



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบคุณภาพการเชื่อมของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์  
ที่มีอุปกรณ์ขนาดเล็กโดยใช้ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟี  
ประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคนิคคอมเพรสซีฟเซนซิง

To Qualify the Printing of surface Mount Technology by using Digital  
Holography Combine with Compressive Sensing

นายประธาน บุรณศิริ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนงานวิจัย

จากงบประมาณเงินรายได้ส่วนงานวิชาการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบคุณภาพการเชื่อมของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์  
ที่มีอุปกรณ์ขนาดเล็กโดยใช้ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟี  
ประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคนิคคอมเพรสซีฟเซนซิง

To Qualify the Printing of surface Mount Technology by using Digital  
Holography Combine with Compressive Sensing

นายประธาน บุรณศิริ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนงานวิจัย

จากงบประมาณเงินรายได้ส่วนงานวิชาการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การตรวจสอบคุณภาพการเชื่อมของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีอุปกรณ์ขนาดเล็กโดยใช้ระบบดิจิทัลโฮโลกราฟีประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคนิคคอมพิวเตอร์สซีพเซนซิง

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ส่วนงานวิชาการ

ประจำปีงบประมาณ 2559

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย

1

ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2558 ถึง 30 กันยายน 2559

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

### บทคัดย่อ

ดิจิทัลโฮโลกราฟีเป็นกระบวนการสร้างภาพกระบวนการหนึ่งที่สามารถตรวจสอบความแม่นยำของวัตถุหรือสิ่งของที่ต้องการตรวจสอบ โดยเทคโนโลยีดิจิทัลโฮโลกราฟีสามารถที่จะแสดงผลออกมาได้ทั้งสองมิติและสามมิติ แล้วแต่ลักษณะงานที่ต้องการ ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นเทคโนโลยีแผงวงจรบนแบบพื้นผิวที่เรียกว่า Surface Mount Technology (SMT) เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ลายวงจรมีได้ทั้งสองด้านของแผงวงจรและไม่ต้องเจาะรูแผงวงจร เราสามารถถ่ายภาพออกมาแล้วทำการตรวจสอบได้ ด้วยจำนวนที่นำมาทดสอบในแต่ละครั้งจะมีการบัดกรีที่มีขนาดเท่ากันหากบัดกรีด้วยเครื่องมือ แต่หากบัดกรีด้วยมนุษย์ความสม่ำเสมอของขนาดจุดที่เชื่อมก็จะมีขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถที่จะมาใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟีในการตรวจสอบคุณภาพได้และเพื่อเพิ่มความคมชัดและแม่นยำของการเกิดภาพโฮโลแกรมจึงมีการใช้กระบวนการที่เรียกว่าคอมพิวเตอร์สซีพเซนซิงเข้ามาช่วยในเรื่องของความคมชัดของภาพที่ออกมาด้วย

**คำสำคัญ :** ดิจิทัลโฮโลกราฟี,คอมพิวเตอร์สซีพเซนซิง, สารเชื่อมประสาน,แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

**Research Title:** To Qualify the Printing of surface Mount Technology by using Digital Holography Combine with Compressive Sensing

**Researcher:** Asst.Prof.Dr. Prathan Buranasiri

**Faculty:** Science **Department:** Physics

## ABSTRACT

Applying of a phase-shifting digital holography combined with compressive sensing to inspect the soldering quality of surface mount technology (SMT) which is a method for producing electronic circuits. In SMT, the components are mounted and connected with each other directly onto the surface of printed circuit boards (PCBs). By reconstructing the multidimensional images from a few samples of SMT, the results are solved by an optimization problem. In this paper, two problems have been concerned. The first one is to examine the devices and the soldering quality of connections between them, which are in micro-scaled. The second is to observe the effect of heat treatment of soldering material and devices on the surface mount board

**Keywords:** digital holography, compressive sensing, solder paste, surface mount technology

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนจากงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้ทำวิจัยได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลเหล่านี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนการช่วยเหลือและเอื้ออำนวยในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ หน่วยงานศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่เปิดโอกาสให้เข้าไปใช้กล้องจุลทรรศน์ในการส่งตัวอย่าง

ขอขอบคุณ นักศึกษาของห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ไดนามิกส์ทุกคนที่เป็นส่วนหนึ่งของการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ หน่วยงานที่ดูแลเรื่องโครงการวิจัย (Research Project) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ผู้ทำ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกๆด้าน รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆน้องๆทุกคนที่คอยให้คำแนะนำในเรื่องความรู้ทางวิชาการ แหล่งความรู้ทางวิชาการ และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมทั้งกำลังใจที่มอบให้ด้วยความจริงใจ

นายประธาน บุรณศิริ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
3.1 ขั้นตอนการบันทึกภาพด้วยระบบดิจิทัลโฮโลกราฟี.....	18
3.2 การสร้างภาพ.....	19
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	21
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	25
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	25
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	25
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....	26
เอกสารอ้างอิง.....	27
ภาคผนวก.....	28
ภาคผนวก ก ผลงานที่นำเสนอ.....	29
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย ให้แนบบรรายงานการใช้จ่ายเงิน.....	30
ประวัตินักวิจัย.....	31

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแผนการดำเนินโครงการวิจัย .....	2
2.1 แสดงส่วนประกอบของวัสดุที่นำมาทำสารเชื่อมผสม.....	6
4.1 การแทรกสอดของแสง.....	21
4.2 ภาพแต่ละมุมเฟสของการแทรกสอดของแสงตัวอย่างเป็นตัว IC.....	22
4.3 ภาพแต่ละมุมเฟสของการแทรกสอดของแสงตัวอย่างเป็นตัวด้านทาน.....	23

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงสารเชื่อมผสานที่มีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน .....	7
2.2 แสดงการเชื่อมต่อของโลหะสองชนิดด้วยสารเชื่อมผสาน .....	7
2.3 แสดงมุมสัมผัสของสารเชื่อมผสานเมื่อได้รับความร้อน .....	8
2.4 ไตอะแกรมของโฮโลกราฟี .....	10
2.5 รูปแสดงการสร้างภาพโฮโลแกรม	
(ก) ไตอะแกรมของกระบวนการทำงานของดิจิตอลโฮโลกราฟี	
(ข) การบันทึกภาพ (recording of image) และ การสร้างภาพ (reconstruction of image) .....	11
2.6 การติดตั้ง Phase-Shifting Digital Holography .....	13
3.1 ไมเคิลสัน ดิจิตอลโฮโลกราฟี .....	18
3.2 ตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลอง .....	19
3.2 ไตอะแกรมแสดงการสร้างภาพโฮโลแกรม .....	20
4.1 การแทรกสอดของแสงแบบ 3 มิติ .....	24

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีมีความรุดหน้าก้าวไกลไปอย่างมากซึ่งจะควบคู่กับการย่อขนาดของสิ่งของเครื่องใช้ให้เล็กลงเพื่อการใช้ทรัพยากรให้น้อยลงและสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุดในพื้นที่ขนาดเล็กได้สูงสุด ในวงการอิเล็กทรอนิกส์ก็เป็นวงการที่มีการพัฒนามาโดยตลอดและได้มีการลดขนาดของแผงวงจรให้เล็กลงเนื่องจากในอดีตที่ผ่านมาการสร้างแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นเต็มไปด้วยความยุ่งยากและยุ่งเหยิงจากการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์บนแผงวงจรที่มีทั้งแบบกัดลายปรินต์เองและแบบใช้เครื่องจักร แต่สิ่งที่พบคือตัวอุปกรณ์ต่างมีขนาดใหญ่ ซึ่งเมื่อต้องบัดกรีเชื่อมต่อแต่ละจุดเข้าด้วยกันจะเกิดความห่อหุ้มของแผงวงจรที่เต็มไปด้วยสายไฟและตัวอุปกรณ์ จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เรียกว่ากระบวนการประกอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้อุปกรณ์ขนาดเล็กบนผิวของแผงวงจรหรือที่เรียกว่า Surface Mount Technology (SMT) โดยไม่ต้องเจาะรูแผงวงจร โดยอุปกรณ์ที่นำมาเชื่อมต่อจะเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กซึ่งเรียกว่า Surface Mount Device ดังนั้นเมื่ออุปกรณ์ที่มาติดตั้งมีขนาดเล็กลงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ก็จะมีขนาดเล็กลงด้วย ในส่วนของเรื่องความแม่นยำในการติดตั้งจึงต้องสูงขึ้นมากโดยหลังจากบัดกรีเรียบร้อยแล้ว ชุดแผงวงจรเหล่านี้จะทำการตรวจสอบคุณภาพการเชื่อมของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยการใช้กระบวนการฉายภาพหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าเครื่อง Automated Optical Inspection (AOI) ทำการตรวจการจุดเสียของการหลอมละลายของตะกั่วที่ไม่ได้ผ่านข้อกำหนดได้ ซึ่งจะมีความรวดเร็วและแม่นยำกว่าการตรวจสอบด้วยมนุษย์ โดยเครื่อง AOI นั้นเป็นเครื่องมือจะตรวจสอบชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รวมถึงจุดที่มีการเชื่อมต่างๆ เช่นดูความเรียบร้อยของตะกั่วที่ทำการเชื่อม โดยเครื่องจะทำการถ่ายภาพจากแผงวงจรที่เป็นต้นแบบก่อนเพื่อเก็บรายละเอียดไว้เป็นต้นแบบ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับภาพถ่ายของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาตรวจสอบขึ้นไป ซึ่งตัวเครื่องนี้จะมีโปรแกรมที่ตั้งค่าสำหรับการตรวจสอบไว้แล้ว โดยจะมีค่าที่สามารถยอมรับได้ และยอมรับไม่ได้ในชิ้นงานนั้นๆ ดังนั้นเครื่อง AOI จึงจำเป็นต้องมีอยู่ในไลน์การผลิตที่คอยตรวจสอบความเรียบร้อยของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ดิจิตอลโฮโลกราฟีเป็นกระบวนการสร้างภาพกระบวนการหนึ่งที่สามารถตรวจสอบความแม่นยำของวัตถุหรือสิ่งของที่ต้องการตรวจสอบได้เช่นกัน โดยเทคโนโลยีดิจิตอลโฮโลกราฟีสามารถที่จะแสดงผลออกมาได้ทั้งสองมิติและสามมิติ แล้วแต่ลักษณะงานที่ต้องการ ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็น SMT ที่ลายวงจรมีได้ทั้งสองด้านของแผงวงจร เราสามารถถ่ายภาพออกมาแล้วทำการตรวจสอบได้ ด้วยจำนวนที่นำมาทดสอบในแต่ละครั้งจะมีการบัดกรีที่มีขนาดเท่ากันหากบัดกรีด้วยเครื่องมือ แต่หากบัดกรีด้วยมนุษย์ความสม่ำเสมอของขนาดจุดที่เชื่อมก็จะมีขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถที่จะมาใช้เทคนิคดิจิตอลโฮโลกราฟีในการตรวจสอบคุณภาพได้และเพื่อเพิ่มความคมชัดและแม่นยำของการเกิดภาพโฮโลแกรมจึงมีการใช้กระบวนการที่เรียกว่า Compressive Sensing (CS) เข้ามาช่วยในเรื่องของความคมชัดของภาพที่ออกมาด้วย



ร่วมกับ digital holography													
ออกแบบการทดลองของการวัดแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยระบบ Digital holography และ compressive sensing				←	→								
ทำการทดลองการถ่ายภาพ Digital holography ของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมต่อและทำการ numerical reconstruction ของภาพถ่ายที่ได้โดยใช้และไม่ใช้อัลกอริทึมของ compressive sensing					←	→							
วิเคราะห์ผลการทดลองเปรียบเทียบผลการทดลองในสองกรณีและเริ่มทำการทดลองกับตัวอย่าง								←	→				

แผงวงจร อิเล็กทรอนิกส์แบบ ต่างๆ และเริ่มเก็บ ผลการทดลอง														
สรุปผลการทดลอง											←→			

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้สามารถนำไปประโยชน์ในการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างชิ้นงานได้หลากหลายในวงการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับอุตสาหกรรมอื่นที่เกี่ยวข้องและใกล้เคียงกันมากขึ้น และเพื่อเป็นการลดต้นทุนและระยะเวลาในการตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเป็นแนวทางในการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วอันเนื่องมาจากมนุษย์ โดยภายในของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยแผงวงจร(Printed Circuit Board : PCB) ต่างๆ ซึ่งแผงวงจรเหล่านี้ก็จะมีชิ้นส่วนเล็กๆจำนวนมากติดอยู่ ไม่ว่าจะเป็น ตัว IC (Integrated Circuit) ตัวต้านทาน (Resistance) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นต้น โดยชิ้นส่วนเหล่านั้น ต้องทำการบัดกรีเพื่อทำให้ยึดติดกับแผงวงจรเพื่อให้ได้ความคงทนของตัวอุปกรณ์และอายุการใช้งานที่ยั่งยืน

