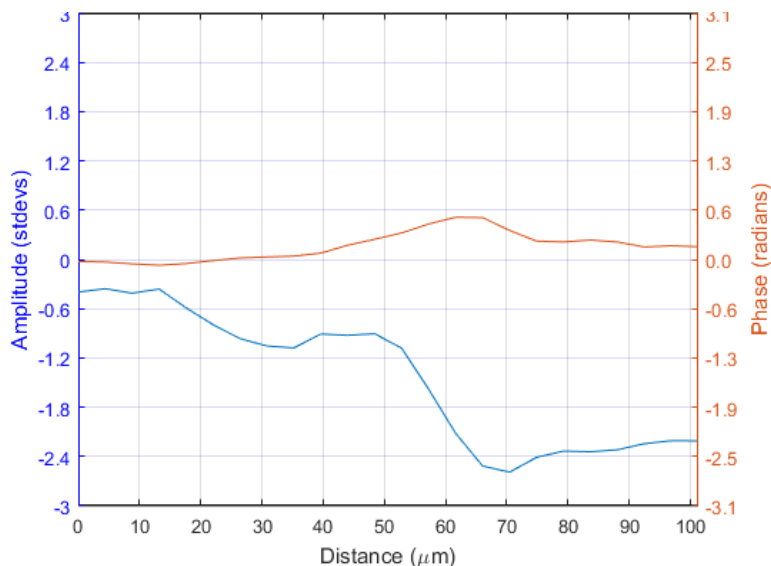


รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการหาสมบัติของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.02%

สารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.02% ของการผสมด้วย AlZnO เมื่อได้ทำการวัดมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานของทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่าของมุมสัมผัสเป็น 22.926, 22.894 และ 22.917 องศา ค่าเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม 0.00 % เป็น 22.912 องศา และวัดค่าความหนาของฟลักซ์ได้เป็น 15, 20 และ 20 ไมโครเมตร ค่าเฉลี่ยที่วัดได้ของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม 0.00% เป็น 18.3 ไมโครเมตร

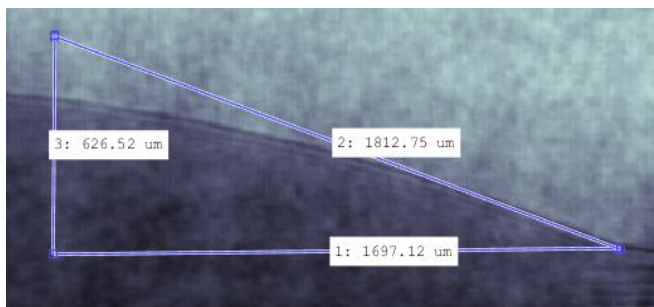
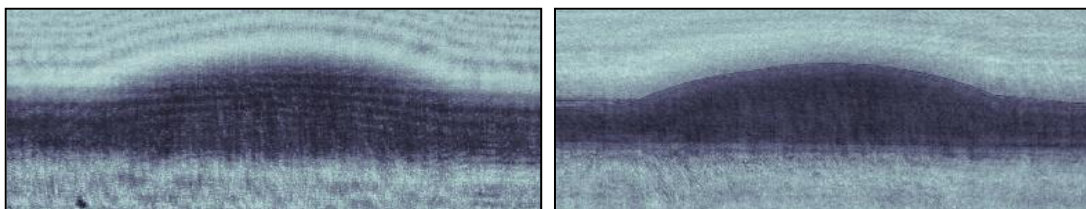


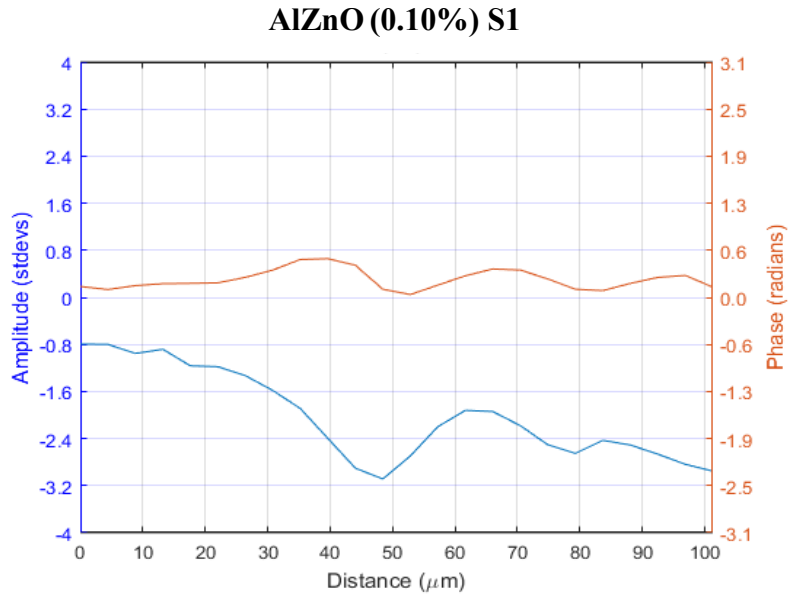
### AlZnO (0.05%) S1



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการหาสมบัติของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.05%

สารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.05% ของการผสมด้วย AlZnO เมื่อได้ทำการวัดมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานของทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่าของมุมสัมผัสเป็น 12.202, 12.545 และ 13.840 องศา ค่าเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม 0.00 % เป็น 12.862 องศา และวัดค่าความหนาของฟลักซ์ได้เป็น 20, 25 และ 20 ไมโครเมตร ค่าเฉลี่ยที่วัดได้ของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม 0.00% เป็น 21.7 ไมโครเมตร



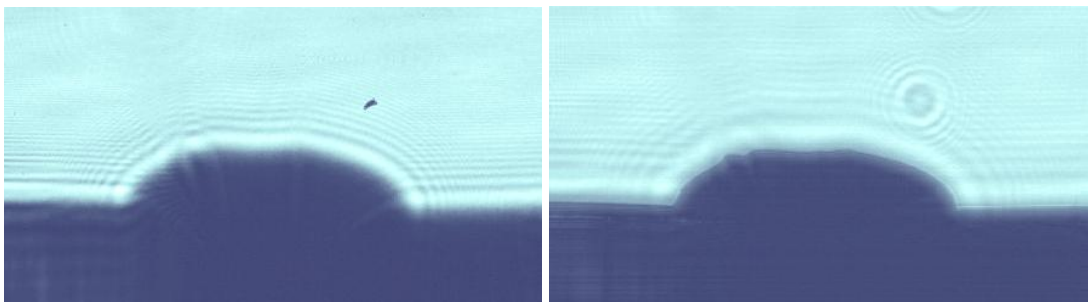


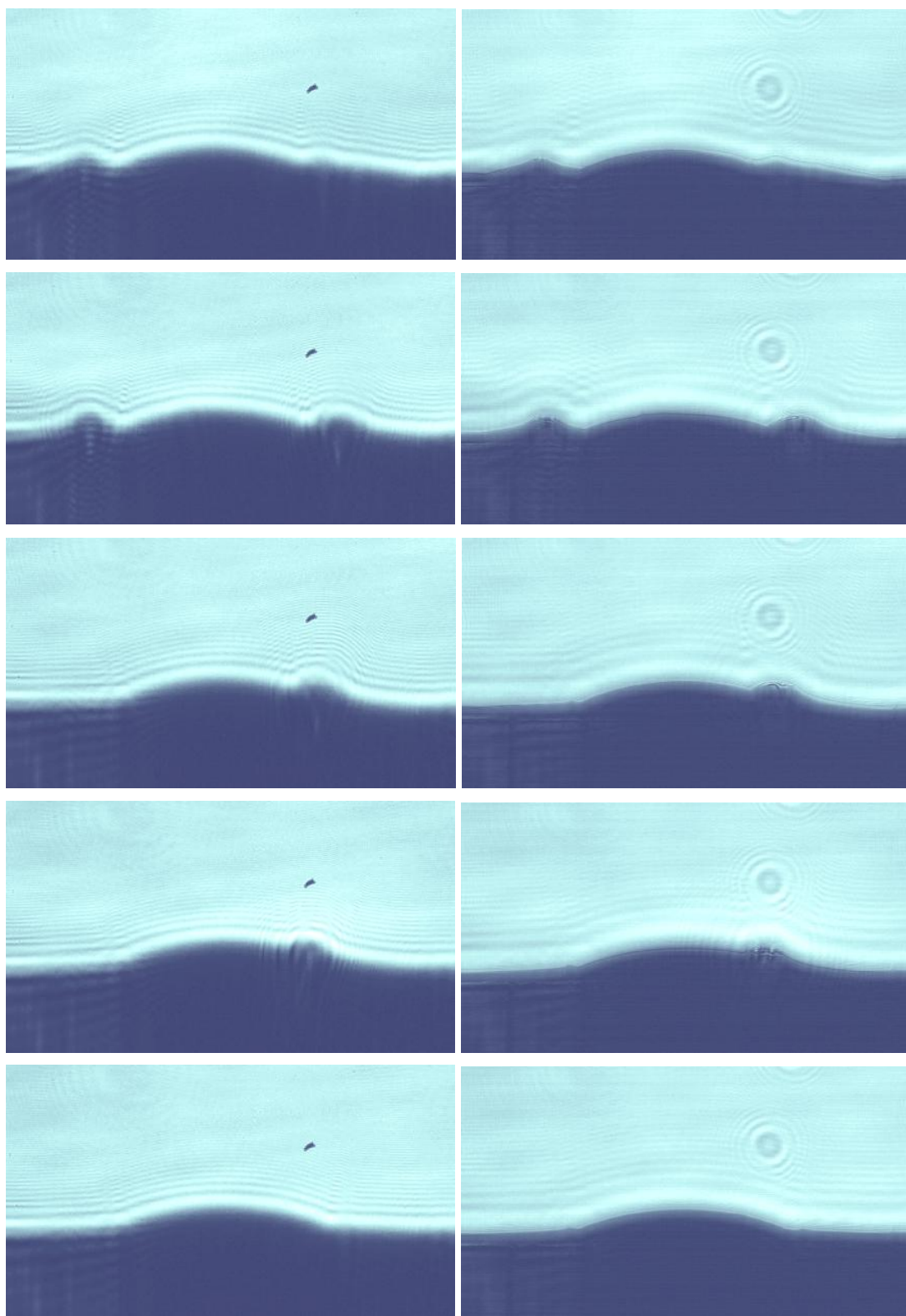
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการหาสมบัติของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.10%

