



การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้า  
ของวงจรรวม

Design of Experiment for Improving Wire Bonding Process of  
Integrated Circuit

อภิรัตน์ มีมุขอ

APIRAT MEEMOOSOR

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2562



การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้า  
ของวงจรรวม

Design of Experiment for Improving Wire Bonding Process of  
Integrated Circuit

อภิรัตน์ มีมุขอ

APIRAT MEEMOOSOR

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

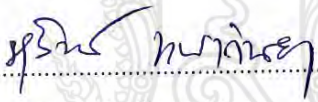
2562

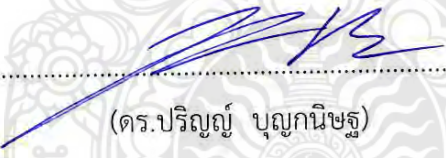
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อการค้นคว้าอิสระ การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้า  
ของวงจรรวม  
ชื่อ นามสกุล อภิรัตน์ มีมุขอ  
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน  
คณะ วิศวกรรมศาสตร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการค้นคว้าอิสระฉบับนี้แล้ว

  
..... ประธานกรรมการ ✓  
(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

  
..... กรรมการ ✓  
(ดร.สุวิทย์ แพงกันยา)

  
..... กรรมการและที่ปรึกษา ✓  
(ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับ  
การค้นคว้าอิสระฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

วันที่ 7 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2563

ชื่อการค้นคว้าอิสระ	การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าของวงจรรวม
ชื่อ นามสกุล	อภิรัตน์ มีมุข
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2562

### บทคัดย่อ

การใช้ลวดทองแดง (Copper) แทนลวดทอง (Gold) สามารถลดต้นทุนในการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit, IC) ของอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ได้เป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีความเสถียรของวงจร (Circuit Reliability) ที่น้อยกว่าการใช้ลวดทอง ด้วยเหตุนี้การศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตวงจรรวมในส่วนของการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้า (Wire bonding) ด้วยการเพิ่มกระบวนการอบอ่อน (Baking) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่จะช่วยให้การเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าระหว่างลวดกับแผ่นวงจรรวมมีคุณภาพมากขึ้น เนื่องจากการ Baking จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะในการเชื่อมต่อวงจรได้ดีขึ้น ทำให้มีความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ (IMC : Intermetallic layer) สูงขึ้น ส่งผลให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดีขึ้น สำหรับการศึกษาทดลองครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาออกแบบ กระบวนการ Baking โดยเปรียบเทียบค่า IMC ที่ระดับอุณหภูมิ 175 °C และระดับอุณหภูมิที่ 200 °C แล้วจึงทำการวัดทดสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยเครื่อง (Scanning Electron Microscope, SEM) ทุก 30 นาที ซึ่งผลการทดลองพบว่าระดับอุณหภูมิที่ส่งผลให้คุณภาพของชิ้นงานมีความเสถียรของค่า IMC คือ ที่ระดับอุณหภูมิ 175 °C ใช้เวลา 9 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิใหม่ 200 °C จะใช้ระยะเวลาเพียง 3 ชั่วโมง โดยค่าที่ได้นี้พบว่าค่า IMC สูงมากกว่าค่าเฉลี่ยของค่าระดับที่ยอมรับจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ระดับ 60% และได้ค่ามากกว่าระดับที่ยอมรับของภาคอุตสาหกรรมที่ 80% ส่งผลให้ลดเวลาและต้นทุนในการผลิตชิ้นงาน IC และชิ้นงานมีคุณภาพสูงขึ้นอีกด้วย

**คำสำคัญ:** ลวดทองแดง, วงจรรวม, รอยต่อของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ, การเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้า

<b>Independent Study Title</b>	Design of experiment for improving wire bonding process of integrated circuit
<b>Author</b>	Apirat Meemoosor
<b>Degree</b>	Master Degree of Engineering
<b>Major program</b>	Sustainable Industrial Management Engineering (Graduate Studies), Faculty of Engineering
<b>Academic Year</b>	2019

### Abstract

Using copper wire instead of gold wire can reduce a lot of cost in IC production of semiconductor industrial. However, the circuit stability (Circuit Reliability) is less than the use of gold wire. Therefore, the study to improve the production of integrated circuits in the part of the wire bonding process by increasing the baking process. It is an important process to improve the quality of the integrated circuit between Cu wire and chip. For this experimental study of baking process, it was performed by comparing IMC values at 175 °C and 200 °C. The quality of workpiece was tested and measured by Scanning Electron Microscope (SEM) machine every 30 minutes. The research experiment found that the temperature with effect to the workpiece quality to stabilize the IMC value was 175 °C for 9 hours nevertheless the new temperature at 200 °C, it has been applied with only 3 hours. Finally, the IMC testing result is higher than the average of the at 60% standard acceptable level as other research reviews and it also higher than the acceptable level of the industry level at 80%. Hence, this result can reduce time, cost of IC and workpieces production and it also including the higher quality of the products.

**Keywords:** Copper wire, Integrated circuit, IMC, Wire bonding

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการแนะนำของอาจารย์ ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ  
ที่ได้ให้คำแนะนำโดยตลอด กระทั่งทำการวิจัยจนสำเร็จวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความ  
ยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งได้ให้คำแนะนำต่างๆ ใน  
การทดลอง และที่ให้การสนับสนุน รวมทั้งคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ

ขอขอบคุณทีมวิศวกรจากบริษัท Microchip Technology (Thailand) Co., Ltd.  
โดยเฉพาะทีมวิศวกรและพนักงานในส่วนของการประกอบ Assembly process และ Failure analysis  
section ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ ค่าปรึกษา รวมถึงการดำเนินงานวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่วาง  
ไว้ทุกประการซึ่งคำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่างๆ เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำการศึกษานี้  
ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

อภิรัตน์ มีมุขอ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญภาพ	(ช)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย	6
1.4 สมมติฐานการวิจัย	6
1.5 กรอบแนวความคิด	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ	6
บทที่ 2 การศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรม	
2.1 การศึกษามูลค่าและการแข่งขันของอุตสาหกรรม	8
2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	16
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
2.4 โอกาสในการพัฒนาเพื่อความยั่งยืน	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 เตรียมผลิตภัณฑ์	33
3.2 เก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC ของผลิตภัณฑ์หลังการเชื่อมลวดและการ เต็บโตของชั้น IMC หลังการ Molding ของทั้งลวดทองแดงและทอง	33
3.3 การวิเคราะห์หาค่า IMC ที่ถูกการ Baking ที่อุณหภูมิ 175 °C โดยทำการ วัดทุกครั้งชั่วโมง	34
3.4 การวิเคราะห์หาค่า IMC ที่ถูกการ Baking ที่อุณหภูมิ 200 °C โดยทำการ วัดทุกครั้งชั่วโมง	35