### 2.1 ทฤษฎีที่ใช้เกี่ยวกับงานวิจัย

ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์นั้นได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยส่วนที่มีความสำคัญกับระบบอิเล็กทรอนิกส์คือแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือที่เรียกว่าแผงวงจรพิมพ์ ( Printed Circuit Board, PCB) ซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญซึ่งเป็นส่วนติดตั้งของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเพื่อให้สามารถใช้งานตามที่ต้องการได้ โดยแผงวงจรมันเป็นแผงวงจรแบบยึดหยุ่น โดยอุปกรณ์ต่างๆนั้นติดตั้งบนแผงวงจรโดยการบัดกรีหรือเชื่อมผสานด้วยโลหะบัดกรีซึ่งโลหะบัดกรีแบ่งออกเป็นสองแบบได้แก่ แบบของแข็งที่เป็นโลหะผสมและโลหะหลอมเหลวหรือเป็นโลหะบัดกรีแบบกึ่งของเหลวของแข็ง (Solder Paste) ทั้งนี้สารบัดกรีที่ใช้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติด โดยมีเงื่อนไขว่าสารนี้จะต้องมีสภาพต้านทานต่ำเพื่อให้กระแสไหลได้ดีและอายุการใช้งานให้นานยิ่งขึ้น ส่วนฟลักซ์ ( Flux) คือ ตัวช่วยผสานที่ใช้ในการเชื่อมผสานมีทั้งชนิดเหลวและชนิดผง มีประสิทธิภาพช่วยทำให้การยึดติดและการไหลตัวของน้ำประสาน (solder) ดียิ่งขึ้น เพราะโดยปกติเมื่อโลหะถูกความร้อนจะเกิดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลมาจากโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้การยึดติดและนำไฟฟ้าของสารเชื่อมผสาน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเปียกและลดแรงดึงผิวของโลหะอีกด้วย

#### 2.1.1 สารเชื่อมผสาน (Solder Paste)

สารเชื่อมผสานเป็นสารเชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ติดกับแผงวงจร (PCB) สารบัดกรีทั่วไปจะเป็นโลหะที่หลอมเหลวง่ายผสมกับโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดีแต่ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน ชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กมาก จึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีเชื่อมพื้นผิว (Surface Mount Technology : SMT) ในการบัดกรีแบบกึ่งของเหลวผสมของแข็ง(Solder Paste) ทำให้เชื่อมอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กได้ดี ทั้งนี้สารบัดกรีที่ใช้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติด โดยมีเงื่อนไขว่าสารนี้จะต้องมีสภาพต้านทานต่ำเพื่อให้กระแสไหลได้ดีและอายุการใช้งานให้นานยิ่งขึ้นและในสารเชื่อมผสานที่ใช้คือ SAC 305 ซึ่ง SAC 305 คือสารเชื่อมผสานที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายโดยมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้ ดีบุก (Sn) 96.5% เงิน (Ag) 3% และ ทองแดง (Cu) 0.5% โดยที่ดีบุก (Tin) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 50 มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดีแต่ไม่ตีมากและยังออกซิไดซ์ได้ดีในอากาศ มีจุดหลอมเหลวที่ประมาณ 230 องศาเซลเซียสแล้วยังมีราคาถูก

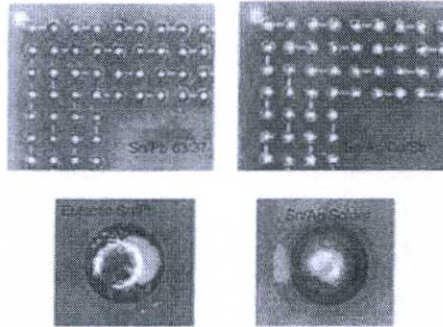
เงิน (silver) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 47 เป็นธาตุทรานซิชันมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีมาก มีจุดหลอมเหลวสูงและมีราคาสูงมาก และทองแดง (Copper) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 29 เป็นธาตุทรานซิชันมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีจุดหลอมเหลวสูงแล้วมีราคาสูงรองลงมาจากเงิน ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของวัสดุที่นำมาทำสารเชื่อมประสาน

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของวัสดุที่นำมาทำสารเชื่อมประสาน

Substrate	Component
gold	Tin
silver	Tin/lead
Palladium/silver	Nickel
Platinum /silver	Gold
Palladium/gold	Palladium/silver
Platinum /gold	Platinum /silver
copper	Copper
Tin/lead	
tin	
Nickel	

ที่มา : Solder Paste in Electronics Packaging Technology and Applications in Surface Mount, Hybrid Circuits, and Component Assembly, Jennie S. Hwang, 1989

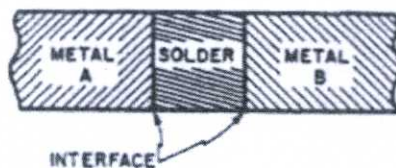
ซึ่งในสารประกอบแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติเด่นที่แตกต่างกันแต่เมื่อมาประกอบเป็นสารเชื่อมประสานแล้วนั้นสามารถที่จะสรุปลักษณะโดยรวมที่เกิดขึ้นได้แก่เรื่องของความหนืด การยุบตัว และอายุการใช้งาน รวมทั้งการลักษณะที่แตกต่างกันของรูปร่างและคุณสมบัติช่วงที่ทำงานและช่วงที่หยุดทำงานของระบบวงจร โดยสิ่งที่มีความสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือเรื่องของคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ต้องพิจารณาในเรื่องของรูปร่าง มุมสัมผัสระหว่างสารเชื่อมประสานกับแผงวงจร ขนาดของสารเชื่อมประสานบนจุดเชื่อมต่อ และการเปิดปฏิกิริยาทางเคมี



ภาพที่ 2.1 แสดงสารเชื่อมผสมที่มีส่วนประกอบที่ต่างกัน

ที่มา : “Handbook of Lead-Free Solder Technology for Microelectronic Assemblies, Karl J. Puttlitz, Kathleen A. Stalter, 2004.

การเชื่อมผสมโลหะสองชนิดด้วยสารผสม ซึ่งในการเชื่อมผสมนั้นสามารถทำได้ทำโดยการพิมพ์สารเชื่อมผสมลงบนตำแหน่งที่ต้องการแล้วจึงวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนตำแหน่งที่ต้องการ แล้วให้ความร้อนเพื่อให้สารเชื่อมผสมหลอมและผสมยึดติดตัวอุปกรณ์กับแผ่นพิมพ์ สารเชื่อมผสมหรือสารบัดกรี ในปัจจุบันได้เล็งเห็นความสำคัญของสารเชื่อมผสมซึ่งเป็นสารที่เป็นส่วนประกอบที่ผสมขึ้นมาจากสารตั้งต้นเพื่อนำไปใช้ในการเชื่อมต่อในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้ได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งสารเชื่อมผสมเป็นตัวเชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ติดกับแผงวงจร โดยสารเชื่อมผสมทั่วไปจะเป็นโลหะผสมกับของแข็ง แต่ในอุตสาหกรรมปัจจุบันชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กมาก ในวงการอิเล็กทรอนิกส์หรือไมโครอิเล็กทรอนิกส์นั้นได้คำนึงถึงเรื่องประสิทธิภาพและคุณภาพของวัสดุ การออกแบบ และกระบวนการผลิตเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพื้นฐานความรู้ทั่วไปและการปรับปรุงนวัตกรรมใหม่ๆที่เกิดขึ้นนั้น โดย Solder Paste นั้นถูกนำไปใช้งานหลักๆ 3 ส่วนคือ Hybrid Circuit , Print circuit และ component manufacture โดยการพิจารณา Solder Paste การจัดองค์ประกอบของผิวหน้าโลหะทั้งสองเพื่อให้สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากลงบนแผ่นวงจรดังแสดงในภาพที่ 2.2

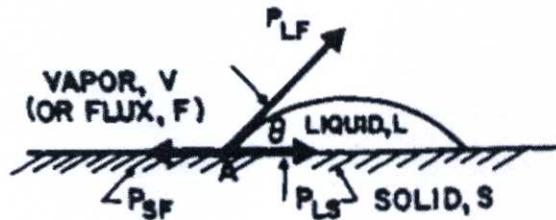


ภาพที่ 2.2 แสดงการเชื่อมต่อของโลหะสองชนิดด้วยสารเชื่อมผสม

ที่มา : Solders and Soldering 4<sup>th</sup> edition, 2001 : 1-6

### 2.1.2 ฟลักซ์ (Flux)

ฟลักซ์ คือ ตัวช่วยประสานที่ใช้ในการประสานทำจากกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์มีทั้งชนิดเหลวและชนิดผง มีประสิทธิภาพช่วยทำให้การยึดติดและการไหลตัวของน้ำประสาน (solder) ดียิ่งขึ้น เพราะโดยปกติเมื่อโลหะถูกความร้อนจะเกิดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลมาจากโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ดังนั้นฟลักซ์ช่วยในการป้องกันการเกิดออกไซด์ที่เกิดจากตึกเพื่อให้สารเชื่อมประสานมีอายุในการใช้งานได้นานขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเปียกและลดแรงตึงผิวของโลหะอีกด้วย ซึ่งความสามารถในการเปียก (wetting) คือ ความสามารถของของเหลวในการรักษาหน้าสัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง ซึ่งเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลโดยระดับชั้นของสภาวะการเปียกขึ้นกับความสมดุลระหว่างแอดฮีชันและโคฮีชัน สภาวะการเปียกมีความสำคัญในการยึดติดกันของวัสดุสองชิ้น แรงยกตัว (Capillary Effect) ก็เป็นผลมาจากสภาวะการเปียก และแรงพื้นผิวที่กำหนดสภาวะการเปียก ซึ่งรูปร่างของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็งจะมีรูปร่างเป็นรูปทรงหยดน้ำค้างดังแสดงในรูปที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงมุมสัมผัสของสารเชื่อมประสานเมื่อได้รับความร้อน

ที่มา : Solders and Soldering 4<sup>th</sup> edition, 2001 : 1-6

สำหรับแรงตึงผิวก็จะมีความสัมพันธ์กับการเปียก โดยหากแรงตึงผิวระหว่างน้ำประสานและผิวชิ้นงานมีมาก นั่นก็หมายความว่าน้ำประสานมีความสามารถในการเปียกต่ำบนผิวชิ้นงานนั้น จากรูปด้านล่าง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิว (Surface Tension:  $\gamma$ ) กับมุมสัมผัส (Contact angle;  $\theta$ ) มุมสัมผัสจะบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นที่ผิวเรียบของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว ซึ่งมุมสัมผัสที่น้อยกว่า  $90^\circ$  โดยทั่วไป หมายถึง สภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก และของเหลวจะกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง มุมสัมผัสที่มากกว่า  $90^\circ$  โดยทั่วไป หมายถึง สภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดีและของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อยและจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง ในกรณีเดียวกันกับการเปียกของน้ำประสานกับชิ้นงาน หากมุมสัมผัสระหว่างน้ำประสานกับผิวชิ้นงานมีขนาด  $180^\circ$  นั่นคือ น้ำประสานและชิ้นงานไม่เกิดการเปียกเลย ซึ่งก็มีผลให้น้ำประสานไม่เกาะกับชิ้นงานและหากมุมสัมผัสที่ว่านี้มีขนาดเล็กเรื่อยๆ จะทำให้น้ำประสานจะสามารถเกาะกับชิ้นงานได้มากขึ้น หากมุมสัมผัสของน้ำประสานกับผิวชิ้นงานมีขนาดเท่ากับ  $0^\circ$  ก็จะหมายความว่าน้ำประสานสามารถเปียกบนผิวชิ้นงานได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าจะให้งานเชื่อมประสานมีคุณภาพดี

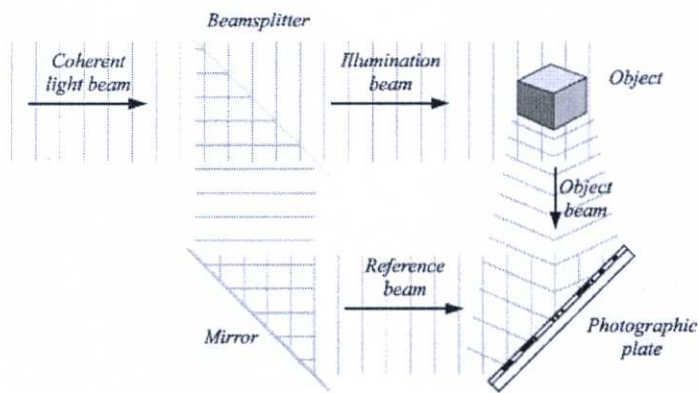
### 2.1.3 โฮโลแกรม (Hologram)