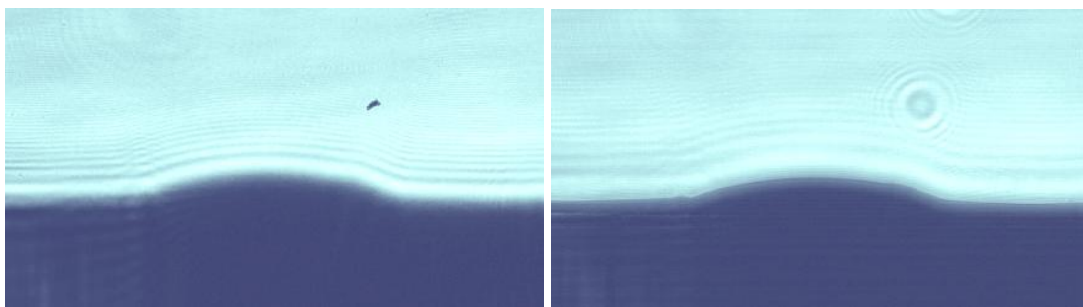
สารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.10% ของการผสมด้วย AlZnO เมื่อได้ทำการวัดมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานของทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้ค่าของมุมสัมผัสเป็น 22.120, 22.152 และ 20.262 องศา ค่าเฉลี่ยของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม 0.00 % เป็น 21.511 องศา และวัดค่าความหนาของฟลักซ์ได้เป็น 25, 25 และ 30 ไมโครเมตร ค่าเฉลี่ยที่วัดได้ของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม 0.00% เป็น 26.7 ไมโครเมตร

#### 4.2 ผลจากการศึกษาสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอม

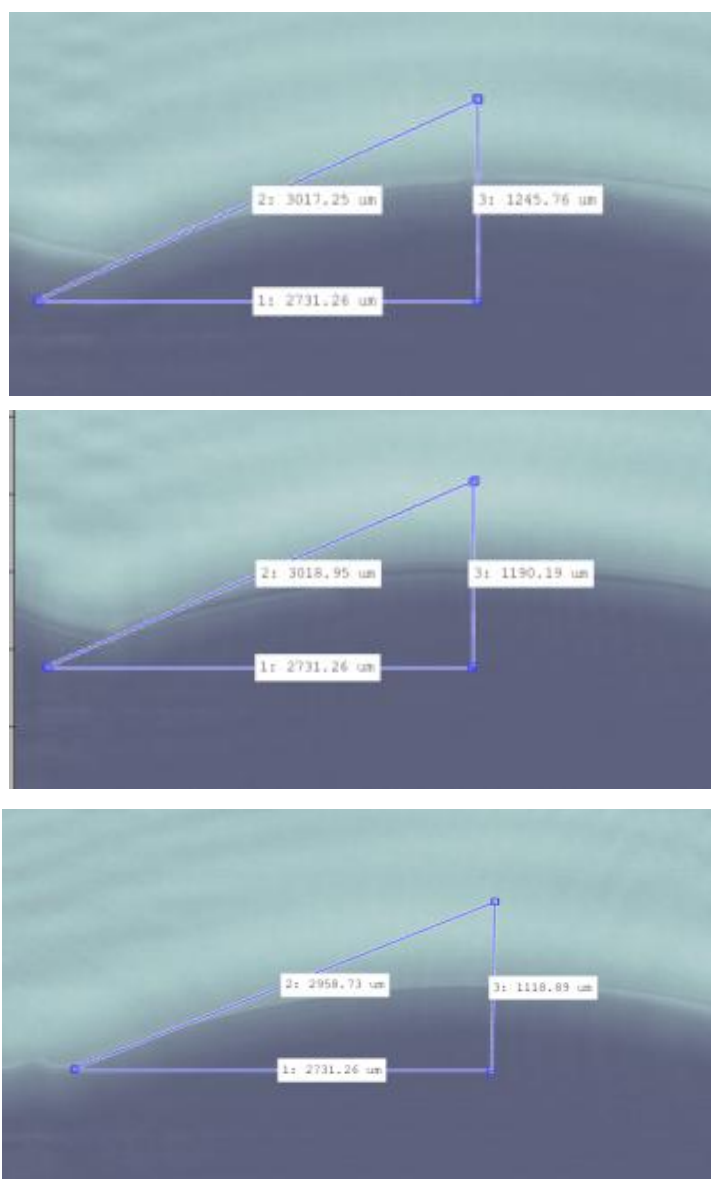
การทดลองสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมได้ทำการวางระบบดิจิทัลไฮโดรกราฟีตามรูปที่ 3.6 โดยที่เปิดเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $250 \pm 5$  °C แล้วนำสารเชื่อมประสานที่มีขนาดตามรูปที่ 3.3 วางลงเตาให้ความร้อนโดยให้แสงจากเลเซอร์ตรงกับสารเชื่อมประสานและทำการถ่ายภาพไฮโดรกราฟีโดยที่ทำการถ่ายในเวลาที 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที และนำรูปที่ได้ทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานโดยใช้การรีคอนสตรัคชัน การรีคอนสตรัคชันในภาพระหว่างการหลอมจะเห็น

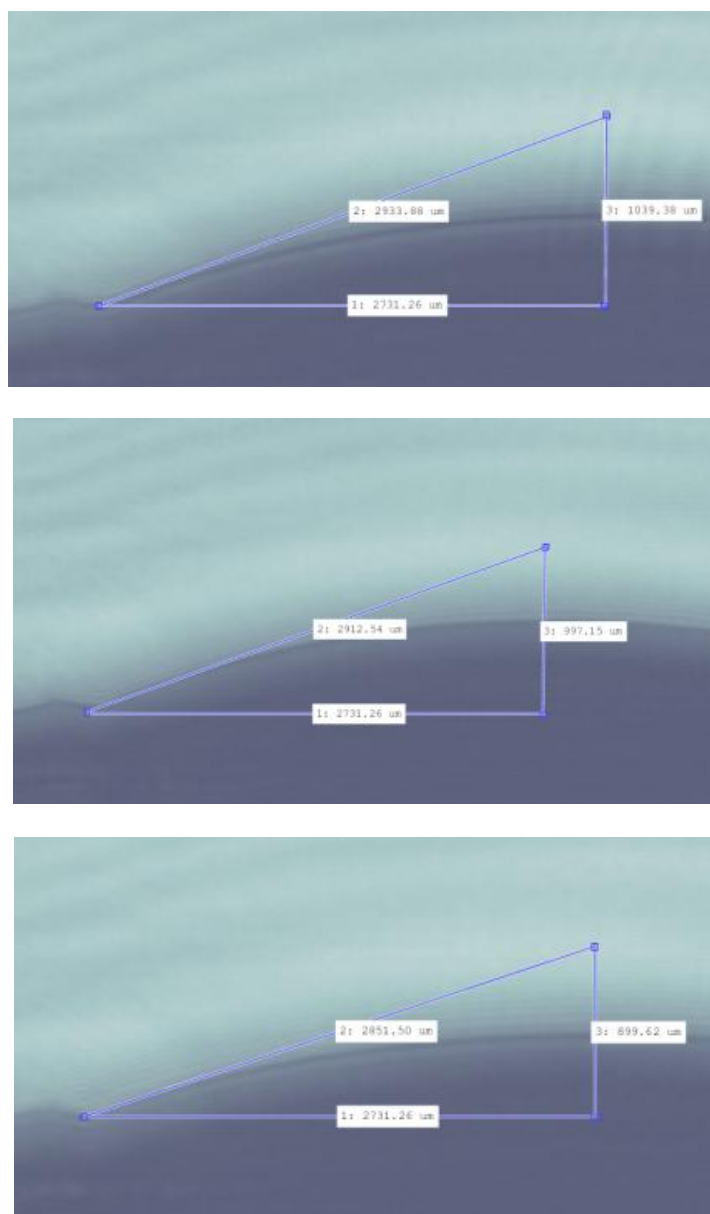






รูปที่ 4.8 ตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.00% ภาพถ่ายดิจิทัลโฮโลกราฟี (ซ้าย) ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรักชัน (ขวา) ระหว่างการหลอมที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ