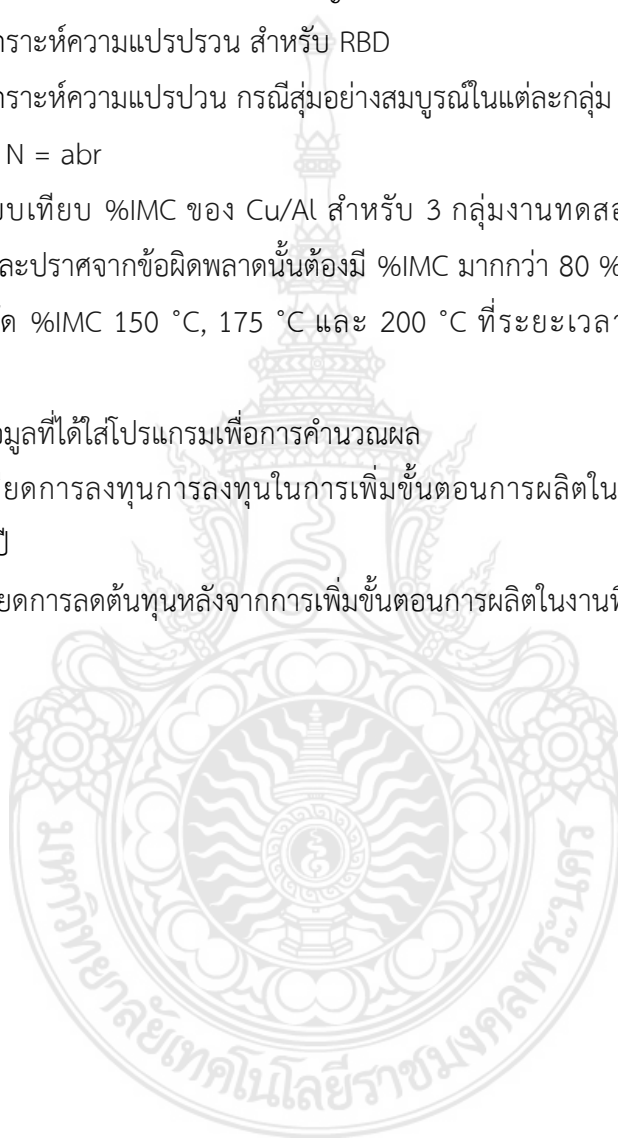
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การวิเคราะห์หาค่า IMC ที่อุณหภูมิ 150 °C ในช่วงเวลาที่ครอบคลุมเวลาที่เร็วที่สุด (2, 3 และ 4 ชั่วโมง) ที่ทำให้ %IMC มีค่ามากกว่า 80% จากอุณหภูมิความร้อน 175 °C และ 200 °C เพื่อทำการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบ	35
3.6 การรวบรวมข้อมูลและสรุปผลการทดลอง	36
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการเก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC ของผลิตภัณฑ์หลังขบวนการการเชื่อมลวดและการเติบโตของชั้น IMC หลังขบวนการ Molding ของทั้งลวดทองแดงและทอง	37
4.2 ผลการเก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC ทุกครึ่งชั่วโมงที่อุณหภูมิ 175 °C	38
4.3 ผลการเก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC ทุกครึ่งชั่วโมงที่อุณหภูมิ 200 °C	39
4.4 ผลของการเก็บข้อมูล IMC ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้กับอุณหภูมิอื่น ๆ	40
4.5 การคำนวณการเจริญเติบโตของชั้น IMC เปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยมีปัจจัยเรื่องของอุณหภูมิ (°C) เวลา (Hour) เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยใช้โปรแกรมในการหาความสัมพันธ์	40
บทที่ 5 อภิปรายผล	44
บทที่ 6 สรุปผล	47
บทที่ 7 การนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์	
7.1 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน	49
7.2 แผนการเผยแพร่และการพัฒนาอย่างยั่งยืน	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก เอกสารตีพิมพ์ เกียรติบัตร อักษรวิสุทธิ์	55
ภาคผนวก ข บันทึก%IMC ของแต่่อุณหภูมิในการทดลอง	65
ภาคผนวก ค กลุ่มตัวอย่างทดลองทางสถิติ	67
ภาคผนวก ง เครื่องมือและการใช้งาน	72
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	100



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	25 บริษัทขายสูงสุดของโลกสำหรับตลาดอุตสาหกรรมเคมีคอนดักเตอร์	12
2.2	รายชื่อผู้ส่งออกแผงวงจรไฟฟ้ารายสำคัญของประเทศไทย	13
2.3	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ RBD	16
2.4	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีสุ่มอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม (RBD) กรณี $r \geq 1$ หรือ $N = abr$	19
2.5	การเปรียบเทียบ %IMC ของ Cu/Al สำหรับ 3 กลุ่มงานทดสอบ ที่ผ่านการทดสอบและปราศจากข้อผิดพลาดนั้นต้องมี %IMC มากกว่า 80 %	21
4.1	ผลการวัด %IMC 150 °C, 175 °C และ 200 °C ที่ระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง	40
4.2	การนำข้อมูลที่ได้ใส่โปรแกรมเพื่อการคำนวณผล	40
7.1	รายละเอียดการลงทุนการลงทุนในการเพิ่มขึ้นขั้นตอนการผลิตในงานที่เป็น Cu wire ต่อปี	49
7.2	รายละเอียดการลงทุนหลังจากการเพิ่มขึ้นขั้นตอนการผลิตในงานที่เป็น Cu wire ต่อปี	50



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 การเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าระหว่างชิพกับขางานโดยใช้ลวดทองแดงเป็นวัสดุติด	1
1.2 แนวโน้มการทดแทนลวดทองโดยลวดทองแดง	3
1.3 จำนวนล๊อตที่พบปัญหา Lifted ball ในแต่ละไตรมาส	4
1.4 ตัวอย่างภาพการเกิด Lifted bond	5
2.1 มูลค่าเพิ่มและชนิดของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์	9
2.2 ดัชนีอุตสาหกรรม	10
2.3 ปริมาณการจำหน่ายเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สำคัญ	11
2.4 มูลค่าการส่งออกและการนำเข้า	11
2.5 ภาพตัดขวางจาก SEM แสดงความหนาของชั้น IMC ที่ถูกเก็บในอุณหภูมิสูง 175 °C ที่ 168 500 และ 1,000 ชั่วโมง	20
2.6 การรวมตัวของ Cu/Al โดยมีพื้นที่ของการบอนด์มากกว่า 80% ทั้ง 3 กลุ่มงาน ทดสอบ	22
2.7 ภาพของลวด Cu ที่เกิดรอยแตกที่ชั้น IMC ระหว่าง Cu กับ Al pad จากการทดสอบด้วย UHAST ซึ่งจะเกิดรอยแตกที่ขอบลูกบอล	22
2.8 ภาพของลวด Cu ที่เกิดรอยแตกที่ชั้น IMC ระหว่าง Cu กับ Al pad จากการทดสอบด้วย TC 9000 รอบ	23
2.9 การเจริญเติบโตของชั้น IMC ในลวด Au ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	23
2.10 การเจริญเติบโตของชั้น IMC ในลวด Cu	24
2.11 การเจริญเติบโตของความหนา IMC ของลวด Au – Al และ Cu – Al หลังจากการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิความร้อน	24
2.12 ภาพตัดขวางจากรูป SEM ของ Cu กับ Al หลังจากถูกเก็บไว้ในอุณหภูมิ 175 °C ที่เวลาต่าง	25
2.13 การเจริญเติบโตของชั้น IMC ระหว่าง Cu กับ Al ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	26
2.14 ภาพตัดขวางของลวด Cu กับ Al pad ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 175 °C และ 200 °C สำหรับ 500 ถึง 2,000 ชั่วโมง	26
2.15 ภาพตัดขวางและภาพขยายใหญ่ที่รอยแตก	27
2.16 (a) ภาพก่อน PCT (b) ภาพหลังจาก PCT 500 ชั่วโมง	28