โฮโลกราฟี (Holography) คือ กระบวนการสร้างภาพโฮโลแกรม ซึ่งเป็นภาพที่บันทึกลงบนฟิล์ม หรือ แผ่นเคลือบด้วยสารสำหรับบันทึกแสง ซึ่งผ่านเทคนิคการบันทึกด้วยการใช้ แสงที่มีหน้าคลื่นสอดคล้องกัน (coherence) เช่น แสงเลเซอร์ เป็นต้น โฮโลกราฟี เป็นเทคนิคที่ช่วยให้แสงกระจายจากวัตถุที่จะบันทึกและได้ถูกสร้างขึ้นใหม่ต่อมา เพื่อให้ปรากฏเป็นวัตถุอยู่ในตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับการบันทึก การเปลี่ยนแปลงรูปแบบตำแหน่งและทิศทางของการระบอบการมองเห็นช่วยให้แสงกระจายจากวัตถุที่จะบันทึกและได้ถูกสร้างขึ้นใหม่ เพื่อให้ปรากฏเป็นวัตถุอยู่ในตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับการบันทึก ถ้าจะกล่าวในคำพูดที่เป็นเชิงวิชาการมากขึ้น ก็อาจกล่าวได้ว่า โฮโลแกรม ก็คือ บันทึกของรูปแบบการแทรกสอดของลำแสง ที่มีหน้าคลื่นสอดคล้องกัน 2 ลำ ภาพที่ถูกสร้างขึ้นมาจากการบันทึกข้อมูลด้วยแสงเลเซอร์ โดยบันทึกไว้รอยของการแทรกสอด (Interference Pattern) ของแสงเลเซอร์ ทำให้เราสามารถมองเห็นภาพที่แตกต่างจากภาพทั่วไป ซึ่งไม่มีความรู้สึกทางมิติของภาพ โดยภาพที่ได้จะเป็นภาพแบนๆ เรียบๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกันจะพบว่าภาพที่มาจาก การบันทึกโดยเทคนิคโฮโลแกรมนั้นจะดูสวยงามมากขึ้นและยังมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีกด้วย

โฮโลแกรมนี้อีกค้นพบโดยเดนนิส กาเบอร์ (Dennis Gabor, 1900-1979) วิศวกรไฟฟ้าชาวฮังการี ซึ่งในวันอีสเตอร์ ปี ค.ศ. 1947 โดยกาเบอร์ได้ค้นพบหลักการของโฮโลกราฟีโดยบังเอิญ ในระหว่างที่พัฒนาปรับปรุงคุณภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่บริษัท British Thomson-Houston ที่เมือง Rugby ประเทศอังกฤษ จากการค้นพบนี้กาเบอร์ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1971 เทคนิคที่คิดค้นเดิมยังใช้อยู่ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่เป็นที่รู้จักกันในชื่อภาพสามมิติอิเล็กตรอน แต่ภาพสามมิติเป็นเทคนิคแสงซึ่งไม่ได้มีการพัฒนาอย่างจริงจัง จนกระทั่งมีการพัฒนาของเลเซอร์ในปี 1960 โฮโลแกรมแสงที่ใช้ได้จริงชิ้นแรกนั้นบันทึกอยู่ในรูปของวัตถุ 3D ซึ่งถูกสร้างขึ้นในปี 1962 โดย Yuri Denisjuk ในสหภาพโซเวียตและโดย Emmett Leith และ Juris Upatnieks ที่ University of Michigan ประเทศสหรัฐอเมริกาความก้าวหน้าในเทคนิคการประมวลผลโพโตเคมีคัลเป็นการผลิต เพื่อแสดงภาพโฮโลแกรมที่มีคุณภาพสูง ซึ่งทำได้สำเร็จโดย Nicholas J. Phillips โฮโลแกรมแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ White-light hologram ซึ่งภาพโฮโลแกรมที่บันทึกนั้น สามารถมองเห็นได้ด้วยการส่องสว่างด้วยแสงสว่างจากธรรมชาติและอีกประเภทหนึ่งคือ ภาพโฮโลแกรมที่ต้องถูกส่องสว่างด้วยแสงเลเซอร์หรือแสงที่มีสภาพหน้าคลื่นสอดคล้องกันในระดับหนึ่ง ถึงจะมองเห็นภาพ 3 มิติได้ นอกจากนี้ยังอาจแบ่งโฮโลแกรมออกได้เป็น Transmission hologram, Reflection hologram, Image-plane hologram เป็นต้น ที่โฮโลแกรมหลายชนิดนั้นสามารถทำได้ การส่งผ่านของโฮโลแกรมเช่นการผลิตโดย Leith และ Upatnieks ซึ่งถูกทำให้มองเห็นได้โดยส่องแสงเลเซอร์ผ่านวัตถุและมองภาพที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จากโฮโลแกรมด้านตรงข้ามของแหล่งที่มา การปรับแต่งภายหลังหรือการส่งผ่านแถบสีโฮโลแกรมช่วยให้แสงสว่างโดยแสงสีขาวมากกว่าโดยเลเซอร์ แถบสีโฮโลแกรมเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบันบนบัตรเครดิต ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านความปลอดภัยและในการบรรจุสินค้ารุ่นนี้ของการส่งผ่านแถบสีโฮโลแกรมเกิดขึ้นโดยทั่วไป เป็นรูปแบบผิวในฟิล์มพลาสติกและวัตถุรวมเคลือบอะลูมิเนียมสะท้อนแสงที่ให้แสงสว่างจาก "ด้านหลัง" เพื่อสร้างภาพของวัตถุ

#### 2.1.3.1 วิธีการทำงานของโฮโลกราฟีและโฮโลแกรม

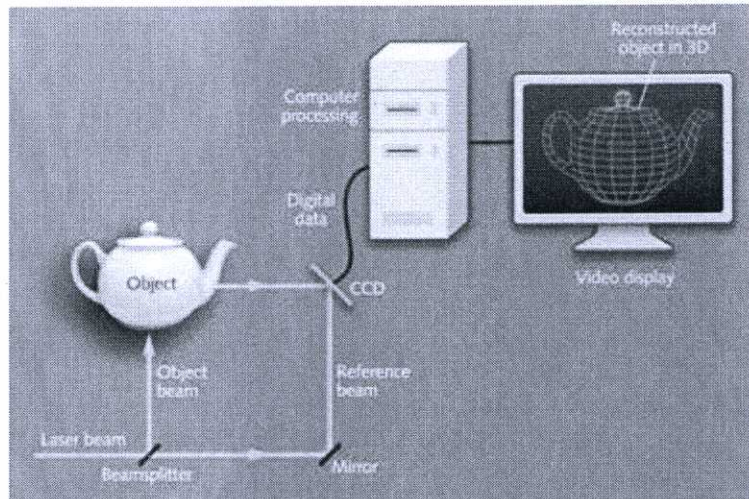
ภาพโฮโลแกรมจะใช้หลักการสร้างภาพให้มีการแทรกสอดของแสงที่มีภาวะทาบรูปภาพโดยการฉายแสงเลเซอร์จากแหล่งเดียวกัน แยกเป็น 2 ลำแสง ลำแสงหนึ่งเป็นลำแสงอ้างอิงเล็งตรงไปที่แผ่นฟิล์ม อีกลำแสงหนึ่งเล็งไปที่วัตถุและสะท้อนไปยังฟิล์ม แสงจากทั้งสองแหล่งจะถูกบันทึกไว้บนฟิล์มในรูปแบบของการแทรกสอด (Interference Pattern) ซึ่งมองไม่คล้ายกับรูปของวัตถุต้นแบบ ก่อให้เกิดภาพเสมือน (Virtual image) ขึ้นมาตามมุมของแสงที่มอดกกระทบ ทำให้ตาของเรารับแสงอีกด้านหนึ่งของแผ่น Hologram เกิดเห็นภาพ 3 มิติขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.4



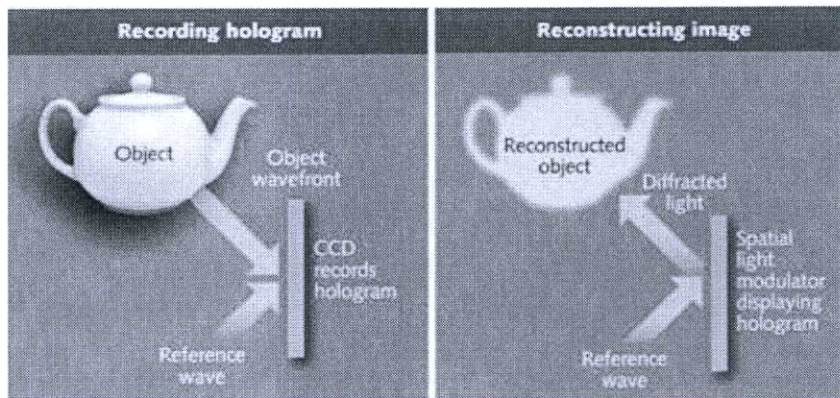
ภาพที่ 2.4 ไดอะแกรมของโฮโลกราฟฟี

ที่มา : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Holograph-record.svg>

ภาพที่ 2.5 (ก) แสดงไดอะแกรมของกระบวนการทำงานของดิจิตอลโฮโลกราฟฟีซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การบันทึกภาพ (recording of image) เป็นการบันทึกแถบการสอดแทรกเชิงซ้อน (Complex interference patterns) ซึ่งเกิดจากที่แต่ละแสงเลเซอร์ 2 ลำแสงซ้อนทับกันอยู่ (Superposition) แถบการสอดแทรกเชิงซ้อนนี้จะถูกบันทึกไว้บนฟิล์มถ่ายรูป (Photographic film) และการสร้างภาพ (reconstruction of image) เป็นการสร้างภาพ 3 มิติ แสดงในภาพที่ 2.5(ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.5 รูปแสดงการสร้างภาพโฮโลแกรม (ก) โดยอะแกรมของกระบวนการทำงานของดิจิทัลโฮโลกราฟฟี (ข) การบันทึกภาพ (recording of image) และ การสร้างภาพ (reconstruction of image)

ที่มา : Digital techniques render real-time response in holography, Jeff Hecht, 2012.

ซึ่งการสร้างภาพของโฮโลแกรม คือ วิธีการที่ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้ามาอธิบายสนามทางแสงของระนาบการแพร่ของแสง รวมทั้งยังใช้ในการสร้างภาพขึ้นใหม่ในดิจิทัลโฮโลแกรม วิธีการนี้จะใช้ Fourier transform และ inverse Fourier transformation เพื่อสร้างดิจิทัลโฮโลแกรมเช่นเดียวกับวิธี Huygens convolution แต่จะมีข้อดีกว่าในระยะทางของการสร้างภาพใหม่ วิธีการ Angular Spectrum สามารถสร้างภาพขึ้นใหม่ได้อย่างถูกต้องในระยะทางที่วัดอยู่ใกล้ๆ เมื่อเทียบกับวิธีการของ Huygens

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

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

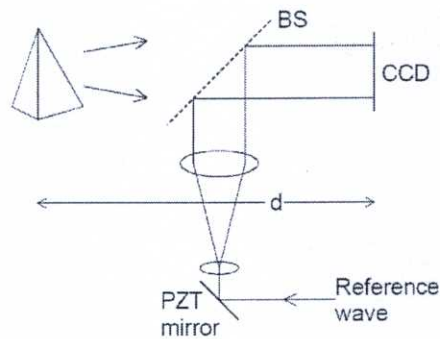
และสามารถเขียน inverse Fourier Transform ของ angular spectrum ได้ว่า

$$\begin{aligned} O'(f_\xi, f_\eta; 0) &= F^{-1}\{O'(f_\xi, f_\eta, 0)\} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O'(f_\xi, f_\eta, 0) \exp[-j2\pi(f_\xi \xi + f_\eta \eta)] df_\xi df_\eta \end{aligned} \quad (2)$$

การ Reconstruction ในที่นี้หมายถึงการทำให้ภาพชัดขึ้นแม้ไม่ได้ถ่ายภาพในระยะโฟกัสก็สามารถทำให้ภาพชัดได้โดยการ Reconstruction โดยการอ่านของภาพโฮโลแกรมใช้หลักการเดียวกับการสร้างภาพโฮโลแกรม โดยจะต้องใช้แสงที่มีความยาวค่าเดียวกับที่บันทึกและมุมที่ถูกบันทึกเพื่ออ่านภาพที่ถูกบันทึกมา

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับจะพบว่าภาพที่มาจากการบินที่โดยใช้วิธีแบบโฮโลกราฟฟี่นั้นจะดูสวยงามมากขึ้น ซึ่งสามารถที่จะอธิบายในเชิงของสมการแมกเวลล์ก็จะสามารถอธิบายได้ถึงภาพที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ แอมพลิจูดซึ่งเป็นความสว่างและความเข้มแสง และเฟสซึ่งก็คือรูปร่างของตัวอย่างวัตถุ โดยแอมพลิจูดและเฟสรวมกันจะเรียกว่า “complex amplitude” หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของภาพที่ถูกบันทึกนั้นสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Phase-Shifting โดยการใส่กระบวนการวิธีคำนวณ initial phase และ complex amplitude ในทุกแนว โดย Phase-Shifting Digital Holography สามารถอธิบายได้ในรูปที่ 1 โดยหน้าคลื่นของวัตถุและหน้าคลื่นของแสงอ้างอิงเกิดการแทรกสอดกันที่ CCD โดยที่ลำแสงอ้างอิงนั้นจะผ่านกระจกที่ติดตั้งบนเพียโซอิเล็กทริก (PZT) ซึ่งเฟสของแสงอ้างอิงสามารถเลื่อนที่ละชั้นได้โดยปกติมันก็จะถูกบันทึกอยู่แล้ว เมื่อเฟส  $\varphi_0$  ถูกคำนวณจาก phase-shifting interferograms ซึ่งกระบวนการคำนวณเหมือนกับ Holography Interference โดยที่กำหนดให้ค่าแอมพลิจูดของวัตถุคือ  $a_0(x, y)$  ซึ่งสามารถวัดได้จากค่าความเข้มของแสงโดยการปิดลำแสงของด้านแสงอ้างอิง สามารถเขียนได้ในรูปของสมการได้ดังนี้ ซึ่งพิจารณาในแนวแกน  $(x, y)$

$$E_0(x, y) = a_0(x, y) \exp(+i\varphi_0(x, y)) \quad (3)$$



รูปที่ 2.6 การติดตั้ง Phase-Shifting Digital Holography

ที่มา : Digital Hologram Recording, Numerical Reconstruction and Related Techniques, Ulf Schnars, Werner Jueptner, 2005.