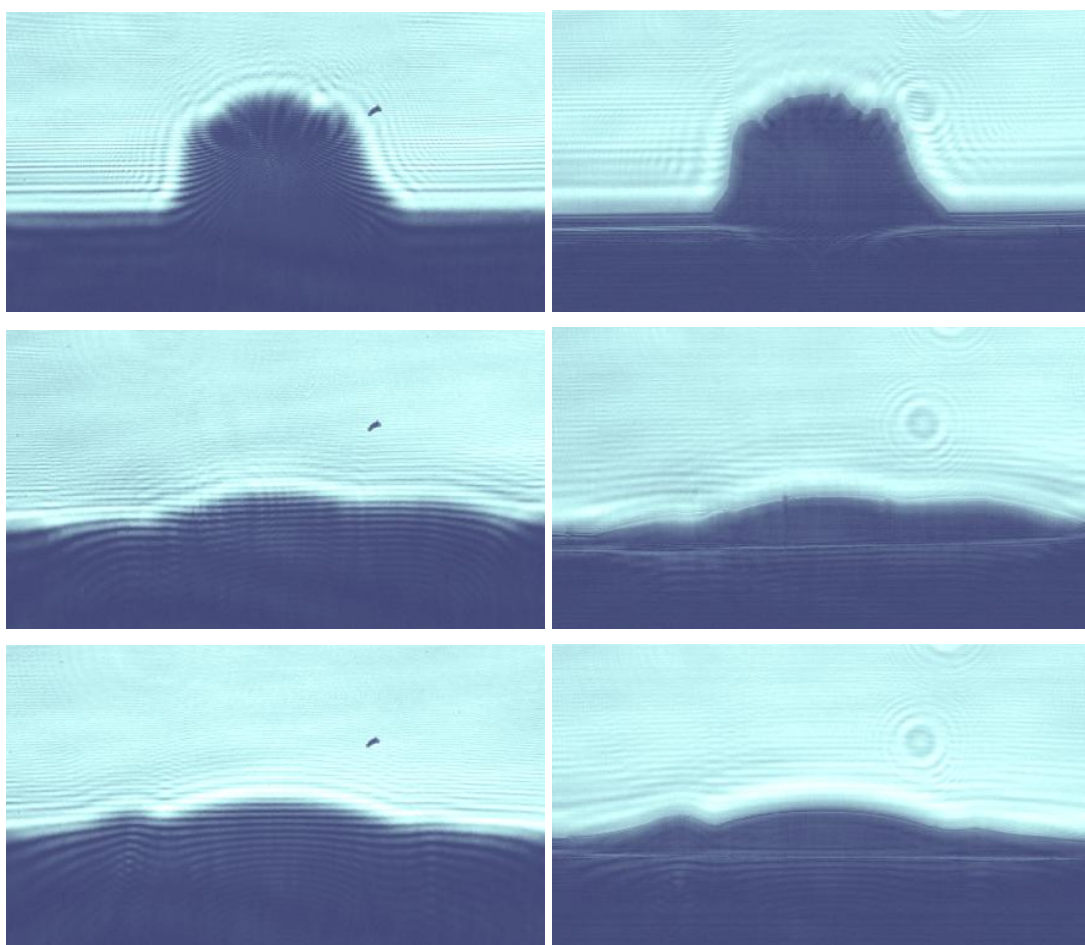


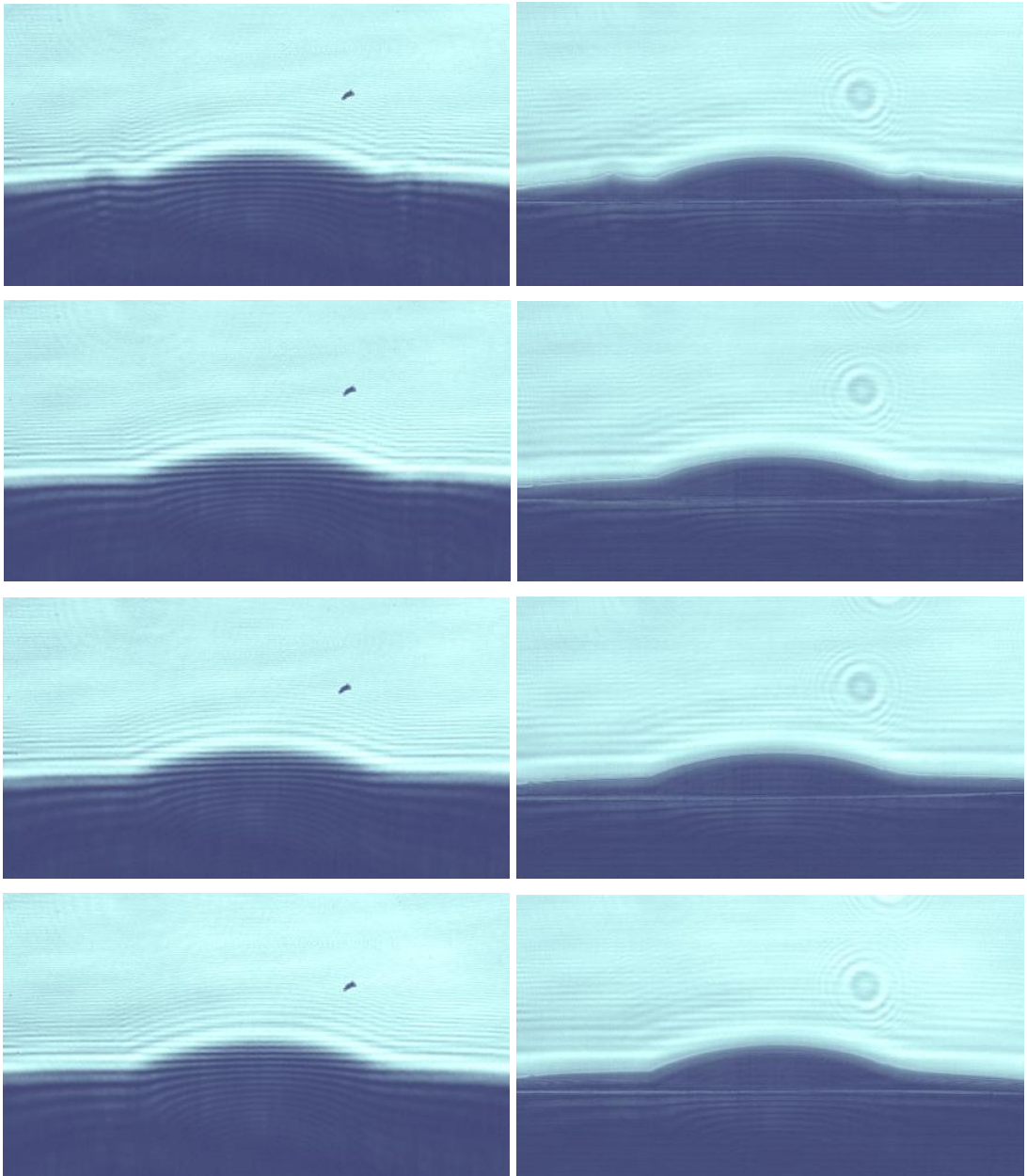
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการมุ่มสัมผัสของสารเชื่อมผสานระหว่างการหลอมที่มีความเข้มข้น 0.00% ระหว่างการหลอมที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ

สารเชื่อมผสานที่มีความเข้มข้น 0.00% ที่ศึกษามุ่มสัมผัสระหว่างการหลอมโดยได้ทำการวัดมุ่มของสารเชื่อมผสานที่ได้ทำการทดลองใหม่ทั้ง 3 ครั้ง โดยค่าที่วัดได้แสดงตามตารางที่ 4.1 ค่าของสารเชื่อมผสานมีค่ามุ่มสัมผัสที่ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