## สารบัญภาพ (ต่อ)

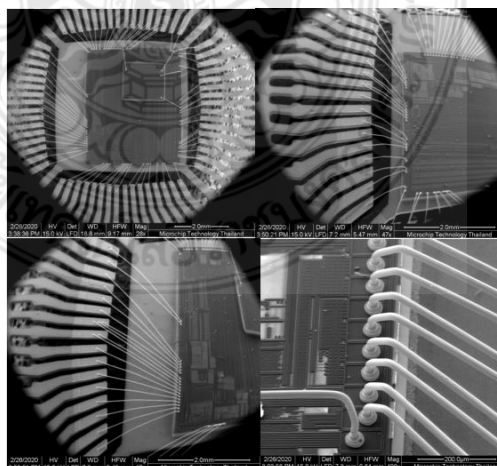
ภาพที่	หน้า	
2.17	ชั้น IMC และ การแรงที่ใช้ในการดันของลูกบอลมีความสัมพันธ์ทางบวก	29
3.1	ภาพใต้ลูกบอลแสดงถึงพื้นที่ IMC	31
3.2	การวัดพื้นที่ IMC โดยเครื่อง SEM (FESEM: FEI Nova NanoSEM 400)	32
3.3	ผลิตภัณฑ์ 64L TQFP ของทั้งลวดทองและทองแดง	33
3.4	กระบวนการเก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC และการเติบโตของชั้น IMC หลัง ขบวนการผลิตของทั้งผลิตภัณฑ์ลวดทองแดงและทองคำ	34
3.5	กระบวนการวิเคราะห์หาค่า IMC ที่อุณหภูมิ 175 °C โดยทำการวัดทุกครั้งชั่วโมง	34
3.6	กระบวนการวิเคราะห์หาค่า IMC ที่อุณหภูมิ 200 °C โดยทำการวัดทุกครั้งชั่วโมง	35
3.7	กระบวนการวิเคราะห์หาค่า IMC ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ทำการ Baking เป็นเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ต่าง ๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่น	36
4.1	ความแตกต่างของโครงสร้างและการหลอมรวมกับ Aluminum pad ของลวด ทองและลวดทองแดงโดยการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM	37
4.2	การวัดพื้นที่ จุดที่ 1 ในพื้นที่ 1 ของอุณหภูมิ 175 °C ที่เวลา 8.5 ชั่วโมง	38
4.3	ผลการวัด %IMC ที่อุณหภูมิ 175 °C จำนวน 3 จุดใน 3 พื้นที่ โดยทำการวัดทุก ๆ ครั้งชั่วโมง	39
4.4	ผลการวัด %IMC ที่อุณหภูมิ 200 °C จำนวน 3 จุดใน 3 พื้นที่ โดยทำการวัดทุก ๆ ครั้งชั่วโมง	39
4.5	การคำนวณที่ได้จากโปรแกรม	41
4.6	การพล็อต Main effect : Time	42
4.7	การพล็อต Main effect : Temperature	43
5.1	ลวดทองคำนั้นจะผสมผสานรวมตัวกับ Aluminum pad ได้ดีกว่าลวดทองแดง	44
5.2	Lifted ball	45
6.1	การเพิ่มการ Baking ที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงหลังจากกระบวนการ เชื่อมลวดไฟฟ้าเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ลวดทองแดงในการผลิต	48
7.1	การเปรียบเทียบการลงทุนและการลดต้นทุนใน 1 ปี	50
7.2	การคำนวณหา $P_0$ โดย $MRR = 7\%$	51

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วงจรรวม (Integrated circuit ; IC) หมายถึง วงจรที่นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เพื่อนำมารวมกันบนแผ่นเวเฟอร์ 8 - 20 นิ้วซึ่งถูกรวมไปด้วยอุปกรณ์เช่น ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ไดโอด (Diode) ตัวต้านทาน (Resistor) เส้นลายเชื่อมต่อระหว่างวงจร (Circuit line) มารวมอยู่เป็น หนึ่ง Die ในหลาย ๆ Die ของ 1 เวเฟอร์ โดยแต่ละ Die จะถูกทดสอบเครื่องตรวจสอบว่าผ่านการทดสอบและพร้อมที่จะส่งต่อไปทำการ Assembly process ไปเป็นอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller device) เมมโมรี่ (Memory device) อนาล็อก (Analog device) CPU เพื่อนำไปใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ ไมโครเวฟ แท็บเล็ต นาฬิกาสมาร์ทวอตช์ และอีกมากมายที่ต้องการการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต การส่งงานผ่าน Wi-Fi หรือเป็นอุปกรณ์ที่ต้องการหน่วยความจำ (RAM) ภายใน ซึ่งทั้งหมดนี้เกี่ยวกับอุตสาหกรรมวงจรรวมหรืออุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ที่มีการใช้ลวดทองและลวดทองแดงเป็นวัสดุติดในการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าจากวงจบบนชิปไปสู่ขาของลิตเฟรมตัวแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพ 1.1 การเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าระหว่างชิปกับขานานโดยใช้ลวดทองแดงเป็นวัสดุติด  
ที่มา: Microchip Technology Thailand (2016)

โดยขั้นตอนการผลิต IC โดยปกติแล้วขั้นตอนกระบวนการจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ได้แก่ Front-end กับ Back-end

### 1.1.1 Front-End

1.1.1.1 Wafer Back grind: เป็นขั้นตอนการกลึงแผ่นเวเฟอร์ให้ได้ความหนาตามต้องการ (ปกติอยู่ที่ประมาณ 8-20 นิ้ว) ซึ่งในขั้นตอนนี้ยังมีขั้นตอนย่อย ๆ อีกดังนี้

Prepare: ทำความสะอาดแผ่นเวเฟอร์

2) Running: การนำแผ่นเวเฟอร์ใส่ลงโมลยัดชิ้นงานและทำการกลึงโดยเครื่องจักร

3) Finishing: ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำ DI

1.1.1.2 Die Preparation: ส่วนนี้จะทำการตัดแผ่นเวเฟอร์ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ (ชิพ) มี 2 ขั้นตอนย่อย

1) Wafer mounting: เป็นการยึดแผ่นเวเฟอร์เข้ากับเฟรมเพื่อใช้เป็นจุดยึดจับชิ้นงานก่อนทำการตัด

2) Wafer saw: จะทำการตัดแผ่นเวเฟอร์ให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ออกแบบไว้เมื่อได้ชิ้นงานตามต้องการแล้วจะผ่านการล้างทำความสะอาดด้วยสเปรย์น้ำ DI