ซึ่งคุณสมบัตินี้สามารถที่จะนำไปศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของวัสดุเชิงกลและความร้อนเช่นเดียวกับทฤษฎีของ Young's modulus อัตราส่วนปัวซอง และประสิทธิภาพการขยายตัว สำหรับแหล่งที่มาของปริมาณนี้เป็นขั้นตอนสำหรับการประเมินผลของการพิจารณารูปร่างในสามมิติ และระยะทางในสามมิติของตัวอย่างภายใต้การทดสอบ โดยที่ในเชิงฟิสิกส์แล้วพฤติกรรมของตัวอย่างและความรู้เกี่ยวกับตัวอย่งนั้นเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นในการประยุกต์ใช้งานวัตถุนั้นๆ อย่างไรก็ตามกระบวนการวัดจะใช้เทคนิค Digital Holography Interference ในการพิจารณาข้อมูลเชิงฟิสิกส์ควรที่จะประกอบด้วยตัวแปรที่เป็นค่าคงที่ของวัสดุอย่างน้อยหนึ่งค่า ในส่วนของข้อมูลเชิงตัวเลขที่เหมาะสมในการวัดที่เป็นที่ยอมรับเพื่อการนำเสนอตัวแปรที่มีความสนใจในการพิจารณาและมีความน่าเชื่อถือ

จึงสามารถสรุปได้ว่า Digital Holography Interferometric นี้เป็นเทคนิคที่สามารถนำไปใช้ตรวจสอบวัสดุแบบไม่ได้ทำลายได้เป็นอย่างดีโดยการแสดงผลออกมาในลักษณะของภาพโฮโลแกรม และสามารถที่จะนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์และประมวลผลต่อไปได้ ซึ่งวิธีการสร้างภาพโฮโลแกรมแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

(1) การบันทึกภาพ (Recording of image) เป็นการบันทึกแถบการแทรกสอดเชิงซ้อน (Complex interference patterns) ซึ่ง เกิดจากแสงเลเซอร์ 2 ลา ซ้อนทับกันอยู่ (Superposition) โดยแถบการสอดแทรกเชิงซ้อนนี้จะถูกบันทึกไว้บนแผ่นฟิล์มถ่ายรูป (Photographic film) โดยการบันทึกภาพที่เพิ่มความคมชัดและรายละเอียดของภาพมากขึ้นนั้นจะเพิ่มเติมในส่วนในส่วนที่เรียกว่า Phase โดยการศึกษา Phase-Shifting เมื่อ  $\varepsilon_0(x, y)$  เป็นค่าแอมพลิจูดของวัตถุ และ  $\varphi(x, y)$  แทนค่าเฟสของวัตถุ สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$E_R(x, y) = \varepsilon_R \exp(i\alpha) \quad (4)$$

$$E_O(x, y) = \varepsilon_0 \exp(i\varphi(x, y)) \quad (5)$$

โดยในการคำนวณหาค่าความเข้มของแสงนั้นสามารถใช้สมการเฟสที่สามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการพิจารณาได้ สมการต่อไปนี้จะแสดงค่าความเข้มของแสงในเฟสต่างๆและสามารถนำไปพิจารณาเฟสโปรไฟล์ของวัตถุนั้นได้ ดังแสดงในสมการที่ 11

$$I_\alpha(x, y) = |E_R + E_O|^2 \quad (6)$$

$$\alpha = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2 \quad (7)$$

$$I_0 = \varepsilon_R^2 + \varepsilon_O^2 + 2\varepsilon_R\varepsilon_O \cos \varphi \quad (8)$$

$$I_{\pi/2} = \varepsilon_R^2 + \varepsilon_O^2 + 2\varepsilon_R\varepsilon_O \cos \sin \varphi \quad (9)$$

$$I_\pi = \varepsilon_R^2 + \varepsilon_O^2 + 2\varepsilon_R\varepsilon_O \cos \varphi \quad (10)$$

$$I_{3\pi/2} = \varepsilon_R^2 + \varepsilon_O^2 + 2\varepsilon_R\varepsilon_O \sin \varphi \quad (11)$$

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1} \left[ \frac{I_{\pi/2} - I_{3\pi/2}}{I_0 - I_\pi} \right] \quad (12)$$

(2) การสร้างภาพ (Reconstruction of image) เป็นการสร้างภาพ 3 มิติขึ้นจากแผ่นฟิล์มที่ได้บันทึกภาพโฮโลแกรมไว้ เพื่อ ปรับปรุงความละเอียด และความคมชัด-ความตื้นภาพตามรูปแบบของภาพตามรูปแบบของภาพ ทำให้ได้ภาพโฮโลแกรมแบบ 3 มิติที่มีความคมชัด และมีความละเอียดสูงมากขึ้น

หลักการ Reconstruction โดยวิธี Angular spectrum

คือวิธีการที่ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้ามาอธิบายสนามทางแสงของระนาบการแพร่ของแสง รวมทั้งยังใช้ในการสร้างภาพขึ้นใหม่ในดิจิตอลโฮโลแกรม วิธีการนี้จะใช้ Fourier transform และ inverse Fourier transformation เพื่อสร้างดิจิตอลโฮโลแกรมเช่นเดียวกับวิธี Huygens convolution แต่จะมีข้อดีกว่าในระนาบของการสร้างภาพใหม่ วิธีการ Angular Spectrum สามารถสร้างภาพขึ้นใหม่ได้อย่างถูกต้องในระนาบที่วัตถุอยู่ใกล้ๆ เมื่อเทียบกับวิธีการของ Huygens convolution

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

$$\begin{aligned} O'(f_\xi, f_\eta; 0) &= F\{O(\xi, \eta, 0)\} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O(\xi, \eta, 0) \exp[-j2\pi(f_\xi \xi + f_\eta \eta)] d\xi d\eta \end{aligned} \quad (13)$$

และสามารถเขียน inverse Fourier Transform ของ angular spectrum ได้ว่า

$$\begin{aligned} O(f_\xi, f_\eta; 0) &= F^{-1}\{O'(f_\xi, f_\eta, 0)\} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O'(f_\xi, f_\eta, 0) \exp[-j2\pi(f_\xi \xi + f_\eta \eta)] d\xi d\eta \end{aligned} \quad (14)$$

การ Reconstruction ในที่นี้หมายถึงการทำให้ภาพชัดขึ้นแม้ไม่ได้ถ่ายภาพในระยะโฟกัสก็สามารถทำให้ภาพชัดได้โดย การ Reconstruction[5]

#### 2.1.4 Compressive Sensing

กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการช่วยคำนวณในกระบวนการถ่ายภาพที่ช่วยเพิ่มในเรื่องของความคมชัดในกรณีที่มีปริมาณข้อมูลจำนวนน้อย โดยเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการแปลงไฟล์ข้อมูลเป็นข้อมูลภาพที่มีความคมชัดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งองค์ประกอบของ compressive sensing ประกอบด้วย การคำนวณทางคณิตศาสตร์ การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ และการคำนวณทางวิศวกร สมการที่นำมาใช้ในการรีคอนสตรัคชันสัญญาณได้แก่

$$M = O(S \log N) \quad (15)$$

M คือ จำนวนของการวัดที่ได้จากคอมเพรสซีฟ

O คือ ตัวแปรที่สัมพันธ์กับค่าโคฮีเร้นซ์ของระบบ

S คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของจำนวนตัวอย่างที่มีน้อย

N คือ จำนวนพิกเซลของภาพ

ชุดโมเดลของการทำงานร่วมกันระหว่างคอมเพรสซีฟเซนซิงกับดิจิทัลโฮโลกราฟี

$$g = \phi f = \phi \psi \alpha \quad (16)$$

- g คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง
- f คือ ค่าอินพุตจากด้านวัตถุ
- $\phi$  คือ กระบวนการส่งสัญญาณ
- $\psi$  คือ spasifying operator
- $\alpha$  คือ สัญญาณ S-spare

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีได้มีความเจริญรุดหน้าไปมาก เทคโนโลยีการสร้างภาพก็เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่มีความเจริญอย่างเห็นได้ชัดจน ความเจริญก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์มาทำการศึกษาที่จะนำไปสู่การเกิดการพัฒนาด้านอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเจริญก้าวหน้าด้านเทคโนโลยี เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในปัจจุบันที่ต้องการในเรื่องของความทันสมัยและคุณภาพ ถ้าพูดถึงอิเล็กทรอนิกส์นั้นสิ่งที่จะนึกถึงเป็นลำดับต้นๆก็คือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบหลักก่อนที่จะไปประกอบเข้ากับโปรแกรมหรือโครงสร้างอื่นๆจนกลายเป็นอุปกรณ์หรือระบบหนึ่งๆขึ้นมา การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์เริ่มจากการออกแบบวงจร แล้วค่อยนำไปสู่การเชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแผงวงจร ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างมีความละเอียดอ่อน เนื่องจากหากชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไม่เชื่อมต่อกันก็จะทำให้ระบบวงจรมันไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นการเชื่อมผสานอุปกรณ์บนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

กระบวนการสร้างภาพโฮโลแกรมก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาตลอดเวลา จากการบันทึกภาพผ่านฟิล์มก็เปลี่ยนเป็นการบันทึกภาพผ่านกล้อง CCD ซึ่งสามารถที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกภาพจากกล้อง CCD มาใช้ในการสร้างภาพใหม่แล้วนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆด้วย การบันทึกภาพเก็บตัวอย่างก็มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจจะมีอุปสรรคในเรื่องของจำนวนตัวอย่างที่ได้มาในการสร้างภาพ อาจจะมีจำนวนน้อย เนื่องจากเวลาที่กำหนดและจำนวนตัวอย่างนั้นจึงมีการพัฒนาระบบสมการคำนวณมาช่วยเพิ่มในเรื่องของความคมชัดของภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งระบบสมการคำนวณนั้นเรียกว่า compressive sensing เมื่อมีการนำ digital holography และ compressive sensing มาใช้งานร่วมกัน จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างต่างๆ เบื้องต้น ก็มีคนนำมาใช้กับการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนอะไหล่ ในปัจจุบันแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนหนึ่งของความเจริญก้าวหน้าด้านเทคโนโลยี จะเห็นว่ามีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง อย่างที่เห็นได้ชัดในช่วงหลายหลังมานี้มีการมาใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นแบบติดบนแผงวงจรโดยไม่ต้องเจาะรู หรือที่เรียกว่า surface mount analysis ดังนั้น การตรวจสอบคุณภาพก็ต้องมาเป็นของคู่กัน ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพของแผงวงจรแบบ surface mount นั้นใช้วิธีการ image processing ซึ่งจะมีเครื่องสำหรับวิเคราะห์ โดยจะถ่ายภาพต้นแบบก่อนแล้วค่อยนำตัวอย่างที่จะต้องการตรวจสอบมาเทียบซึ่งอาจจะต้องใช้เวลาและเครื่องตรวจสอบที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่

งานวิจัยฉบับนี้จึงสังเกตเห็นว่า หากจะนำ digital holography และ compressive sensing มาวิเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบไม่ทำลายนั้น จะส่งผลในเรื่องของความเร็วในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ทำจำนวนน้อยครั้งได้ ซึ่งจะส่งผลในเรื่องเวลาในการวิเคราะห์ที่จะเร็วขึ้น และแม่นยำมากขึ้น