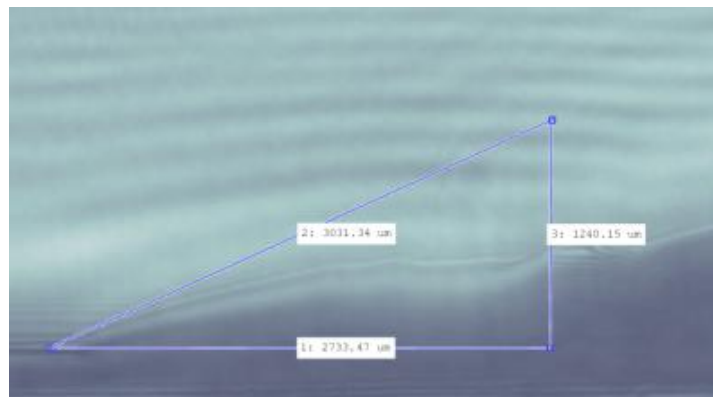
ตารางที่ 4.1 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น0.00%

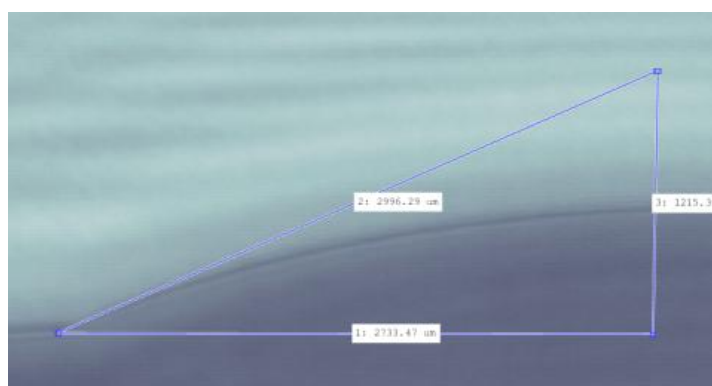
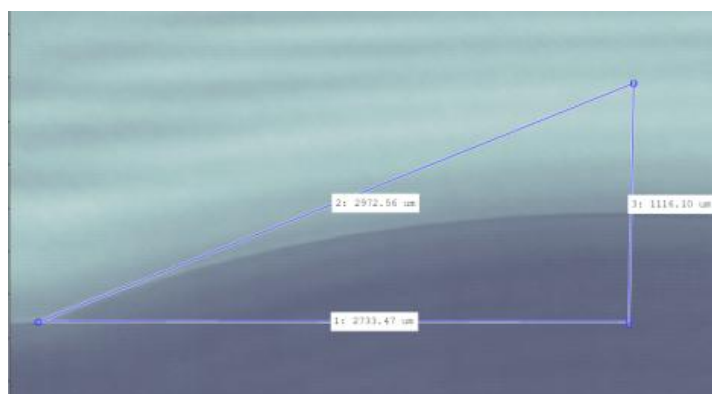
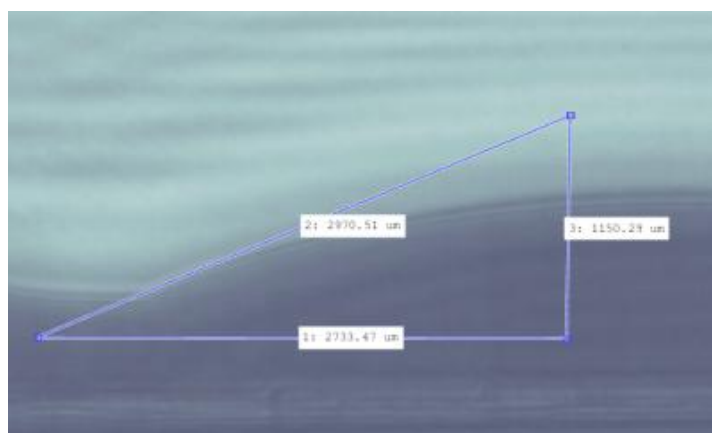
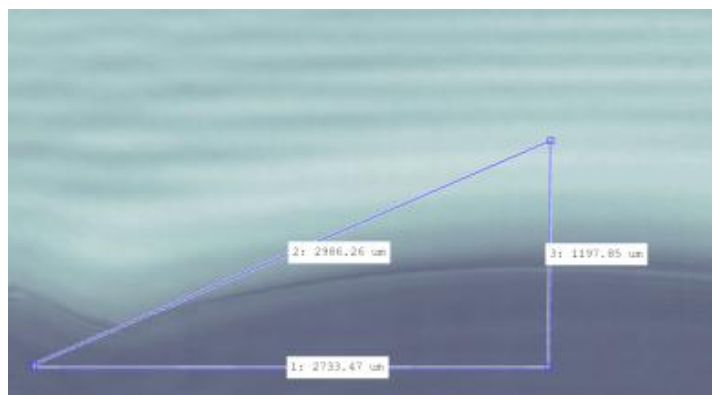
เวลา (วินาที)	มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน0.00% (องศา)		
	ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่2	ตัวอย่างที่3
5	19.848	-	24.518
10	20.230	20.833	23.545
15	19.741	19.295	22.276
20	19.347	18.963	20.834
25	18.452	18.517	20.056
30	18.152	18.296	18.230

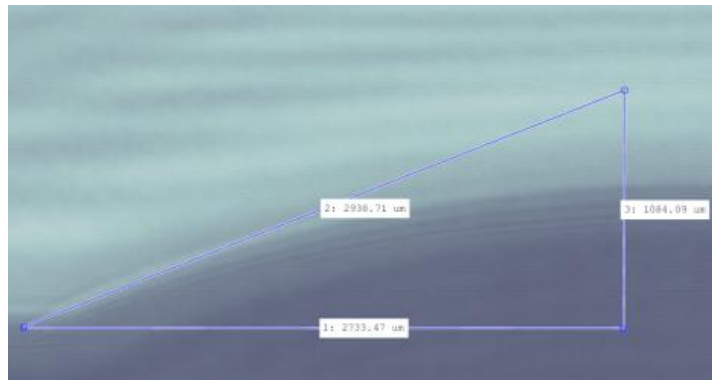




รูปที่ 4.10 ตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.02% ภาพถ่ายดิจิทัลโฮโลกราฟี (ซ้าย) ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรักชัน (ขวา) ระหว่างการหลอมที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ





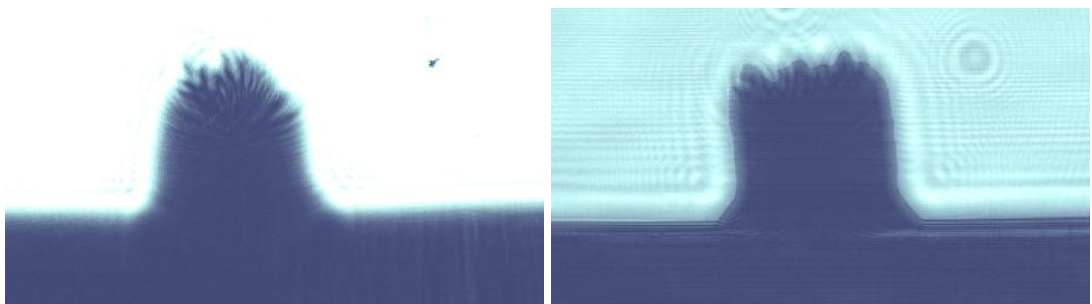


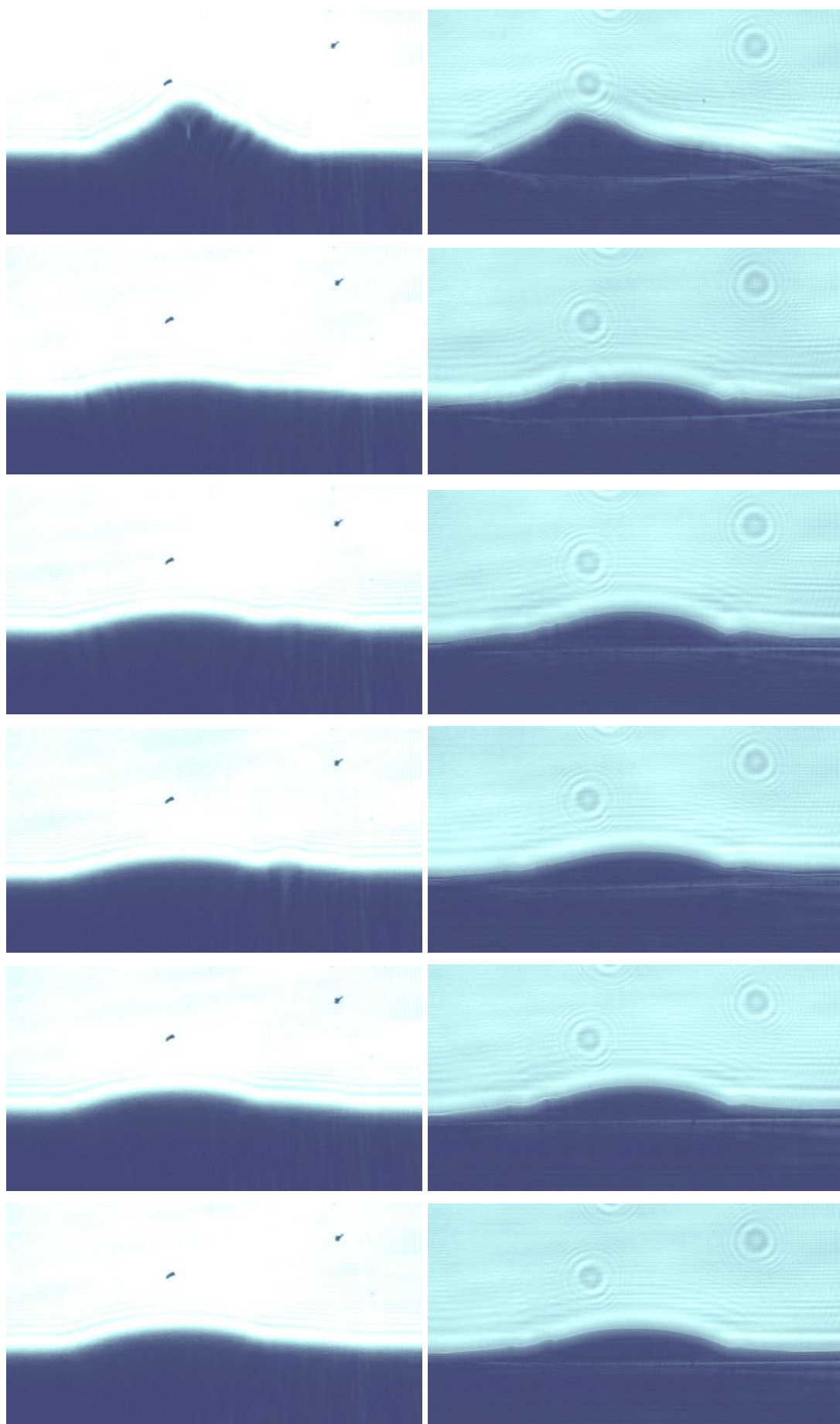
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการมูมสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมที่มีความเข้มข้น 0.02% ระหว่างการหลอมที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ

สารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.02% ที่ศึกษาการมูมสัมพัทธ์ระหว่างการหลอมโดยได้ทำการวัดมูมของสารเชื่อมประสานที่ได้ทำการทดลองใหม่ทั้ง 3 ครั้ง โดยค่าที่วัดได้แสดงตามตารางที่ 4.2 ค่าของสารเชื่อมประสานมีค่ามูมสัมพัทธ์ที่ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

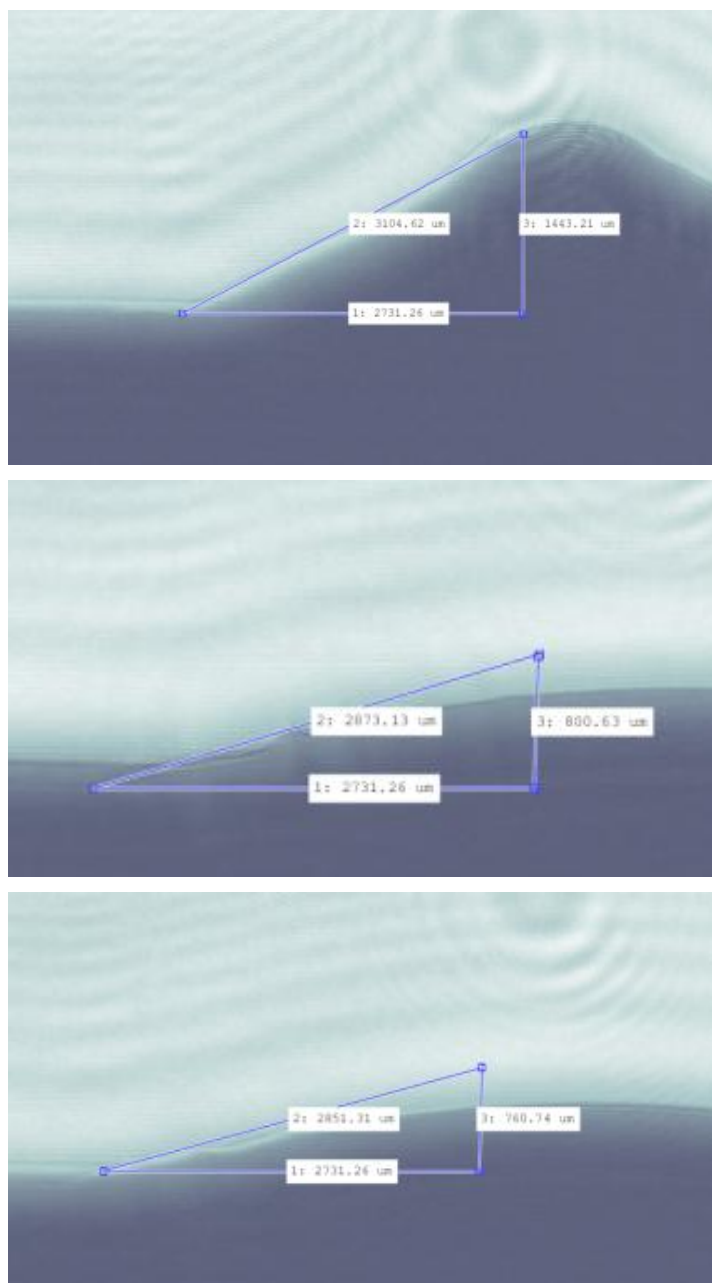
ตารางที่ 4.2 ค่าของมูมสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่มีความเข้มข้น 0.00%

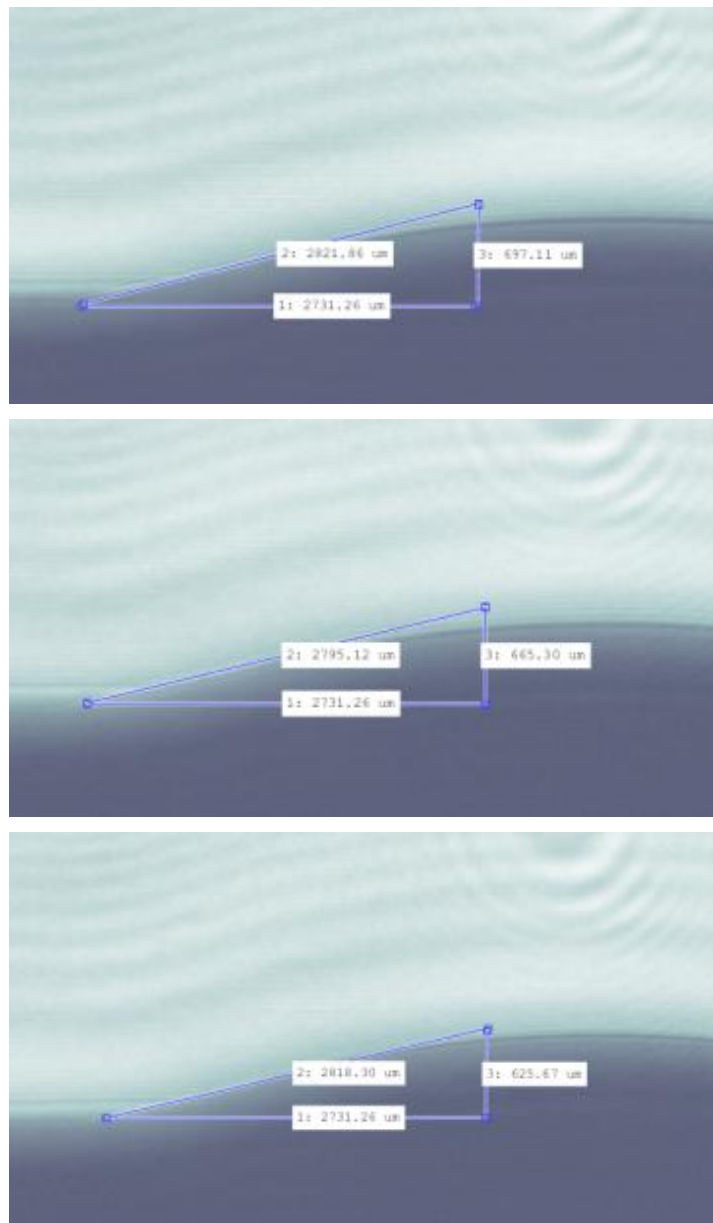
เวลา (วินาที)	มูมสัมพัทธ์ของสารเชื่อมประสาน 0.02% (องศา)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
5	24.409	26.647	53.778
10	23.663	24.495	28.833
15	22.822	24.403	27.975
20	22.210	23.663	24.773
25	23.970	23.008	24.496
30	21.633	22.444	23.290





รูปที่ 4.12 ตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.05% ภาพถ่ายดิจิทัลโฮโลกราฟี (ซ้าย) ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรักชัน (ขวา) ระหว่างการหลอมที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ



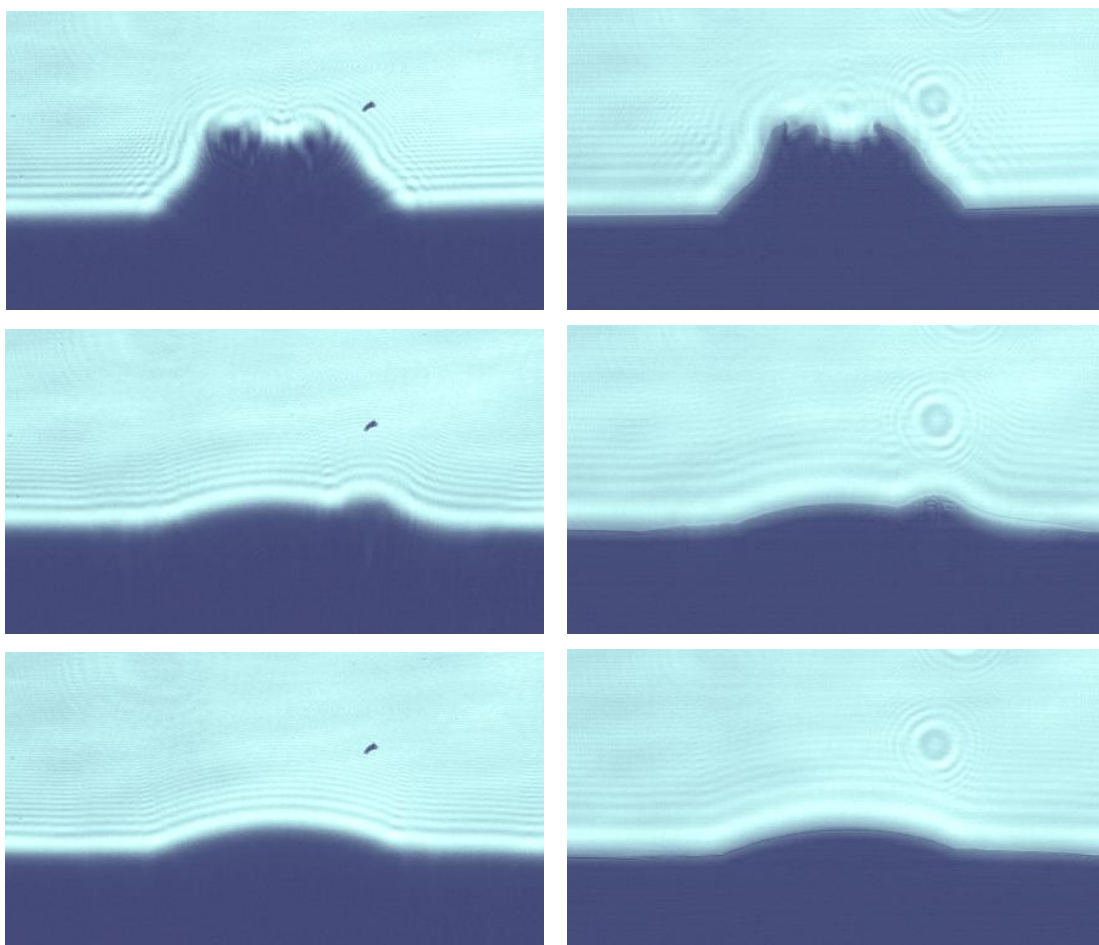


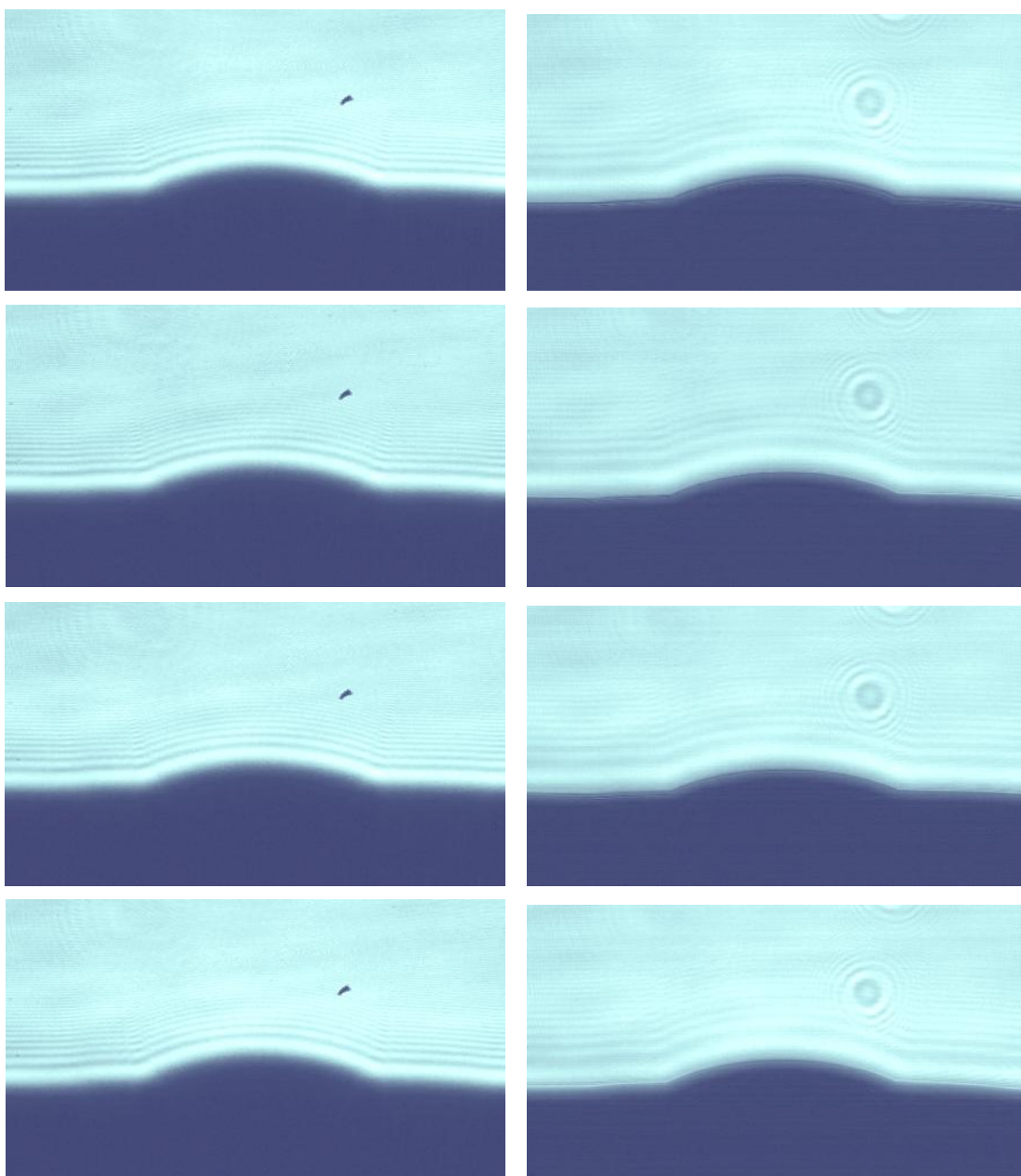
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมที่มีความเข้มข้น 0.05 % ระหว่างการหลอมที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ

สารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.05% ที่ศึกษามุมสัมผัสระหว่างการหลอมโดยได้ทำการวัดมุมของสารเชื่อมประสานที่ได้ทำการทดลองใหม่ทั้ง 3 ครั้ง โดยค่าที่วัดได้แสดงตามตารางที่ 4.3 ค่าของสารเชื่อมประสานมีค่ามุมสัมผัสที่ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

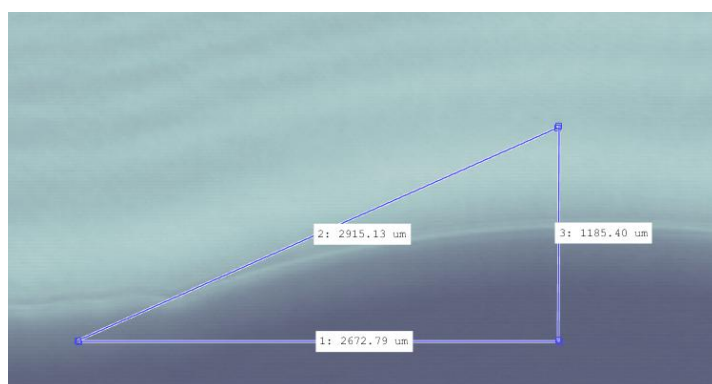
ตารางที่ 4.3 ค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่ความเข้มข้น0.05%