1.1.1.3 Die Attach Process: ขั้นตอนการประกอบชิพเข้ากับ Lead frame มี 2 วิธีการ ซึ่งแต่ละวิธีการก็จะมีวัสดุประสงค์แตกต่างกันไปดังนี้

1) Adhesive die attach: เป็นการประกอบชิพกับ Lead frame ด้วยสารจำพวกอีพ็อกซีเพื่อยึดติดชิ้นงานเพียงอย่างเดียว

2) Eutectic die attach: เป็นการประกอบชิพกับ Lead frame ด้วยทองหรือซิลิกอน ซึ่งการยึดติดรูปแบบนี้จะมีผลทางไฟฟ้าต่อชิ้นงาน

1.1.1.4 Wire Bonding Process: เป็นการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างตัวชิพกับ Lead frame ตามที่ได้ออกแบบไว้โดยสารที่ใช้ในการเชื่อมวงจรส่วนมากจะใช้อะลูมิเนียมหรือทอง

1.1.1.5 Die Overcoat: การเคลือบสารจำพวกซิลิโคนเพื่อป้องกันความชื้นและการกัดกร่อน

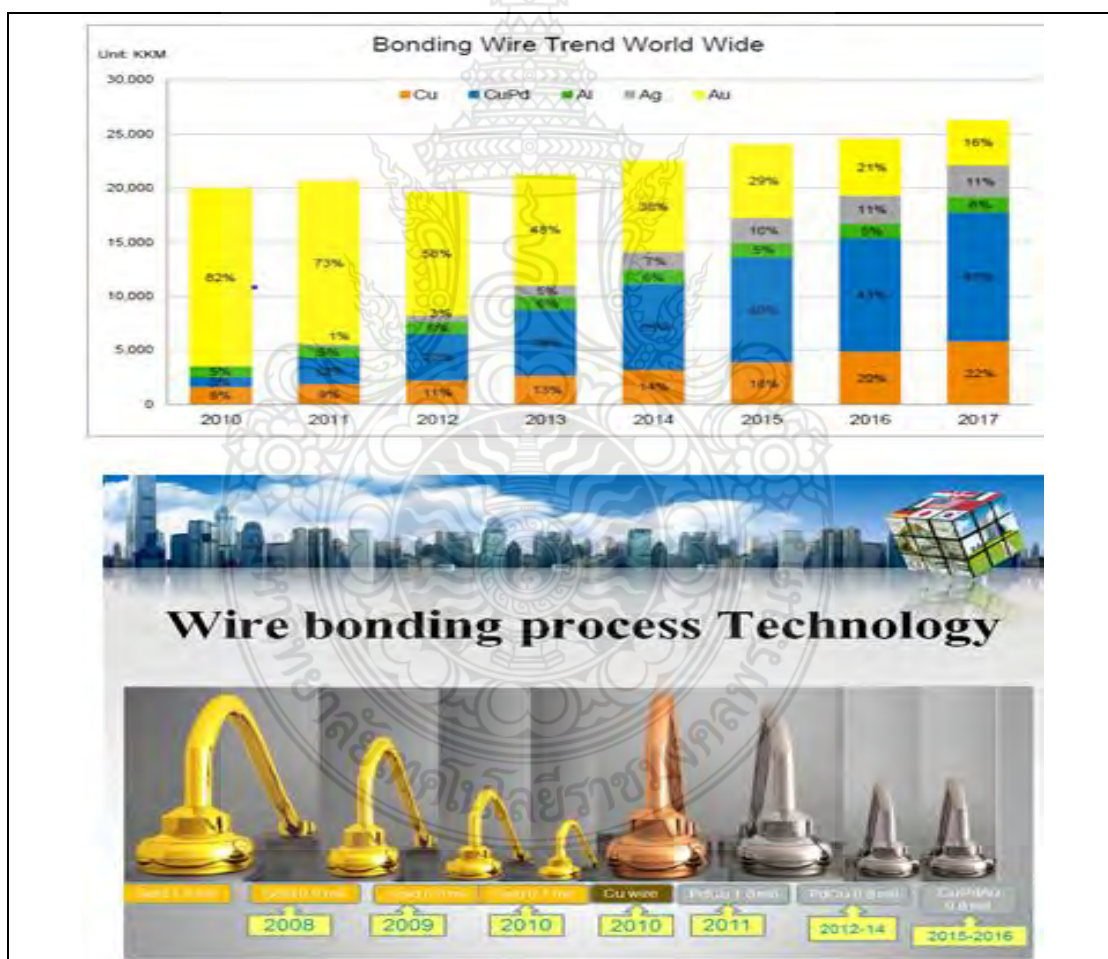
1.1.2 Backend เป็นกระบวนการหล่อหรือทำโครงรอบตัวชิพ เพื่อป้องกันชิพและรวมไปถึงการบ่งชี้รุ่นต่าง ๆ ของชิพนั้นๆ ด้วยการยิงเลเซอร์ที่ชิ้นงาน ซึ่งสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ดังนี้

1.1.2.1 Molding/ Plastic Encapsulation: เป็นการฉีดพลาสติกเพื่อหล่อขึ้นเป็นโครงรอบตัวชิพ (จากรูปคือพลาสติกหุ้มสีดำ)

1.1.2.2 Sealing/ Hermetic Encapsulation: เป็นซีลรอบชิ้นงานและปิดด้านบนของโมลเพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งแปลกปลอมและความชื้นเข้าไปสัมผัสกับชิพได้

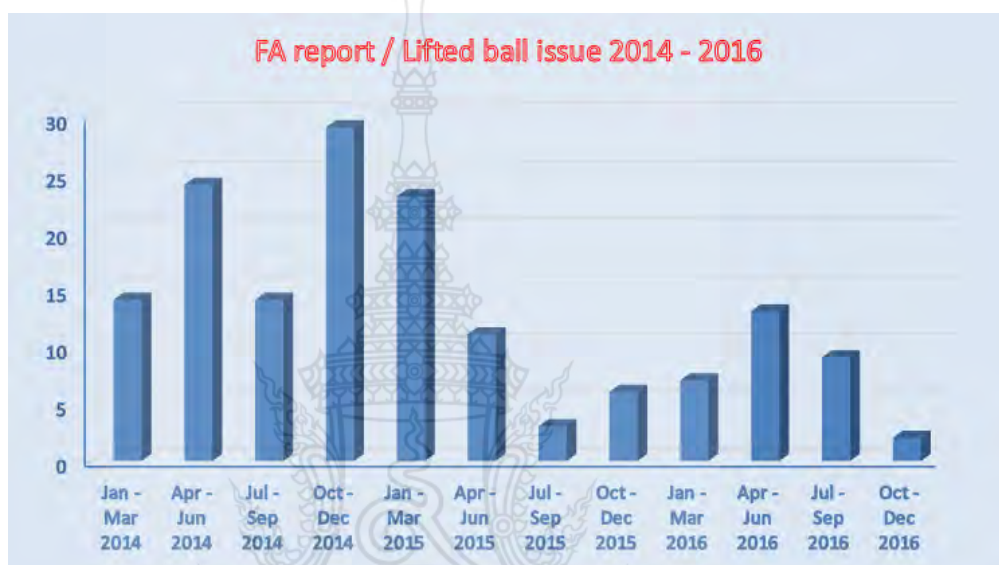
1.1.2.3 DTFS (DE flash/ Trim/ Form/ Singulation): เป็นการตัด หรือนำชิ้นส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากชิ้นงานเช่นรอยต่อ, ส่วนของการยึดติดชิ้นงาน