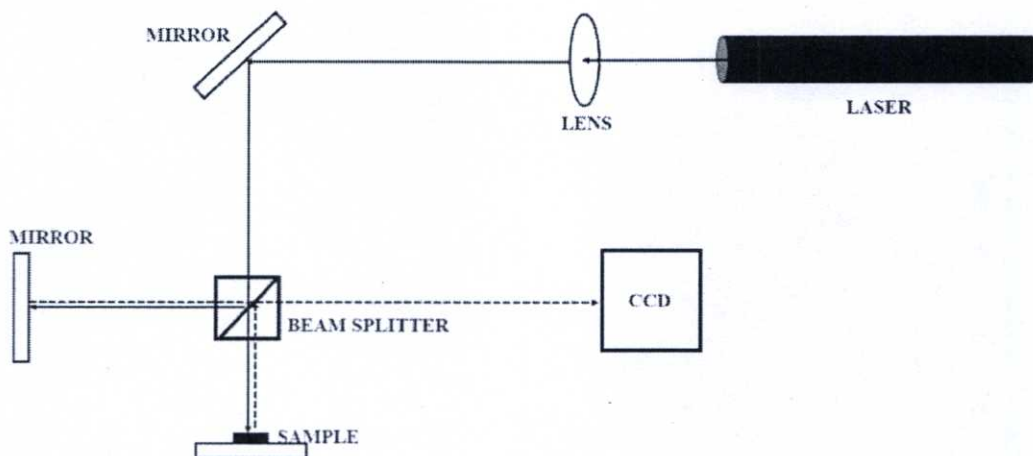
### บทที่ 3

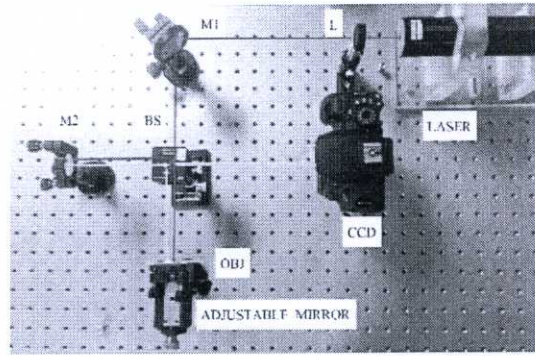
#### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยด้วยงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพของสารเชื่อมประสานบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 โดยงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้งานเทคนิคการบันทึกภาพด้วยดิจิทัลโฮโลกราฟีร่วมกับกระบวนการคำนวณ Compressive Sensing เพื่อใช้วิเคราะห์และนำไปสู่การตรวจสอบคุณภาพของสารเชื่อมประสานบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาเป็นขั้นตอนโดยเริ่มจากการบันทึกภาพโฮโลแกรม แล้วนำไปประมวลผลด้วยกระบวนการทางคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะให้เกิดผลที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้

##### 3.1 ขั้นตอนการบันทึกภาพด้วยระบบดิจิทัลโฮโลกราฟี (recording of image)

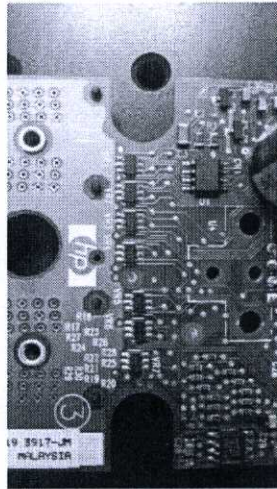
ภาพที่ 3.1 แสดงการติดตั้งระบบชุดทดลองแบบไมเคิลสันดิจิทัลโฮโลกราฟี ซึ่งเป็นระบบที่ใช้สำหรับถ่ายภาพตัวอย่างแบบสะท้อนจากผิวหน้าของตัวอย่างซึ่งจะเกิดการแทรกสอดของลำแสงที่เป็นแสงอ้างอิงและแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวของตัวอย่างแล้วทำให้เกิดภาพขึ้น โดยการทดลองใช้เลเซอร์ฮีเลียมนีออนความยาวคลื่น 632 นาโนเมตรซึ่งเป็นแสงสีแดง เนื่องจากลำแสงที่ออกจากเลเซอร์มีขนาดเล็กกว่าตัวอย่างที่ต้องการศึกษาจึงทำการขยายขนาดลำแสงด้วยเลนส์ แล้วแสงสะท้อนเข้ากระจกเพื่อผ่านเข้าชุดแยกแสง (beam splitter) ให้เป็นสองลำแสงคือแสงอ้างอิง และแสงที่สะท้อนกับวัตถุ เนื่องจากในการศึกษาเฟสของภาพนั้นต้องใช้อุปกรณ์ที่ค่อนข้างสูง จึงได้มีการประยุกต์ใช้งานอย่างง่ายของระบบโดยวางแท่นไมโครมิเตอร์ที่แกนด้านที่มีตัวอย่างเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเฟสของภาพ เมื่อแสงอ้างอิงและแสงตัวอย่างสะท้อนมาแทรกสอดกันที่กล้องถ่ายรูปชนิด CCD ก็ทำการบันทึกภาพเพื่อนำไปทำการสร้างภาพด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ต่อไป





ภาพที่ 3.1 ไมเคิลสัน ดิจิตอลโฮโลกราฟี

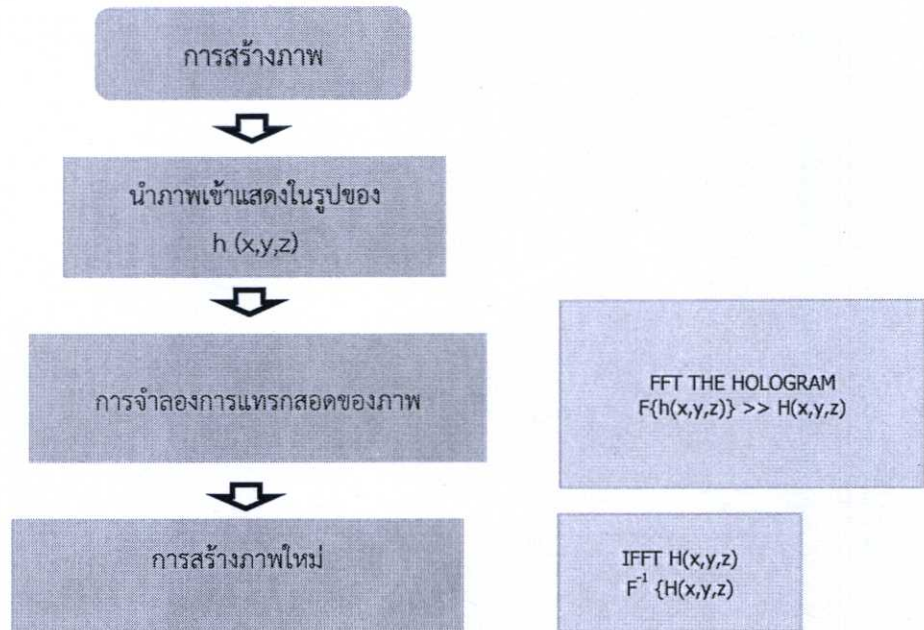
ตัวอย่างที่นำมาศึกษาเป็นแผงวงจรขนาดเล็กที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ติดอยู่เรียบร้อยแล้วดังแสดง  
ในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลอง

### 3.2 การสร้างภาพ (reconstruction of image)

เมื่อได้ภาพจากการทดลองแล้ว นำภาพที่ได้เข้าสู่กระบวนการทางคณิตศาสตร์โดยประมวลผลด้วย  
โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ลำดับขั้นตอนตามภาพที่ 3.3

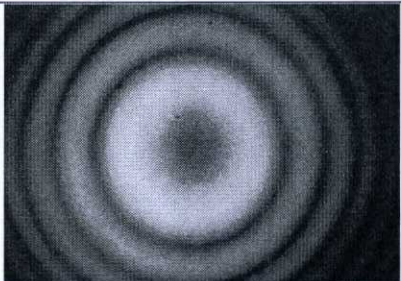
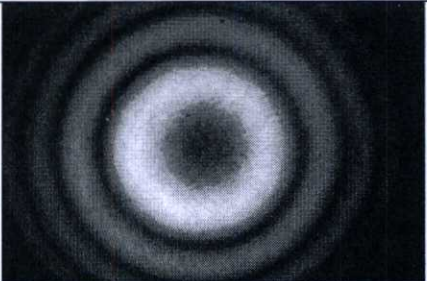
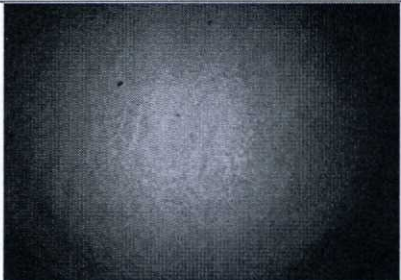
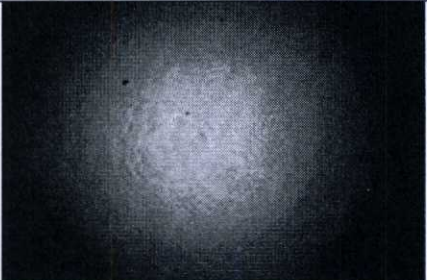


ภาพที่ 3.3 ไตอะแกรมแสดงการสร้างภาพโฮโลแกรม


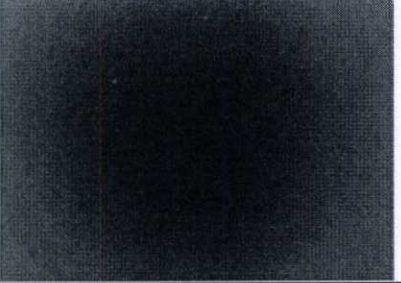


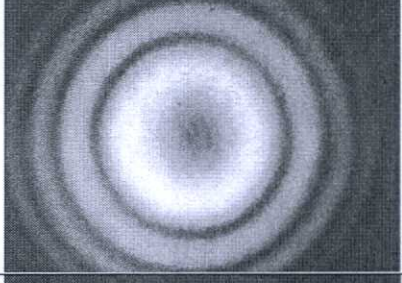
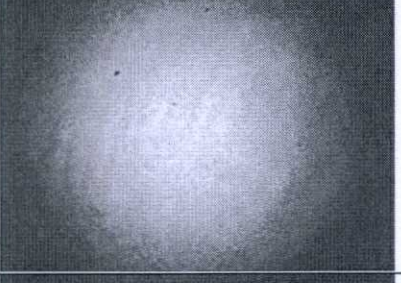
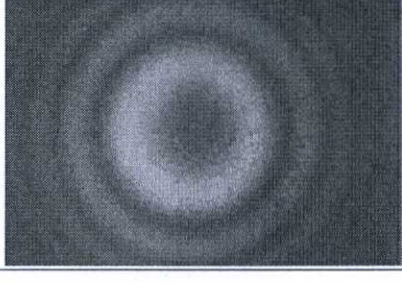

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งการแสดงผลออกเป็น 2 แบบคือ การแทรกสอดของแสงปกติโดยที่ยังไม่มีการแทรกสอดจากตัวอย่าง และแสงที่แทรกสอดระหว่างแสงอ้างอิงกับแสงสะท้อนจากผิวหน้าของตัวอย่าง


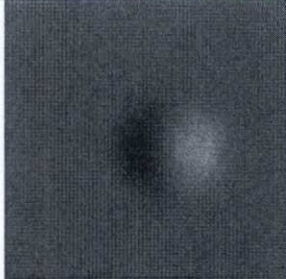
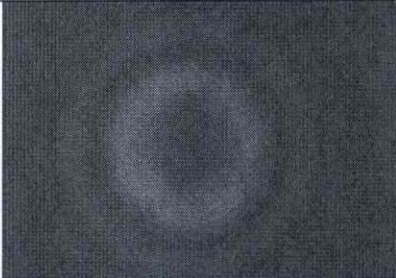
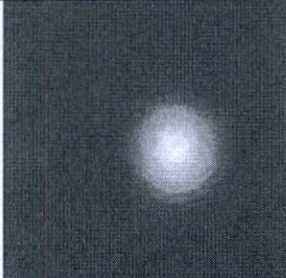
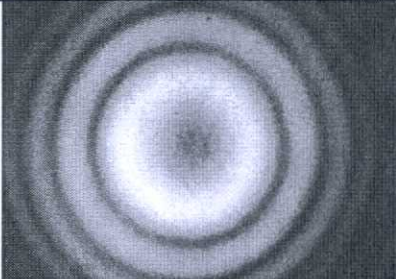
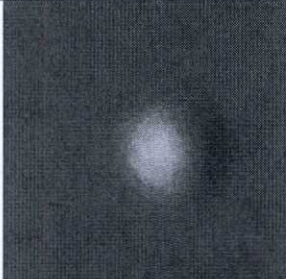
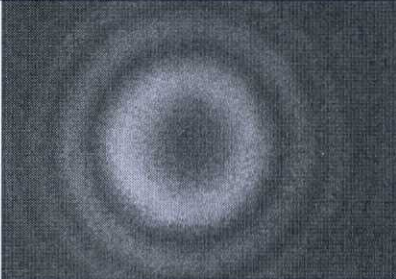

ตารางที่ 4.1 การแทรกสอดของแสง .