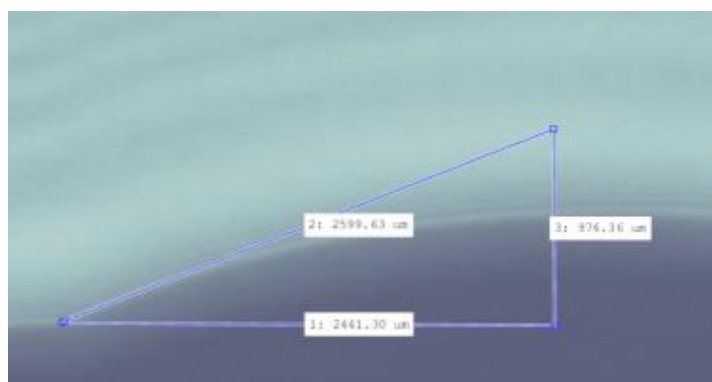
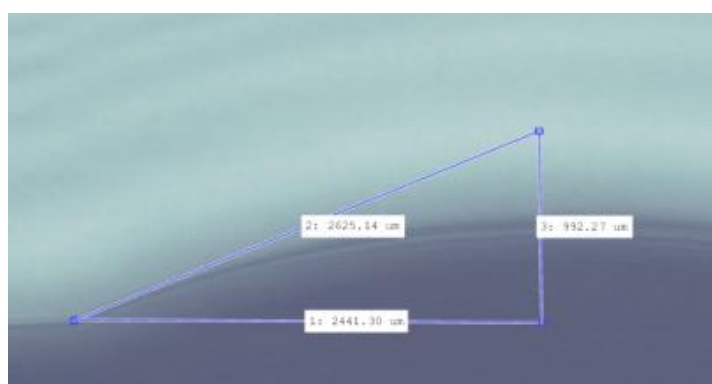
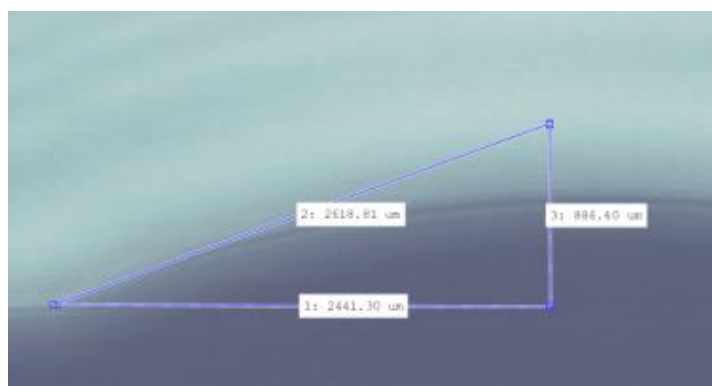
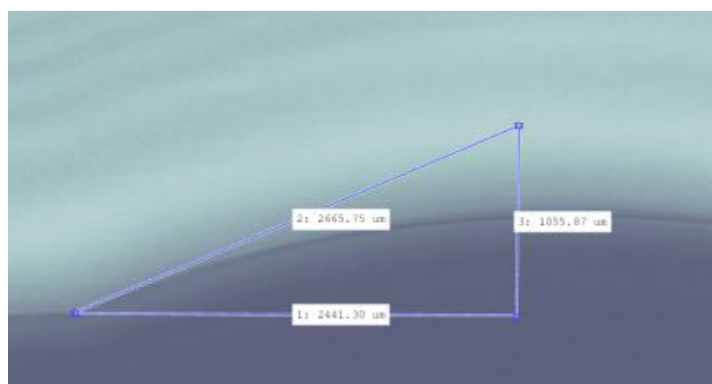
เวลา (วินาที)	มุมสัมผัสของสารเชื่อมประสาน0.05% (องศา)		
	ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่2	ตัวอย่างที่3
5	48.660	18.151	16.664
10	16.337	16.536	16.203
15	15.564	15.511	14.655
20	14.318	14.267	14.238
25	13.689	13.745	13.716
30	12.902	12.059	13.085

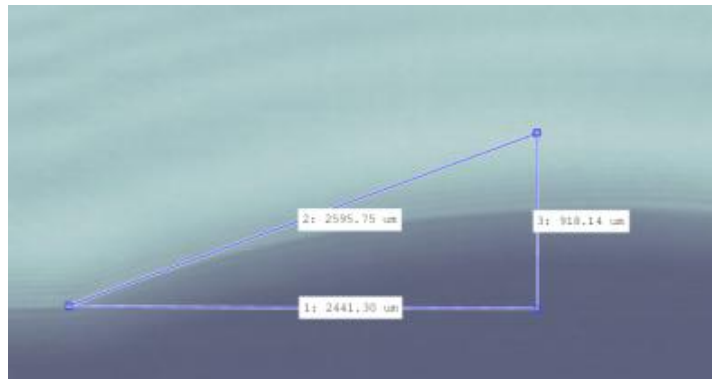




รูปที่ 4.14 ตัวอย่างสารเชื่อมประสานความเข้มข้น 0.10% ภาพถ่ายดิจิทัลโฮโลกราฟี (ซ้าย) ภาพที่ผ่านการสร้างภาพใหม่โดยการรีคอนสตรัคชัน (ขวา) ระหว่างการหลอมที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ







รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการมูมสัมพันธ์ของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมที่มีความเข้มข้น 0.10% ระหว่างการหลอมที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที ตามลำดับ

สารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้น 0.05% ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการหลอมโดยได้ทำการวัดมูมของสารเชื่อมประสานที่ได้ทำการทดลองใหม่ทั้ง 3 ครั้ง โดยค่าที่วัดได้แสดงตามตารางที่ 4.3 ค่าของสารเชื่อมประสานมีค่ามูมสัมพันธ์ที่ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 ค่าของมูมสัมพันธ์ของสารเชื่อมประสานระหว่างหลอมที่มีความเข้มข้น 0.10%

เวลา (วินาที)	มูมสัมพันธ์ของสารเชื่อมประสาน 0.05% (องศา)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
5	23.917	-	-
10	23.388	23.756	24.314
15	22.119	23.291	22.445
20	21.789	22.822	22.636
25	20.610	21.008	22.062
30	19.555	20.133	20.231

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

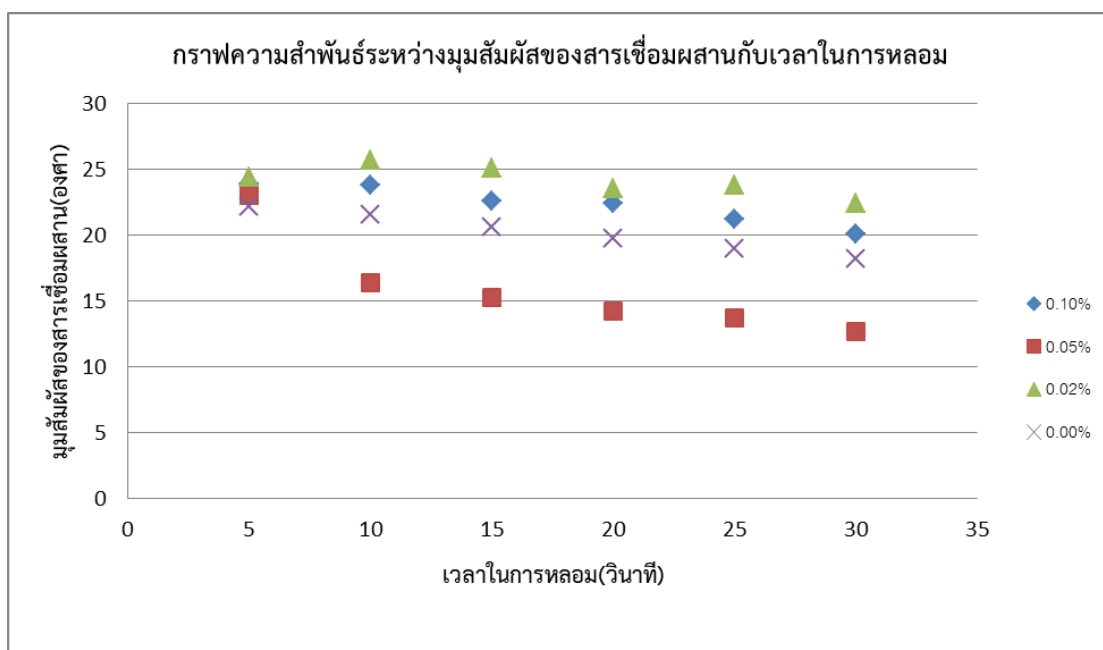
### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองที่ได้ในการผสมวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด AlZnO ต่อน้ำหนัก 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% ในสารเชื่อมประสานที่ไร้สารตะกั่วที่ประกอบด้วย Sn-3Ag-0.5Cu (SAC305) แล้วทำการหลอมแล้วนำไปถ่ายภาพดิจิทัลโฮโลกราฟีและนำภาพที่ได้ไปทำการรีคอนสตรัคชัน พบว่าภาพที่ได้มีความคมชัดและสามารถตรวจสอบสมบัติของสารเชื่อมประสานได้มากกว่าการตรวจวิธีการอิมเมจเจ (image) ที่สามารถตรวจได้เพียงมุมสัมผัสไม่สามารถตรวจวัดความหนาฟลักซ์ได้ ซึ่งวิธีการตรวจวัดโดยดิจิทัลโฮโลกราฟีเป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการตรวจวัดสมบัติของสารเชื่อมประสาน

การตรวจวัดสมบัติมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม AlZnO 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% พบว่าที่ความเข้มข้น 0.00% ซึ่งได้เป็นค่ามาตรฐานในการทดลองได้ค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเป็น 18.664 องศา ที่ความเข้มข้น 0.02% ได้ค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเป็น 22.912 องศา ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าของความเข้มข้น 0.00% จึงเป็นสารเชื่อมประสานที่มีการแผ่ได้ไม่ดี ที่ความเข้มข้น 0.05% ได้ค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเป็น 12.862 องศา ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าของความเข้มข้น 0.00% จึงเป็นสารเชื่อมประสานที่มีการแผ่ได้ดีกว่าแบบที่ผสม 0.00% และ ที่ความเข้มข้น 0.10% ได้ค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเป็น 21.511 องศา ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าของความเข้มข้น 0.00% จึงเป็นสารเชื่อมประสานที่มีการแผ่ได้ไม่ดี

การตรวจสอบความหนาฟลักซ์ของสารเชื่อมประสานที่มีการผสม AlZnO 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% พบว่าที่ความเข้มข้น 0.00% ซึ่งได้เป็นค่ามาตรฐานในการทดลองได้ค่าความหนาฟลักซ์เฉลี่ย 20.0 ไมโครเมตร ความเข้มข้น 0.02% ได้ค่าความหนาฟลักซ์เฉลี่ย 18.3 ไมโครเมตร ความเข้มข้น 0.05% ได้ค่าความหนาฟลักซ์เฉลี่ย 21.7 ไมโครเมตร และความเข้มข้น 0.10% ได้ค่าความหนาฟลักซ์เฉลี่ย 26.7 ไมโครเมตร ซึ่งในการเติม AlZnO ที่ 0.02% ทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง และเมื่อเติม AlZnO ที่ 0.05% และ 0.10% ส่งผลในค่าของฟลักซ์มีการเพิ่มขึ้น

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษามุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานระหว่างการหลอมของสารเชื่อมประสานที่มีความเข้มข้นของ AlZnO 0.00%, 0.02%, 0.05% และ 0.10% โดยได้ทำการถ่ายภาพดิจิทัลโฮโลกราฟีของสารเชื่อมประสานที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที เมื่อนำค่าที่ได้ทำการหาค่าเฉลี่ยแล้ววาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานกับเวลาในการหลอมพบว่าในในช่วงเวลาที่ 5 วินาทีที่เชื่อมประสานมีความมุมสัมผัสใกล้เคียงกันเนื่องจากเวลาในการเริ่มต้นหลอมนั้นความร้อนแผ่กระจายได้ไม่ดีพอมุมสัมผัสจึงมีค่าใกล้เคียงกัน แล้วเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นค่าของสารเชื่อมประสานค่าลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นแสดงได้กราฟ และในเวลา 30 วินาที พบว่าค่าของมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าของสารเชื่อมประสานที่ผ่านการหลอมแล้ว



รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานกับเวลาในการหลอม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาสมบัติของสารเชื่อมประสานจะต้องมีการพัฒนาที่มากขึ้นซึ่งในปัจจุบันสารเชื่อมมีการตรวจสอบและศึกษาในวิธีการที่มากขึ้น การใช้ดิจิทัลโฮโลกราฟีเข้ามาช่วยในการศึกษาทำให้การศึกษาสารเชื่อมประสานได้มากกว่าเดิมและใช้กระบวนการที่น้อยกว่าเดิมในการวัด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Giles Humpston and David M. Jacobson. (1993). **Principles of Soldering and Brazing**. Materials USA. ASM International.
- [2] Manko, Howard H. (1979). **Solder and soldering**. USA. McGraw-Hill.
- [3] Mike Judd. and Keith Brindley. (1999). **Soldering in Electronics Assembly**. USA. Plant a Tree.
- [4] กมลวิภา พึ่งเจียก. 2557. “การศึกษาอิทธิพลของธาตุ Ni, Ag, และ In ต่อสมบัติทางกายภาพของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn58Bi-Ni-X” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] Edwin Bradley, Carol A. Handwerker, Jasbir Bath, Richard D. Parker and Ronald W. Gedney, (2007). **LEAD-FREE ELECTRONICS**. USA. John Wiley & Sons.
- [6] Graham Saxby. (1991). **Manual of Practival Holography**. USA. Butterworth-Heinemann.
- [7] John N. Butters. (1971). **Holography and its technology**. UK. Peter Peregrinus.
- [8] Myung K Kim, Lingfeng Yu, & Mann, C. J. (2006). “**Interference techniques in digital holography**”. Journal of Physics A : Pure and Applied Optics, Vol 8, S518-S523. doi:10.1088/1464-4258/8/7/S33
- [9] U. Schnars, W. Jueptner. (2002). “**Digital hologram, recording and numerical reconstruction of holograms**”. Meas. Sci. Techno, Vol. 13, Issue 9.
- [10] Frank T. (2007) “**Springer Handbooks of Laser and Optics**”. Springer. ISSN 978-0-387-95579-7.
- [11] Myung K. Kim. (2011). “**Digital Holographic Microscopy**”. Springer. ISSN 0342-4111.
- [12] Suwan Plaipichit, Prathan Buranasiri. (2014) “**Moisture effect of fingerprint using total internal reflection digital in-line holography**”. Optical Engineering, Vol 53(11), 112315
- [13] T. Thong-on, T. Prakobsang, W. Pethsanthad, C. Boonsri, S. Plaipichit, P. Buranasiri, K. Yoshimori. (2015). “**The investigation of thermal effect on dynamical shape changing of solder paste by using double-view Digital holography**”. Proc. Of SPIE, Vol. 9656, 965912-1, doi: 10.1117/12.2196277.
- [14] ศฤงคาร จันทร์ประทีป. 2560. การพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสังกะสีออกไซด์ด้วยการเจืออลูมิเนียมสำหรับประยุกต์เป็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(ฟิลิสิกส์ประยุกต์),สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [15] C. Goncalves, H. Leitao, C.S. Lau, J.C. Teixeira, L. Ribas, S. Teixeira, M.F. Cerqueira, F. Macedo and D. Soares. (2015). “**Wetting behaviour of SAC305 solder on different substrates in high vacuum and inert atmosphere**” Journal of Materials Science: Materials in Electronics. Vol26, Pp.5106-5112

- [16]Ramani Mayappan, Ahmad Badri Ismail, Zainal Arifin, Tadashi Ariga and Luay Bakir Hussain. (2006). **“Effect of sample perimeter and temperature on Sn-Zn based lead-free solder”** Materials Letters Vol60, Pp.23
- [17]ฉวีวรรณ ลิ้มสุวรรณ (2551). “การศึกษาอิทธิพลของอินเดียมต่อสมบัติและโครงสร้างจุลภาคของโลหะบัดกรีชนิดSn-0.3Ag-0.7Cu” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [18]Bo-In Noh, Jung-Hyun Choi, Jeong-Won Yoon and Seung-Boo Jung(2010). **“Effect of Sn-Ag-Ce solder alloys”** Journal of Alloys and Compounds Vol.499, Pp 154-159
- [19]Liang Z., Junhua C., Yonghuan G. and Chengwen HE. (2012). **“Microstructures and properties of SnZn-xEr lead-free solder”** RARE EARTH vol.30, Pp. 790-793
- [20]Wang L., Yu D.Q., Zhao J., and Huang M.L. (2002). “Improvement of wettability and tensile property in Sn-Ag-RE lead-free solder alloy” Materials Letters vol.56, Pp. 1039-1042
- [21]Chen W.X., Xue S. and Wang H. **“Wetting properties and interfacial microstructures of Sn-Zn xGa solders on Cu substrate”** Materials and Design vol.31, Pp2196-2200

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

แสดงผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ the 27th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) 2018 ณ เมืองแคนส์ ประเทศออสเตรเลีย วันที่ 13-15 มิถุนายน 2561













## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย
วัน เดือน ปีเกิด	2 มกราคม 2536
ที่อยู่ปัจจุบัน	ถนนชาติเฉลิม อำเภอเมืองระนอง จังหวัดระนอง 85000
ประวัติการศึกษา	(2557) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 2.84 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	The property investigation of solder mixed with thermoelectrics AlZnO by using digital holography ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ the 27 <sup>th</sup> International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) 2018 ณ เมืองแคนส์ ประเทศออสเตรเลีย วันที่ 13-15 มิถุนายน 2561