1.1.2.4 Lead Finish: การเคลือบชิ้นงานด้วยสารจำพวกโลหะเพื่อป้องกันการกัดกร่อนและรอยขีดข่วน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประสานรอยต่อต่าง ๆ รวมทั้งเพิ่มความสวยงามให้กับชิ้นงาน Fan *et al.* (2016) ได้ทำการศึกษาว่าในปัจจุบันผู้ผลิต IC ต่างได้มีการศึกษาและลดการใช้ทองโดยมีสัดส่วนที่ลดลงอย่างมาก เพื่อให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมนี้ได้มีการลดต้นทุนในการเปลี่ยนจากการใช้วัสดุดิบทอง (Gold) ในการผลิตลวดทองมาเป็นทองแดง (Cu) เพื่อลดต้นทุนในการผลิต IC ซึ่งมีอัตราการผลิตต่อวันนับเป็นล้านตัวดังแสดงในภาพที่ 1.2 เพื่อเป็นการลดต้นทุน และเพิ่มกำไรให้กับองค์กรนั่นเอง



ภาพที่ 1.2 แนวโน้มการทดแทนลวดทองโดยลวดทองแดง  
ที่มา: Fan *et al.* (2016)

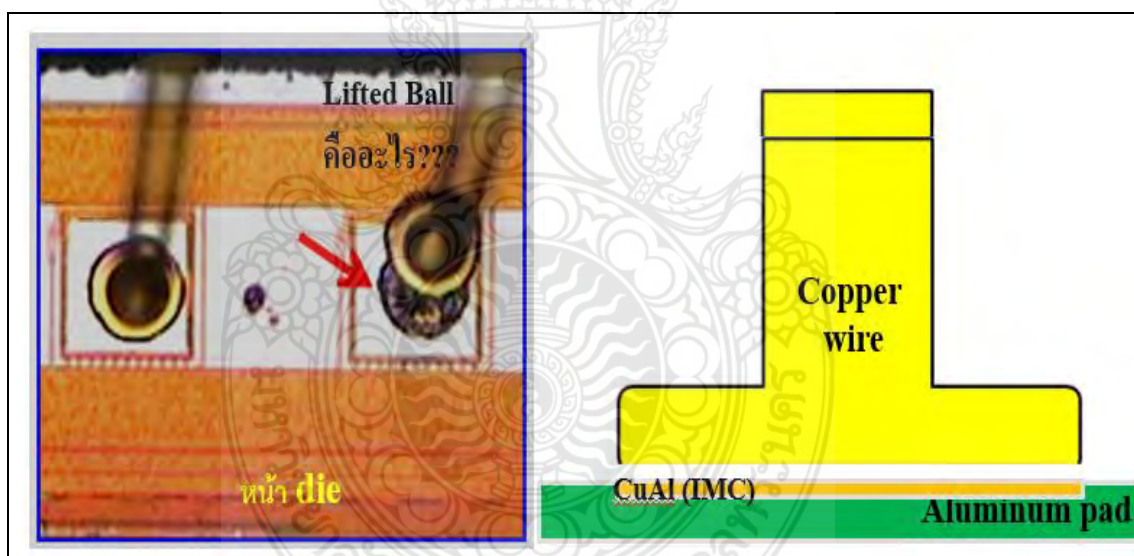
Wulff *et al.* (2013) ได้ศึกษาว่าในทางการผลิตจริงกลับพบว่าลวดทองแดงนั้นเป็นวัสดุที่ ผสานกลับวัสดุอื่นได้ไม่ดีเท่ากับการใช้ลวดทอง ดังนั้นลวดทองแดงที่ทำการต่อระหว่างชิปและลีด เฟรมเรียบร้อยแล้วนั้นมีโอกาสหลุดออกจากวงจรชิป (Lifted ball) ได้มากกว่าลวดทองโดยได้มีการ ศึกษาไว้แล้วโดย Gan *et al.* (2013) โดยทางองค์กรได้มีการปรับเปลี่ยนมาใช้ลวดทองตั้งแต่ปี 2014 แต่กลับพบว่ามีปัญหา Lifted ball เกิดขึ้นมาตลอดตามข้อมูลดังภาพที่ 1.3



ภาพ 1.3 จำนวนล๊อตที่พบปัญหา Lifted ball ในแต่ละไตรมาส  
ที่มา: Microchip Technology (2016)

Lifted ball คือ Defect ที่เกิดขึ้นหลังจากการติดของลวดกับ Bond pad เรียบร้อยแล้ว จากนั้นเกิดการหลุดออกและยกขึ้น การหลุดหรือยกขึ้นนี้เกิดขึ้นได้หลังจากช่วงเวลาหนึ่งหรือเกิดขึ้น หลังจากการที่ IC ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน, ความชื้น และความเย็น จากการศึกษาของ Saruwatari *et al.* (2017) Lifted ball เป็นปัญหาที่อันตรายมากสำหรับผู้ผลิต IC เพราะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของผลิตภัณฑ์ด้วย เพราะงานอาจจะใช้งานได้ดีและผ่านการทดสอบจากเครื่องทดสอบ (Tester) ในบริษัท แต่อาจจะไปเกิดปัญหา Lifted ball ขึ้นที่ลูกค้าได้ เช่นอาจจะไปเกิด Lifted ball ที่ระบบเบรกของลูกค้าได้เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกใช้งานและถูกกระตุ้นในสภาพอากาศร้อน ความชื้นและความเย็นจากการศึกษาโดย Han *et al.* (2016) ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อชีวิตและทรัพย์สิน รวมถึงความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์และองค์กรอีกด้วย

จากการศึกษาโดย Lim *et al.* (2016) พบว่ามีขั้นตอนการ Baking IC ที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีชั้น IMC (Intermetallic layer) ที่เพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มขั้นตอนการทำงานในส่วนของการเชื่อมต่อลวดทองแดง (Cu) ทำให้ IC นั้นมีลวดที่ยึดติดกับชิปได้ดีขึ้น จึงได้มีการทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่าง ขั้นตอนการเชื่อมลวดไฟฟ้า (Wire bond process) และพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยการ Baking ผลิตภัณฑ์หลังจากกระบวนการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้า โดยได้ทำการทดลองและยืนยันไว้แล้วเช่นกันโดย Tana and Yong (2010) ในการผลิตเพื่อเพิ่มพื้นที่ IMC ให้มีค่ามากกว่า 60% ที่จะทำให้สามารถผ่านการทดสอบจาก Reliability test โดยได้มีการทำการทดลองและยืนยันผลโดย Yap, Au and Eu (2012) และยังสามารถเพิ่ม %IMC ให้มากกว่า 80% ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ การเพิ่มขึ้นของ IMC นี้ จะช่วยลด Lifted ball ให้เป็นศูนย์ (Zero lifted ball defect) การเพิ่มขั้นตอนในการเชื่อมลวดเพื่อช่วยให้มีการเพิ่มพื้นที่การยึดเกาะหรือเรียกว่าพื้นที่ชั้น IMC ให้มีพื้นที่มากขึ้น Chen *et al.* (2018) ทำให้ลดการเกิดปัญหาของ Lifted ball ได้