	ภาพจากการบันทึก	การสร้างภาพใหม่
การแทรกสอดของแสงที่ไม่มีตัวอย่าง		
การแทรกสอดของแสงที่มีตัวอย่าง		

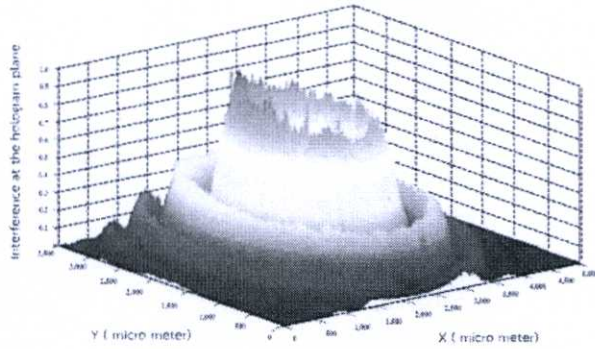
ตารางที่ 4.2 ภาพแต่ละมุมเฟสของการแทรกสอดของแสงตัวอย่างเป็นตัว IC

	การสร้างภาพใหม่ในแต่ละเฟส การแทรกสอดของแสงที่ไม่มีตัวอย่าง	การสร้างภาพใหม่ในแต่ละเฟส การแทรกสอดของแสงที่มีตัวอย่าง สะท้อนบนขาของตัว IC
0		
$\frac{\pi}{2}$		
$\pi$		
$\frac{3\pi}{2}$		

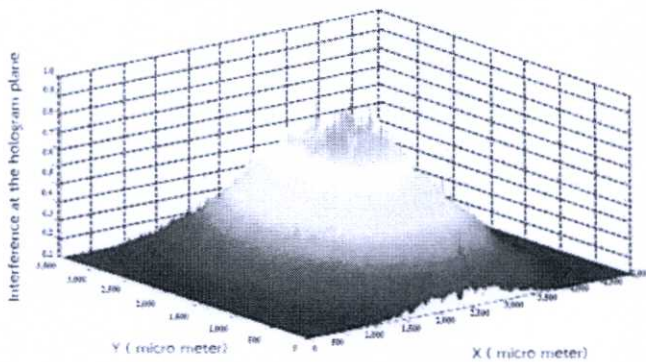
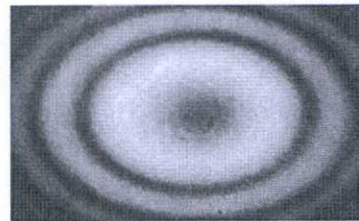
ตารางที่ 4.3 ภาพแต่ละมุมเฟสของการแทรกสอดของแสงตัวอย่างเป็นตัวด้านทาน

	การสร้างภาพใหม่ในแต่ละเฟส การแทรกสอดของแสงที่ไม่มีตัวอย่าง	การสร้างภาพใหม่ในแต่ละเฟส การแทรกสอดของแสงที่มีตัวอย่าง สะท้อนบนขาของตัวด้านทาน
0		
$\frac{\pi}{2}$		
$\pi$		
$\frac{3\pi}{2}$		

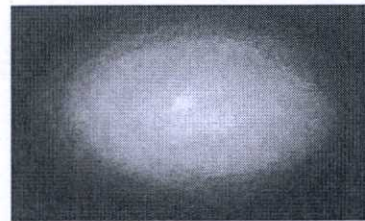
ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของการแทรกสอดที่ตำแหน่งต่างๆของแสงบนแสงที่ไม่มีตัวอย่างและที่แทรกสอดเมื่อมีตัวอย่างที่ต้องการศึกษา โดยภาพที่ 4.1 (ก) เป็นภาพการแทรกสอดของแสงโดยไม่มีตัวอย่าง ภาพที่ได้แสดงการแทรกสอดของแสงเป็นริ้วอย่างชัดเจน บนพื้นผิวของกระจก ส่วนภาพที่ 4.1 (ข) แสดงภาพการแทรกสอดของแสงเมื่อวางตัวอย่างไว้อีกด้านหนึ่งของกระจกเทียบกับแสงอ้างอิงพบว่า แสงที่สะท้อนตัวอย่างแล้วทำการแทรกสอดมีความชัดเจนเป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับภาพที่ 4.1 (ก)



(ก)



(ข)



#### ภาพที่ 4.1 การแทรกสอดของแสงแบบ 3 มิติ

(ก) การแทรกสอดของแสงสะท้อนกับแสงกระจก

(ข) การแทรกสอดของแสงผ่านตัวอย่างแล้วเปรียบเทียบกับแสงอ้างอิง

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคทางแสงที่เรียกว่าดิจิตอลโฮโลกราฟีร่วมกับคอมพิวเตอร์ซึ่งในการศึกษาเกี่ยวกับผิวหน้าและการเชื่อมต่อของสารเชื่อมประสานบนวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ ซึ่งในปัจจุบันขนาดของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์มีขนาดเล็กลงไปอย่างมาก เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีและการเล็งเห็นในเรื่องของขนาดของสิ่งของที่เล็กลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้นำเสนอในลักษณะของภาพที่บันทึกจากระบบติดตั้งแบบไมเคิลสันดิจิตอลโฮโลกราฟีที่ใช้สำหรับการศึกษาระยะท่อนและการแทรกสอดของแสงโดยมีแสงที่เป็นแสงอ้างอิงและแสงที่สะท้อนจากตัวอย่าง แล้วนำไปผ่านกระบวนการนิวเมอริคัลในการสร้างภาพใหม่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยภาพที่ถ่ายได้จากระบบที่ติดตั้งนั้นจะนำเข้าสู่กระบวนการดังกล่าวเพื่อให้ได้ภาพที่มีความคมชัดและสามารถวิเคราะห์สารเชื่อมประสานและการเชื่อมต่อของอุปกรณ์และแผงวงจรที่ต้องการศึกษาได้ ซึ่งการวิเคราะห์คำนวณแบบเพสซิฟิตนั้นจะให้เห็นรายละเอียดในแต่ละจุดบนพื้นผิวได้ชัดเจนมากกว่าแบบแอมพลิฟูดเพียงอย่างเดียว แต่เนื่องด้วยสารเชื่อมประสานมีความมันวาวเนื่องจากสารตะกั่วและวัตถุที่ผสมกันเป็นสารเชื่อมประสานในแต่ละแบบสิ่งที่เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นทันทีก็คือการเกิดการกระเจิงของแสงบนพื้นผิวหน้าของสารเชื่อมประสานและการเกิดปฏิกิริยาออกไซด์ที่เกิดขึ้นทันทีหลังจากสารโดนก๊าซออกซิเจน

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานในอนาคตก็จะเป็นการนำปัญหาที่เกิดขึ้นมาแก้ไขในเรื่องของการกระเจิงและศึกษาการเกิดออกไซด์ของสารเชื่อมประสานต่อไปบนแผงวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ในการตรวจสอบคุณภาพแผงวงจรและสารเชื่อมประสานต่อไป รวมไปถึงการวิเคราะห์ตั้งแต่การผสมสารเชื่อมประสานด้วยวัสดุใหม่ๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพในด้านการทำงานของแผงวงจรต่อไป

## บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

งานที่นำเสนอ :

Quality investigation of surface mount technology using phase-shifting digital holography

งานประชุมวิชาการ :

SPIE Optics + Photonics 2016 ที่เมืองซาน ดิเอโก รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา

วันที่ 26 สิงหาคม ถึง 3 กันยายน 2559

## เอกสารอ้างอิง

- [1] D.Gabor, "A new microscopic principle," Nature.161, PP. 777-778, 1948.
- [2] D.Gabor, "Microscopy by reconstructed wavefronts," Proc.Roy.Soc.197, PP.454-487, 1949.
- [3] D.Gabor, "Microscopy by reconstructed wavefronts2," Proc.Phy.Soc.64, PP.449-469, 1951.
- [4] Lei Tian, Nick Loomis, Jose A. Dominguez-Caballero, George Barbastathis, " Quantitative measurement of size and three-dimensional position of fast-moving bubbles in air-water mixture flows using digital holography," Applied Optics, Vol.49, No.9, 20 March 2010.
- [7] Suwan Plaipichit, Prathan Buranasiri, "Moisture effect of fingerprint using total internal reflection digital in-line holography.," Optical Engineering 53(11), 112315, November, 2014.
- [8] Compressive sensing of digital Sparse signals, Keying Wu ; Res.&Innovation Center, Alcatel-Lucent Shanghai Bell Co., Ltd., Shanghai, China; Xiaoyong Guo
- [9] Application of neural networks in optical inspection and classification of solder joints in surface mount technology, Acciani, G. ; Dipt. Di Elettrotecnica ed Elettronica, Bari. Univ. ; Brunetti, G. Fornarelli, G.

ภาคผนวก ก

**SPIE.**

**PROCEEDINGS OF SPIE**

# Quality investigation of surface mount technology using phase-shifting digital holography

Chantira Boonsri and Prathan Buranasiri\*

Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Bangkok 10520, Thailand

## ABSTRACT

Applying of a phase-shifting digital holography combined with compressive sensing to inspect the soldering quality of surface mount technology (SMT) which is a method for producing electronic circuits. In SMT, the components are mounted and connected with each other directly onto the surface of printed circuit boards (PCBs). By reconstructing the multidimensional images from a few samples of SMT, the results are solved by an optimization problem. In this paper, two problems have been concerned. The first one is to examine the devices and the soldering quality of connections between them, which are in micro-scaled. The second is to observe the effect of heat treatment of soldering material and devices on the surface mount board

**Keywords:** Phase-shifting, digital holography, compressive sensing, surface mount technology.

## INTRODUCTION

Nowadays, Surface Mount Technology (SMT) is a large number of commercial and industrial products. Modern SMT, recently has improved performance over the old fashion, i.e. through-hole components, due to their smaller size, shorter internal leads, and smaller board layouts. These factors reduce the circuit's parasitic inductance and capacitance. The SMT concept is not new but the design and manufacturing technologies used previously generally are not applicable to the technology used today. The currently version of SMT requires a complete rethinking of design and manufacturing, along with a new SMT infrastructure to develop. The manufacturers needed to ensure the survival of either pieces can be properly performed. Any mistakes are pushed by extinction which methods of manufacturing conventional electronic assemblies have essentially reached their limits such as cost, weight, volume, and reliability[1-2].

SMT has become the impressive assembly method, which mounted micro-electronic components directly on the surface printed circuit. Soldering is the techniques of joining two pieces of metal together. Hence, the solder is composed of a mixing of some metal powder containing fusion of liquid called flux. The basis of most hard solder is copper, with addition of zinc, tin and silver. Recently, lead free alloys have been used for protecting the environment. However, the reaction between solder and substrate due to the applied heat is of the crucial important. The some fabrication problems usually have been raised when the order number of electronics mounted is increased. According to surface mount PCBs manufacturing failures are cause by the solder inspection is an indispensable process. Recently, the quality review of solder paste demonstration by using optical methods also have been one of effective approaches, in order to come up with an effective way for investigating the physical, thermal and mechanical properties of a solder paste[3-4].

\* prathan.bu@kmitl.ac.th; phone +66(0) 2329 8000 - 2329 8099; kmitl.ac.th

Nondestructive testing (NDT) of surface shape with high resolution is required in difference field. Image formation of three dimension object using diffraction, reflection, and interference of light by a computer is a well-known method applied in NDT. Digital Holography (DH) is a technology of a paradigm in general imaging applications that uses digital recording of holograms by CCD. Then, the reconstruction is numerically performed by using a computer. Here, numerical diffraction field delivers distributions of both amplitude and phase quantitatively. Its main limitation that is caused by much lower resolution of CCDs than that of photographic materials has been considerably overcome by phase-shifting digital holography. However, the numerical reconstruction process is very flexible and phase distribution which cannot be observed in optical reconstruction is easily derived quantitatively. The large volume of data required for storing or transmitting holograms has been a main limiting factor of optical image. In recent year researchers have proposed many hologram compression schemes to solve this problem [5-7].

In image processing, it would be great to reconstruction an image as good as possible from small measurement data. Compressive sensing is the application in mathematics, electrical engineering, computer science, and physics which data acquisition and compression can be performed simultaneously. The signals are sparse, and acquired with few measurements which are exploiting sparsity enables one to solve the resulting underdetermined systems of linear equations. Moreover, involving randomness in the acquisition step enables one to utilize the minimal number of measurement. Hence, computational imaging applies on hologram recorded on digital holography to reconstruct three dimension objects that are sparse in the spatial domain [8-13].

In this paper, we has established an innovative model of surface mount technology inspection system which used an algorithm regenerate phase-shifting image from interferometry combined with compressive sensing.

## FUNDAMENTAL PRINCIPLES

### 1.1 Digital Holography

The concept of digital holography recording is a plane reference wave and wave reflected from the object are interfering each other at the surface of a charged coupled device (CCD) as shown in figure 1 [7-9].

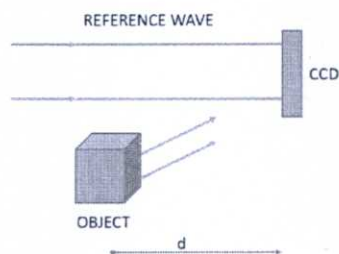


Figure 1. Digital Holography recording

Holographic interferometer setup has been applied to measure the deformation of an object surface. The amplitude and phase can be reconstructed from the setup. By using this setup, simple arithmetic manipulations of numerical arrays of phase-shifting digital holography (PSDH) can be done. The trouble of image processing can be cancel and the exposure time can be shorten by recent enhancement of CCD sensitivity.

Assume that the reference plane wave normally incident on the hologram plane and the object wave has the amplitude  $\varepsilon_0(x, y)$  and phase  $\varphi(x, y)$  and can be written in equations (1) and (2) respectively.

$$E_R(x, y) = \varepsilon_R \exp(i\alpha) \quad (1)$$

$$E_O(x, y) = \varepsilon_0 \exp(i\varphi(x, y)) \quad (2)$$

where  $\alpha$  is a global phase.

Then, the interference intensity can be given as

$$I_{\alpha}(x, y) = |E_R + E_O|^2 \quad (3)$$

The four-step PSDH with phase shift  $\alpha = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$  are

$$\begin{aligned} I_0 &= \varepsilon_R^2 + \varepsilon_O^2 + 2\varepsilon_R\varepsilon_O \cos \varphi \\ I_{\pi/2} &= \varepsilon_R^2 + \varepsilon_O^2 + 2\varepsilon_R\varepsilon_O \sin \varphi \\ I_{\pi} &= \varepsilon_R^2 + \varepsilon_O^2 + 2\varepsilon_R\varepsilon_O \cos \varphi \\ I_{3\pi/2} &= \varepsilon_R^2 + \varepsilon_O^2 + 2\varepsilon_R\varepsilon_O \sin \varphi \end{aligned} \quad (4)$$

which are finally numerically combined to get the phase profile [9]

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1} \left[ \frac{I_{\pi/2} - I_{3\pi/2}}{I_0 - I_{\pi}} \right] \quad (5)$$

Without the reference beam, the object amplitude  $E_O(x, y)$  can be obtained by a separate exposure of the object. The image is reconstructed from  $E_O(x, y) = \sqrt{E_O^2} \exp[i\varphi]$

## 1.2 Compressive Sensing

The main object of CS model has been used for random sensing mechanisms applied in imaging as explain in references [10-13]. In the case of linear information acquisition, the problem is reduced to a linear system equations. The sampling measurement of a vector is connected to the signal of interest via

$$Ax = y \quad (6)$$

where matrix  $A \in C^{m \times N}$  models the linear measurement information process. By using eq. 6, the vector  $y \in C^N$ , then, is founded, which  $m$  is the number of measurements, and the amount of data must be at least as large as the signal length  $N$ . If the case of  $m < N$  is interested, then the system is undetermined and there are infinite solutions. The underlying assumption which makes CS possible is signal sparsity and the incoherence between the sensing and sparsifying operators. Sparse is a signal which its components are zero or very small. The notation  $\|x\|_0$  is the entries of a vector  $x$ , that is used to reconstruct  $x$  as a solution of the convex combinatorial optimization which are given as

$$\text{Minimize } \|Z\|_0 \quad \text{subject to } Az = y \quad (7)$$

$$\text{Minimize } \|Z\|_1 \quad \text{subject to } Az = y \quad (8)$$

where  $l_1$ -norm  $\|\bullet\|_1$  is a convex function, for which exist efficient convex optimization methods. Basis pursuit can be explained as the convex relation of  $l_0$ -minimization will indeed favor sparsity. To define suitable measurement matrix for a reconstruction, the random matrix is a producing adequate measurement matrices. It is an open problem to construct an explicit matrices which are provably optimal in a compressive sensing setting. Simple examples are Gaussian matrices whose entries consist of independent random variables following a standard normal distribution and Bernoulli matrices whose entries are independent random variables taking the values +1 and -1 with equal probability. A key result in compressive sensing states that, with high probability on the random draw of an  $m \times N$  Gaussian or Bernoulli matrix  $A$ , all  $s$ -sparse vectors  $x$  can be reconstructed from  $y = Ax$  using a variety of algorithms provided an optimum bound

$$m \geq Ck \ln\left(\frac{N}{k}\right) \quad (9)$$

where  $C > 0$  is a small constant independent of  $s$ ,  $m$ , and  $N$ . The amount  $m$  of data needed to reconstruct a  $k$ -sparse vector scalar is almost linearly in  $k$ , while the length  $N$  only has a logarithmic influence.

### COMPUTER SIMULATION AND RESULTS

In our work, the Michelson interferometer with a CCD camera as shown in Figure 2 was used to retrieve the interference images for calculating in the digital holographic technique. A He-Ne laser with 633 nm center-wavelength and 20 mW output power was chosen as a light source. The output light from the laser was collimated by a convex lens (L) and traveled to a non-polarized cubic beam splitter (BS) by reflected on a mirror (M1). This beam splitter divided the light into two parts and these divided light, then, traveled to reference and sample arms of the interferometer, respectively. One light was reflected from a mirror (M2) at the reference arm; meanwhile, another was reflected from the sample surface at the sample arm. These light were recombined with each other again by the beam splitter and were recorded by high resolution CCD camera with 5184 by 3456 pixels. The recorded images, then, were used in the Four Phase-Shifting Hologram (4PSH) technique to construct the images with different phase by  $0$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$  and  $3\pi/2$ .

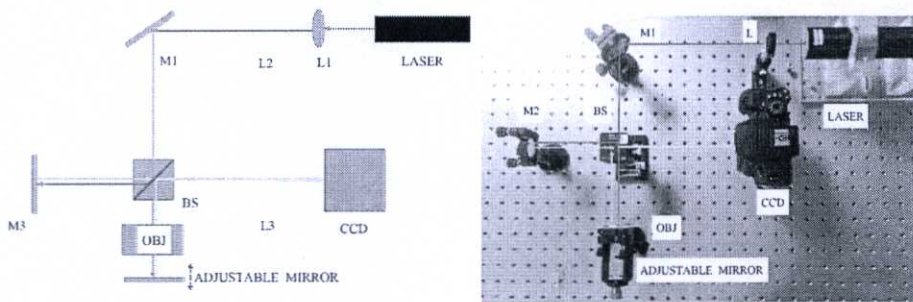
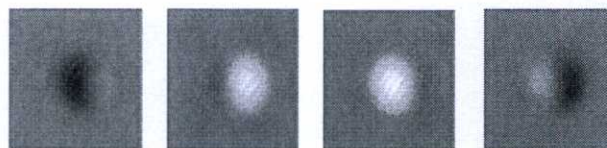


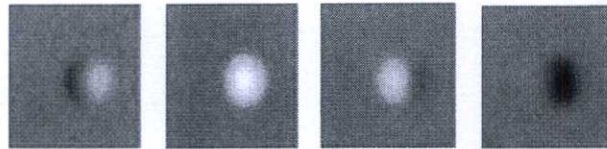
Figure 2. The schematic diagram of the experiment [left] and the real experimental setup [right]

The simulated images with 4PSH technique are shown in Figure 3. The interference simulated images of a shiny plane sample surface in the sample arm are shown in Figure 3(a) while the simulated images of a low reflecting surface are shown in Figure 3(b).

The reconstructed images from 4PSH and 4PSH technique with compressive sensing method (4PSH-CS) for enhancing the image quality are shown in Figure 4. In Figure 4(a), the interference image recorded by the CCD camera using the plane mirror in the sample arm is shown on the left. The improvement image quality by using 4PSH and 4PSH-CS are shown in the middle and the right respectively. The results show no difference between recorded image and the reconstructed images with our procedure.

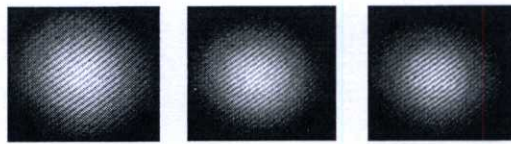


(a) Interference at the hologram plane Image

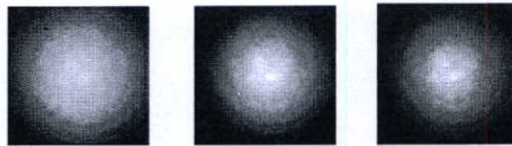


(b) Object image

Figure 3. Four step phase-shifting images (a) Reconstruction of Interference at the hologram plane Image  
(b) Reconstruction of object image



(a) The recorded image [left], the reconstructed image with 4PSH [middle] and the reconstructed image with 4PSH-CS [right] from mirror surface



(b) The recorded image [left], the reconstructed image with 4PSH [middle] and the reconstructed image with 4PSH-CS [right] from electronic devices on PCBs surface

Figure 4. Recorded and reconstructed images when using (a) mirror and (b) electronic devices on PCBs as the sample

On the other hand, the difference occurs when the plane mirror is replaced by the testing object (OBJ); electronic devices on PCBs, as shown in Figure 4(b). The recorded image by CCD shows that the light from the sample arm is merge to the reference light while the 4PSH and 4PSH-CS can distinguish the object light from the reference one and the formation of the electronic devices on PCBs is risen. The results from 4PSH and 4PSH-CS present no divergent between them that may cause from the high resolution of the pixels. To retrieve the exact difference, the crop on the edge of the electronic devices on PCBs is chosen and using the 4PSH-CS technique only on this tiny area which is our future work.

## CONCLUSION AND DISCUSSION

In this work, the technique of testing the SMT devices on PCBs is introduced. Due to the scattering of the object surface, the compressive sensing has been applied to the 4PSH digital holography to distinguish the light from the low reflected surface and the reference light. The raw recorded image merges these two light together while our present procedure can

separate these two light clearly. The results lead us to develop the calibrating method finding the malfunction of the SMT devices on PCBs. In the future, we will improve the technique to achieve the high quality image which indicate the defect of the SMT precisely in 3 dimension and apply the procedure to the electronic industry.

## REFERENCES

- [1] Rudolf Strauss, [Surface mount technology], Oxford : Butterworth Heinemann, 1994
- [2] Glenn R. Blackwell and James K. Hollomon, [Surface-mount technology for PC boards], Surface-mount technology for PC boards, 2006.
- [3] T. Thong-on, T.Prakobsang, W. Pethsanthad, C. Boonsri, S. Plaipichit, P. Buranasiri and K. Yoshimori, "The investigation of thermal effect on dynamical shape changing of solder pasted by using double-view digital holography," Proc. SPIE 9659, 965912 (2015).
- [4] Xinyu Wu,Wing Kwong Chung,Jung Cheng,Hang Tong,and Yangsheng Xu. "A Parallel-Structure Solder Paste Inspection System ," Asme Transactions on mechatronics(14). IEEE.(2009)
- [5] Ichirou Yamaguchi,Sohgo Ohta,Jun-ichi Kato, "Surface contouring by phase-shifting digital holography." Elsevier Science.Optics and Lasers in Engineering. 36. 417-428 (2001).
- [6] Ichirou Yamaguchi. "Image formation and measurement of surface shape and deformation by phase-shifting digital holography." Proc. SPIE 5642. (2005).
- [7] Ting-Chung Poon and Jung-Ping Lio, [Introduction to Modern Digital holography with Matlab], Cambridge University Press. New York. (2014).
- [8] U.Schnar, and W.Jueptner, [Digital Holography. Digital Hologram Recording, Numerical Reconstruction, and Related Techniques], Springer. (2005).
- [9] Myung K.Kim. [Digital Holographic Microscopy], Springer. (2011).
- [10] Jun Li,Hongbing Li Jiaosheng Li,Yangyang Pan and Rong Li, "Compressive optical image encryption with two-step-only quadrature phase-shifting digital holography." Optics Comm. 344, 166-171 (2015).
- [11] P.Clemente,V.Duran,P.Andres,M.Fernandez-Alonso,Enrique Tajahuerce,and Jesus Lancis, "Phase imaging via compressive sensing ." Imaging and Applied Optics. OSA (2013)
- [12] Yair Rivenson,Adrian Stern and Bahram Javidi, "Overview of compressive sensing techniques applied in holography. "Applied Optics. 52. A423-A432 (2013)
- [13] Simon Foucart, and Holger Rauhut, [A mathematical introduction to compressive sensing], Springer Science+Business Media New York, 2010.