ภาพ 1.4 ตัวอย่างภาพการเกิด Lifted bond

ที่มา: Microchip Technology (2016)

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

ออกแบบการทดลอง ทำการทดลองเพื่อทดสอบว่าสมมุติฐานนั้นเป็นจริงสามารถใช้ได้กับองค์กร เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าให้ดีขึ้นและสามารถลด Lifted ball ที่เกิดขึ้นทั้งภายในองค์กรและนอกองค์กรให้เป็นศูนย์



### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับลวดทองแดงรวมถึงการหาทางปรับปรุงคุณภาพ
- 1.3.2 ตั้งสมมติฐานและทำการทดลองเพื่อยืนยันว่าสมมติฐานนั้นเป็นจริง
- 1.3.3 ทำการวัดผลจากงานจริงว่าค่าที่วัดได้ (%IMC) นั้นเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

### 1.4 สมมติฐานการวิจัย

อุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ IMC เมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสมและเวลาที่พอเหมาะหลังจากกระบวนการเชื่อมลวดไฟฟ้าซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีพื้นที่ IMC มากขึ้น ส่งผลให้มีการยึดเกาะระหว่างลวดทองแดงกับ Bond pad ได้ดียิ่งขึ้นและมีพื้นที่ %IMC มากกว่า 80%

### 1.5 กรอบแนวความคิด

ในการทำการทดลองค้นคว้าอิสระ จะทำโดยการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และเป็นการศึกษากระบวนการเพื่อหาวิธีการใหม่ ๆ และสามารถนำมาพัฒนากระบวนการการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าที่ใช้ลวดทองแดงเป็นวัสดุติด

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1. เมื่อผลทดลองตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ นั่นคือการ Baking ตัวงานที่อุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้นๆสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ของชั้น IMC ให้กับตัวงาน ซึ่งสามารถทำให้ชั้นยึดเกาะแข็งแรงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงขึ้น

1.6.2 เมื่อนำกระบวนการนี้เข้าไปเพิ่มในกระบวนการก็จะสามารถทำให้กระบวนการ Assembly process ทั้งหมดดีขึ้น เป็นการปรับปรุงขั้นตอนการผลิต ตัวงานมีความแข็งแรงทนทานทนต่อการใช้งานได้ทุกสภาพแวดล้อมเมื่อลูกค้านำไปใช้ ทำให้ลดจำนวน Lifted ball ที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต รวมถึงจากการส่งคืนงานที่เสียจากลูกค้าด้วย

1.6.3 ลดค่าใช้จ่ายและต้นทุนในการทดสอบงานเพิ่มสำหรับล็อตที่มี Lifted ball ประปนอยู่ ซึ่งจะทำให้กำไรเพิ่มขึ้น

### 1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 วงจรรวม (Integrated circuit; IC) หมายถึง วงจรที่นำเอาไดโอด ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจรขนาดเล็ก

1.7.2 Lifted ball คือ Defect ที่เกิดหลังจากการติดของลวดกับ Bond pad แล้วเกิดหลุดออกหรือยกขึ้นหลักจากนั้น การหลุดหรือยกขึ้นนี้เกิดขึ้นได้หลังจากช่วงเวลาหนึ่งหรือขึ้นหลังจากการกระตุ้นด้วยความร้อน, ชื้น และความเย็น

1.7.3 Assembly process หมายถึงขั้นตอนการผลิต IC

1.7.4 Bond pad หมายถึง พื้นที่บนชิพที่ใช้ในการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าระหว่าง

1.7.5 IMC หมายถึง Intermetallic Compound เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ยึดเกาะระหว่างชั้นของลวด Cu กับ Aluminum Bond pad ซึ่งถ้า มีพื้นที่ IMC น้อย ก็มีโอกาสเกิด Lifted ball เช่นกัน

1.7.6 Wire bonding (ไวบอนดิง) หมายถึงกระบวนการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าเพื่อเชื่อมวงจรจากจาก bond pad ไปที่ขา lead frame

1.7.7 Au wire หมายถึง ลวดทองคำวัสดุที่ใช้ในการเชื่อม

1.7.8 Cu wire หมายถึง ลวดทองแดงวัสดุที่ใช้ในการเชื่อม

1.7.9 HTSL หมายถึง High Temperature Storage Life การทำการบีบคั้นโดยการเร่งที่อุณหภูมิสูง

1.7.10 HAST หมายถึง การทดสอบความเครียด / อุณหภูมิและความชื้นอย่างเร่งด่วน

1.7.11 Temp Cycle (TC) หมายถึง การทดสอบอุณหภูมิร้อนและเย็นสลับกัน

1.7.12 Reliability test หมายถึง การทดสอบความคงทนของตัวงานด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น HTSL, Temp Cycle (TC) และ HAST

1.7.13 Baking หรือ Annealing หมายถึงการอบผลิตภัณฑ์ด้วยความร้อน

1.7.14 Cross section หมายถึง การผ่าตัดขวางชิ้นงาน

1.7.15 SEM (Scanning Electron Microscope) หมายถึง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.7.16 Aluminum pad หมายถึง พื้นที่บนชิพที่ใช้ในการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าระหว่างซึ่งมีอลูมิเนียมเป็นวัสดุ

1.7.17 Molding หมายถึงการขึ้นรูป โดยการฉีดพลาสติกเพื่อหล่อขึ้นเป็นโครงรอบตัวชิพ

1.7.18 Lead frame หมายถึง แผ่นรองยึดติดหรับ IC เพื่อใช้ในการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าระหว่าง Die กับ Lead frame

1.7.19 Die คือแผ่น IC จำนวน 1 ชิพที่ถูกตัดออกจากแผ่นเวเฟอร์

## บทที่ 2

### การศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 การศึกษามูลค่าและการแข่งขันของอุตสาหกรรม

2.1.1 ข้อมูลจากกรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ (2547) ได้ทำการศึกษาและอธิบายโครงสร้างของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

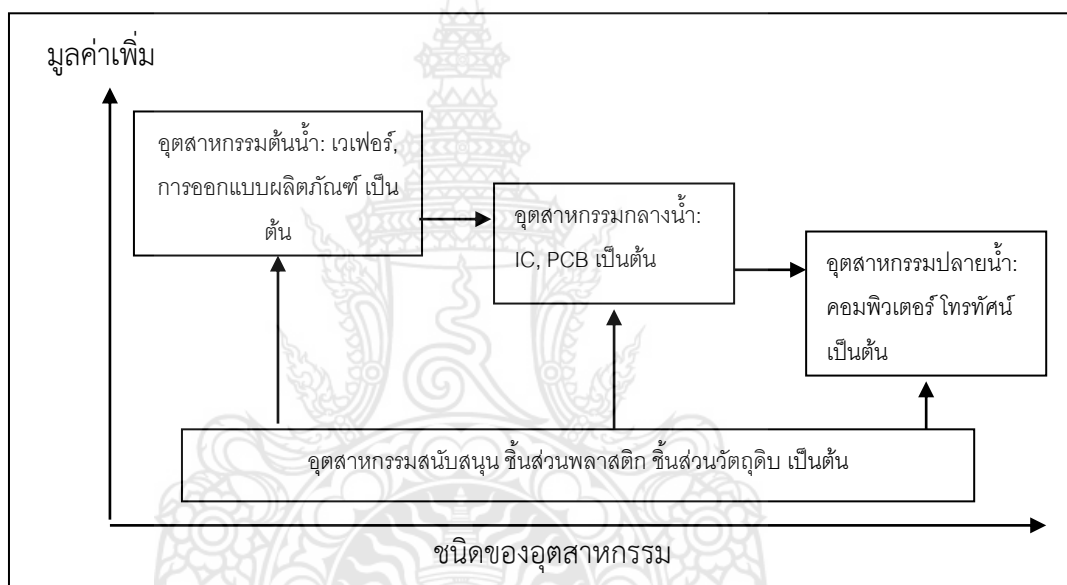
2.1.1.1 อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream Industry) เป็นอุตสาหกรรมขั้นพื้นฐานสำหรับการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ เช่น Wafer Fabrication, PCB's Design, IC's Design เป็นต้น โดยในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการผลิตอุตสาหกรรมต้นน้ำบางประเภท แต่ส่วนใหญ่ยังใช้เทคโนโลยีขั้นต่ำอยู่ในส่วน Wafer Fabrication นั้นเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าเพิ่มสูง แต่ประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตได้เอง

2.1.1.2 อุตสาหกรรมกลางน้ำ (Midstream Industry) หมายถึงอุตสาหกรรมที่ผลิตชิ้นส่วน และส่วนประกอบของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ เช่น IC, PCB, Capacitor เป็นต้น ซึ่งในประเทศไทยได้มีการลงทุนในอุตสาหกรรมประเภทนี้สูงมาก ไม่ว่าจะเป็นการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศ การร่วมลงทุนและบริษัทในประเทศเอง ซึ่งบริษัทต่างชาติและบริษัทร่วมลงทุนจากต่างชาติ จะมีขนาดกลางและขนาดใหญ่ ซึ่งโดยมากแล้วจะใช้เครื่องจักร วัตถุดิบ รวมทั้งเทคโนโลยีจากบริษัทแม่จากต่างประเทศ ส่วนบริษัทที่เป็นของคนไทยเองนั้นส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดเล็ก หรือไม่ก็เป็นการทำสัญญาการผลิต (Subcontracting) ซึ่งกระบวนการผลิตของบริษัทจะไม่ซับซ้อนมากนัก และปัจจัยการผลิตหลักคือแรงงาน ซึ่งชิ้นส่วนและอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมกลางน้ำที่มีมูลค่าการส่งออกสูง และมีแนวโน้มว่าจะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นอีก ได้แก่ IC และ PCB

2.1.1.3 อุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream Industry) เป็นการผลิตสินค้าขั้นสุดท้ายของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องรับวิทยุ และโทรทัศน์ เป็นต้น ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตสินค้าขั้นสุดท้ายเหล่านี้ได้โดยใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เช่น เครื่องรับวิทยุ และโทรทัศน์ ซึ่งเรามีความชำนาญเฉพาะด้านมากกว่า 30 ปีแล้ว อย่างไรก็ตามการใช้ชิ้นส่วนภายในประเทศของอุตสาหกรรมขั้นปลายน้ำนี้ค่อนข้างน้อย

อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream Industry) มีมูลค่าเพิ่มสูงมากเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมปลายน้ำเนื่องจากการผลิตขึ้นอยู่กับการวิจัยและพัฒนา และเทคโนโลยีขั้นสูงมาก การคิดค้นนวัตกรรมใหม่รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมขั้นนี้เป็นตัวกำหนดทิศทาง

ของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด โดยความสามารถในการผลิต และประสิทธิภาพในการผลิตของอุตสาหกรรมต้นน้ำจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมกลางน้ำ และอุตสาหกรรมปลายน้ำ ซึ่งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยถือว่ายังขาดแคลนอุตสาหกรรมต้นน้ำ เนื่องจากจากต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง และต้องใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของไทยยังขาดการพัฒนาของอุตสาหกรรมสนับสนุน ข้อจำกัดของการพัฒนาการผลิต คือ การขาดแคลนเทคโนโลยี ขาดการเชื่อมโยงภายในภาคอุตสาหกรรม ทำให้การพึ่งพาวัตถุดิบจากต่างประเทศยังคงมีสัดส่วนสูง ส่วนโครงสร้างภาษีที่ไม่เหมาะสมทำให้ความสามารถในการแข่งขันลดลง และมูลค่าเพิ่มน้อยดังภาพที่ 2.1



ภาพ 2.1 มูลค่าเพิ่มและชนิดของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม และกระทรวงอุตสาหกรรม (2543)

## 2.1.2 มูลค่าของอุตสาหกรรม

2.1.2.1 ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจและเศรษฐกิจฐานราก (2560) ได้แสดงข้อมูลอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในภาพรวมปี 2560 มีการเติบโตได้มากกว่าปีก่อนทั้งด้านการผลิต การจำหน่าย การส่งออก และการนำเข้า โดยมีสาเหตุสำคัญจากการเพิ่มขึ้นตามความต้องการสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ในตลาดโลก โดยเฉพาะ IC ที่เป็นชิ้นส่วนสำคัญในการพัฒนาสินค้าที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ส่งผลให้ดัชนีผลผลิตและมูลค่าการส่งออกกลุ่มสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ ปรับตัวสูงขึ้นมากกว่าปีก่อน รวมถึงการขยายตัวของความต้องการเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในประเทศและต่างประเทศ

โดยเฉพาะเครื่องซักผ้าที่มียอดขายเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดหลังจากนั้นก็มีการลดลงในช่วงหลายปีที่ผ่านมา

2.1.2.2 การผลิต ดัชนีผลผลิตอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในช่วงเดือน ม.ค. - ก.ย. 2560 เท่ากับ 113.57% ขยายตัวร้อยละ 4.27% โดยขยายตัวจากกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์เป็นหลัก ในขณะที่กลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการหดตัวลงเล็กน้อย ทั้งนี้ ดัชนีผลผลิตอุตสาหกรรมกลุ่ม อิเล็กทรอนิกส์อยู่ที่ 109.73% เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.86% จากการเติบโตอย่างต่อเนื่องของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ขยายตัวตามความต้องการในตลาดโลก ได้แก่ Integrated Circuit (IC), Semiconductor และ Hard Disk Drive (HDD) ซึ่ง IC เป็นชิ้นส่วนสำคัญในการพัฒนาสินค้าที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง จึงกำลังเป็นที่ ต้องการของตลาดโลกตามเทรนด์ของอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่มักเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ประกอบกับความต้องการ HDD เริ่มฟื้นตัวมากขึ้นหลังจากหดตัวในระดับสูงในช่วงหลายปีที่ผ่านมา สำหรับดัชนีผลผลิตอุตสาหกรรมกลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 119.17% ลดลงร้อยละ -2.38% จากการลดลงของเครื่องปรับอากาศ และพัดลมเป็นหลัก เนื่องจากความต้องการสินค้าดังกล่าวของ ตลาดส่งออกหลักเกือบทั้งหมดลดลงดังแสดงในภาพที่ 2.2