ภาคผนวก ข

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

รายการ	วงเงินที่คาดว่าจะใช้แต่ละเดือน												รวม
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
ค่าวัสดุวิทยาศาสตร์			5,000	5,000		10,000	5,000						25,000
ค่าวัสดุสำนักงาน				1,000	1,000		1,000						3,000
ค่าวัสดุการศึกษา			1,000	1,000	2,000								4,000
ค่าจ้างเหมาบริการ							5,000						5,000
ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์				4,000		1,000							5,000
ค่าจ้างพิมพ์รายงาน						1,500				1,500			3,000
ค่าจัดทำรูปเล่ม											2,000		2,000
ค่าถ่ายเอกสาร				1,000			1,000				1,000		3,000
<b>รวม</b>			6,000	12,000	3,000	12,500	12,000			1,500	3,000		

## Prathan Buranasiri

### Assistant Professor

Department of Physics, Faculty of Science,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand, 10520  
Mobile: 097-095-3982  
Email: prathan.bu@kmitl.ac.th

### EDUCATION

- **Ph.D.** Electrical and Computer Engineering, Major Electro-Optics, University of Dayton, Dayton, Ohio, U.S.A. 2006.  
Thesis: Optical Correlation Using Isotropic and Anisotropic Self-Diffraction in Photorefractive material.  
Advisor: Dr. Partha. P. Banerjee
- **M.S.** Physics, Major Optics, University of Alabama in Huntsville, Huntsville, Alabama, U.S.A. 2000.  
Thesis: Coherent and Incoherent Self Imaging Using Photorefractive Barium Titanate Crystal.  
Advisor: Dr. Partha. P. Banerjee
- **B.S.** Physics, Minor Mathematics, Ramkhamhaeng University, Bangkok, Thailand. 1993.

### EXPERIENCE

03/06-present and 04/96-05/97

**Assistant Professor**, Applied Physics Department, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

- Research areas: Semiconductor Lasers, Nonlinear Optics, Photonic Crystals, Optical Communication, Computational Electromagnetics, Optical Tweezers Terahertz Optics, Digital Holography, Optical Coherence Tomography
- Teaching areas: Fundamental Physics, Fundamental Physics Laboratory in Thai and English, Intermediate Physics Laboratory, Physical and Quantum Electronics, Lasers Physics, Physical Optics, Computational Fluid Dynamics, Polarized Light.

04/08-07/08

**Visiting Scholar**, Center for Biophotonics and Laser Science, Physics Department, School of Physical Sciences, University of Queensland, Brisbane, Qld 4072 Australia.

- Investigate an optical tweezers system for measurement some parameters transfer between the laser and the particle in liquids.
- Building a cheap optical tweezers system for using in undergraduate laboratory.

01/00-02/06

**Research Assistant**, Optical Information Processing Lab, University of Dayton, Dayton, Ohio, U.S.A.

- Built optical systems to study incoherent diffraction of acousto-optic cells
- Built optical systems to study pattern formation by photorefractive crystals

- Set up the experiments for undergraduate optic class and high school outreach program

04/95-03/96

**Research Assistant**, Energy Research Institute, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

- To be the secretary of nuclear energy and hydrogen energy project.
- To collect the data for electricity outage cost project.

#### AWARDS AND HONORS

- Thailand Research Fund for New Faculty Member (2008)
- Royal Thai Government Fellowship for Exchanging Faculty (2007)
- Quatman Scholarship (ECE Department, University of Dayton (Winter 2006)
- Research Excellent Award (SPIE Annual Meeting 2005)
- University of Dayton Summer Fellowship (2005)
- Royal Thai Government Scholarship (1997-2003)

#### PUBLICATIONS

- R. Prachachet, B. Samransuksamer, M. Horprathum, P. Eiamchai, S. Limwichean, C. Chananonawathorn, T. Lertvanithphol, P. Muthitamongkol, S. Boonruang, and **P. Buranasiri**, "A comparative study on omnidirectional antidirection SiO<sub>2</sub> nanostructure films coating by glancing angle deposition," *Proc SPIE* 10533 (2018)
- T. Srisuwan, R. Somphonsane, S. Sutthiruangwong, and **P. Buranasiri**, "The investigation of corrosion behavior of electrodeposited Co-Fe alloys surface with phase and 3D reconstruction of image using TIE and TPE," *Proc SPIE* 10503 (2018)
- S. Wicharn, S. Plaipichit, T. Seesan, and **P. Buranasiri**, "A birefringent phase-matching method in multilayered hyperbolic metamaterials," *Proc SPIE* 10516, (2018)
- P. Buranasiri, R. Naunsri, and **P. Buranasiri**, "A numerical investigation of difference frequency generation in nonlinear multilayered metamaterials," *Proc SPIE* 10343, (2017)
- P. Potirak, M. Ranusawud, P. Limsuwan, and **P. Buranasiri** "The investigation of iodine cell temperature control in frequency stabilized Nd:YAG laser system," *Proc SPIE* 10090, (2016)
- C. Boonsri, and **P. Buranasiri**, "Quality investigation of surface mount technology using phase-shifting digital holography" *Proc SPIE* 9970, (2016)
- T. Thong-on, and **P. Buranasiri** "Measuring a thermal expansion of thermoelectric materials by using in-line digital holography" *Proc. SPIE.* 10022, (2016)
- P. Phongwisit, S. Kamoldilok, and **P. Buranasiri** "Elongation measurement using 1-dimensional image correlation method" *Proc. SPIE.* 10023, (2016)

- T. Thong-On, T. Prakobsang, W. Pethsanthad, **P. Buranasiri**, and K. Yoshimori, "The investigation of thermal effect on dynamical shape changing of solder paste by using double-view digital holography" Proc SPIE 9659, (2015)
- K. Sidakum, **P. Buranasiri**, S. Plaipichit, W. Yindeesuk, and K. Yoshimori, "Imaging enhancement of digital holography using photorefractive effect" Proc SPIE 9659, (2015)
- **P. Buranasiri**, S. Plaipichit, W. Yindeesuk, and K. Yoshimori, "Digital holography system for undergraduate student laboratory" Proc SPIE 9659, (2015)
- S. Wicharn, and **P. Buranasiri**, "Intense terahertz-pulse generation by four-wave mixing process in induced gas plasma" Proc SPIE 9546, (2015)
- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, "Nonlinear frequency conversion effect in a one-dimensional graphene-based photonic crystal" Proc SPIE 9659, (2015)
- C. Ruttanapun, P. Jindajitawat, **P. Buranasiri**, A. Charoenphakdee, and V. Amornkitbamrung, "P-Type optoelectronic and transparent conducting oxide properties of delafossite  $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ " Journal of the American Ceramic Society, 98 (2), 437-442, (2015)
- **P. Buranasiri**, "Optics and communication technology major of physics undergraduate degree at king mongkut's institute of technology ladkrabang" Proc SPIE 9188, (2014)
- K. Suwansukho, S. Sumriddetchkajorn, and **P. Buranasiri**, "Fast fluorescent imaging-based Thai jasmine rice identification with polynomial fitting function and neural network analysis" Applied Optics, 10, 2206-2212, (2014)
- S. Plaipichit, and **P. Buranasiri**, "Moisture effect of fingerprint using total internal reflection digital in-line holography" Optical Engineering, 53 (11), 112315, (2014)
- S. Wicharn, and **P. Buranasiri**, "Third-harmonic generation enhancement in polymer-dispersed liquid crystal grating" Proc SPIE 9162, (2014)
- S. Wicharn, and **P. Buranasiri**, "Third-harmonic pulse generation in one-dimensional photonic crystal structures" Journal of Nanophotonics, 8 (1), 083893, (2014)
- **P. Buranasiri**, and S. Plaipichit, "Glass bottle inspection by using digital in-line holography" Proc SPIE 9204, (2014)
- **P. Buranasiri**, "Optics and communication technology major of physics undergraduate degree at king mongkut's institute of technology ladkrabang" Proc SPIE 9188, (2014)
- K. Suwansukho, S. Sumriddetchkajorn, and **P. Buranasiri**, "Fast fluorescent imaging-based Thai jasmine rice identification with polynomial fitting function and neural network analysis" Applied optics, 53 (10), 2206-2212, (2014)
- C. Ruttanapun, P. Jindajitawat, **P. Buranasiri**, and C. Thanachayanont, A. Charoenphakdee, "Preparation, characterization and finite element computation of  $\text{Cu}(\text{Al}_{1/2}\text{Fe}_{1/2})\text{O}_2$  Delafossite-oxide thermoelectric generator module" Integrated Ferroelectrics, 156 (1), 102-114, (2014)
- S. Plaipichit, **P. Buranasiri**, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, "The direct measurement of the photorefractive grating on anisotropic self diffraction using digital holography" Integrated Ferroelectrics, 156 (1), 160-167, (2014)

- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, "A computational investigation of third-harmonic generation in one-dimensional photonic band-gap materials with multiple-scale method" *Integrated Ferroelectrics*, 156 (1), 45-52, (2014)
- S. Janchaysang, S. Sumriddetchkajorn, and **P. Buranasiri**, "Tunable filter-based multispectral imaging for detection of blood stains on construction material substrates part 2: Realization of rapid blood stain detection," *Applied Optics*, 52(20), 4898-4910, (2013)
- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, "Optical parametric amplification in one-dimensional photonic bandgap structures" *Applied Optics*, 52 (25), 6090-6099, (2013)
- K. Sidakum, **P. Buranasiri**, S. Plaipichit, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, "The generation of optical phase conjugation from cerium doped barium titanate at wavelength of 632.8 nm" *Proc SPIE* 8883, (2013)
- N. Laowattanatham, N. Cheamanunkul, S. Plaipichit, **P. Buranasiri**, and R. Nuansri, "Low cost optical tweezers systems using double coil driving stepping motor to controlling sample stage" *Proc SPIE* 8883, (2013)
- S. Plaipichit, P. Atta, **P. Buranasiri**, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, "Fingerprint verification by using low coherence digital holography" *Proc SPIE* 8883, (2013)
- C. Ruttanapun, M. Sa-Nguan-Cheep, S. Kahatta, **P. Buranasiri**, and P. Jindajitawat, "Optical and electronic transport properties of p-type CuCoO<sub>2</sub> transparent conductive oxide" *Proc SPIE* 8883, (2013)
- S. Janchaysang, S. Sumriddetchkajorn, and **P. Buranasiri**, "Improved tunable filter-based multispectral imaging system for detection of blood stains on construction material substrates" *Proc SPIE* 8883, (2013)
- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat, "Efficient third-harmonic generation in one-dimensional photonic crystals" *Proc SPIE* 8883, (2013)
- K. Suwansukho, S. Sumriddetchkajorn, and **P. Buranasiri**, "Single-wavelength based Thai jasmine rice identification with polynomial fitting function and neural network analysis" *Proc SPIE* 8883, (2013)
- P. Potirak, M. Ranusawud, P. Limsuwan, and **P. Buranasiri**, "Investigation of the characteristic of the Nd:YAG laser for standard wavelength in metrology" *Proc SPIE* 8883, (2013)
- S. Plaipichit, **P. Buranasiri**, R. Nuansri, and W. Neeyakorn, "Multi high-order anisotropic self-diffraction in Cerium doped BaTiO<sub>3</sub> crystal," *Proc SPIE* 8258, (2012).
- S. Wicharn, and **P. Buranasiri**, "Parametric down conversion process in one-dimensional photonic band gap structure," *Proc SPIE* 8240, (2012).
- P. Pacharavarangkool, S. Wicharn, and **P. Buranasiri**, "Terahertz pulse generation in air using difference frequency generation," *Thai Journal of Physics*, 7, (2011)

- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, and J. W. Haus “The defect state of metallo-dielectric photonic band gap structure and its application in optoelectronic devices” Thai Journal of Physics, **6**, (2010)
- S. Plaipichit, T Taengtung, S. Kamoldilok, and **P. Buranasiri**, “Adjustable high voltage direct current power supply for CO<sub>2</sub> laser controlled by digital system,” Thai Journal of Physics, **6**, (2010).
- S. Suttirak, **P. Buranasiri**, P. Puttanarakul, and N. Witthayakorn, “A study of photorefractive effect in Pb-based relaxor ferroelectric crystals using P-scan technique,” Thai Journal of Physics, **5**, 325 (2009).
- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, W. Yindeesuk, C. E. Sunny, A. M. Sarangan, and J. W. Haus, “Metallo-dielectric photonic band gap structure simulation using transfer matrix method and Bloch functions,” Thai Journal of Physics, **5**, 55 (2009).
- S. Suttirak, **P. Buranasiri**, P. P. Banerjee, N. Witthayakorn, and W. Neeyakorn, “Photorefractive effect in Pb-based relaxor ferroelectric materials,” Proc SPIE 6793 (2008).