ดัชนีผลผลิตอุตสาหกรรม (MPI)	ม.ค.-ก.ย./59	ม.ค.-ก.ย./60	%yoy
เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	108.92	113.57	4.27 ▲
• เครื่องใช้ไฟฟ้า	122.08	119.17	-2.38 ▼
• อิเล็กทรอนิกส์	99.88	109.73	9.86 ▲

ภาพ 2.2 ดัชนีอุตสาหกรรม

ที่มา: สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (2560)

2.1.2.3 การจำหน่ายภายในประเทศ ปริมาณการจำหน่ายเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สำคัญในช่วง เดือน ม.ค. - ก.ย. 2560 ปรับตัวเพิ่มขึ้นเกือบทุกผลิตภัณฑ์ โดยเครื่องซักผ้า เต้าไมโครเวฟ พัดลม หม้อหุงข้าว และ คอมเพรสเซอร์ เพิ่มขึ้นร้อยละ 201.57%, 5.49%, 3.41%, 2.22%, และ 0.02% ตามลำดับ ยกเว้น ตู้เย็น, เครื่องปรับอากาศแบบ แยกส่วน และกระติกน้ำร้อน ที่ปรับตัวลดลงร้อยละ -10.01%, -13.94% และ -15.13% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.3

ปริมาณการจำหน่ายเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สำคัญ			
ชนิด	ม.ค.-ก.ย./59	ม.ค.-ก.ย./60	%yoy
เครื่องซักผ้า	1,244,389	3,752,708	201.57 ▲
เตาไมโครเวฟ	126,349	133,287	5.49 ▲
พัดลม	2,006,456	2,074,883	3.41 ▲
หม้อหุงข้าว	2,360,561	2,413,038	2.22 ▲
คอมเพรสเซอร์	5,860,824	5,862,166	0.02 ▲
ตู้เย็น	1,394,190	1,254,573	-10.01 ▼
เครื่องปรับอากาศ	3,262,400	2,807,673	-13.94 ▼
กระติกน้ำร้อน	839,362	712,344	-15.13 ▼

ภาพ 2.3 ปริมาณการจำหน่ายเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สำคัญ  
ที่มา: สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (2560)

2.1.2.4 การค้าระหว่างประเทศ การค้าระหว่างประเทศในภาพรวม “ขยายตัว” ทั้งด้านการส่งออก และการนำเข้า โดยในช่วงเดือน ม.ค. - ก.ย. 2560 ไทยมีมูลค่าการส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 39,714.69 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ขยายตัวร้อยละ 6.97% ซึ่งขยายตัวทั้งกลุ่มสินค้า เครื่องใช้ไฟฟ้า และกลุ่มสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสินค้า เครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์เป็นที่ต้องการมากขึ้น ในตลาดส่งออกหลัก อาทิเช่น สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น โดยสินค้าที่ปรับตัวเพิ่มขึ้น เช่น เครื่องซักผ้า เครื่องอุปกรณ์ สำหรับป้องกันวงจรไฟฟ้า วงจรรวม (IC) และอุปกรณ์ เครื่องโทรศัพท์ เป็นต้น สำหรับมูลค่าการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มีจำนวน 32,049.66 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ขยายตัว ร้อยละ 9.52% ขยายตัวจากกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์เป็นหลัก ซึ่งไทยมีตลาดนำเข้าหลักจากจีน อาเซียน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และ ยุโรป ตามลำดับ โดยสินค้าที่มีมูลค่าการนำเข้าสูง เช่น แผงวงจรรวมและไมโครแอสเซมบลี เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์และเทป/จานแม่เหล็ก ดังแสดงในภาพที่ 2.4

มูลค่าการส่งออกและการนำเข้า	ม.ค.-ก.ย./59	ม.ค.-ก.ย./60	%yoy
<b>มูลค่าการส่งออก (ล้านเหรียญสหรัฐฯ)</b>			
เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	37,128.08	39,714.69	6.97 ▲
• เครื่องใช้ไฟฟ้า	12,609.18	13,130.81	4.14 ▲
• อิเล็กทรอนิกส์	24,519.90	26,583.88	8.42 ▲
<b>มูลค่าการนำเข้า (ล้านเหรียญสหรัฐฯ)</b>			
เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	29,262.60	32,049.66	9.52 ▲
• เครื่องใช้ไฟฟ้า	6,730.03	6,628.33	-1.51 ▼
• อิเล็กทรอนิกส์	22,532.57	25,421.33	12.82 ▲

ภาพ 2.4 มูลค่าการส่งออกและการนำเข้า  
ที่มา: สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (2560)

### 2.1.3 การแข่งขันของอุตสาหกรรม

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (2562) ได้ทำการศึกษาการเติบโตอย่างต่อเนื่องของอุตสาหกรรมวงจรรวมและส่วน IC (Integrated Circuit) ในช่วงที่ผ่านมา ผู้ผลิตต้องเผชิญภาวะการแข่งขันที่สูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีทำให้ผู้ผลิตต่างก็เล็งหาแหล่งผลิตที่มีต้นทุนต่ำที่สุดตามนโยบาย global sourcing ทำให้เกิดการไหลเวียนของเงินลงทุนในการผลิตไปยังที่ต่าง ๆ ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยเองในฐานะที่มีฐานการผลิตวงจรรวมและส่วนประกอบ IC แต่อย่างไรก็ตามนักลงทุนต่างชาติให้ความสนใจที่จะมาลงทุนในกลุ่มประเทศอาเซียน เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีตลาดแรงงานและมีที่ดินราคาถูก ซึ่งจะกลายเป็นแหล่งผลิตสินค้าราคาถูกและมี ศักยภาพเพียงพอที่จะแข่งขันกับนานาประเทศได้ โดยประเทศคู่แข่งในกลุ่มอาเซียนที่ไทยควรจับตามองมากเป็นพิเศษ เนื่องจากมีมูลค่าการค้ารวม สินค้าวงจรรวมและส่วนประกอบ IC ได้แก่ สิงคโปร์ มาเลเซีย ฟิลิปปินส์และผู้ที่น่าจับ ตามองมากเป็นพิเศษนอกเหนือจากประเทศกลุ่มอาเซียน คือ จีน ซึ่งจีนเป็นประเทศคู่ค้ารายใหญ่ของโลก ที่มีมูลค่าการค้ารวมสินค้าวงจรรวมและส่วนประกอบ IC ในปี 2016 มากเป็นอันดับที่ 1 ของโลก

### 2.1.4 ผู้ผลิตและผู้นำในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์

IC insights (2018) ได้ทำการเก็บข้อมูลในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์พบว่า ปัจจุบันบริษัท Intel เป็นผู้นำในด้านของนวัตกรรมและเทคโนโลยีและมีส่วนแบ่งตามลำดับตารางด้านล่างนี้ โดยบริษัทที่ไม่ติดอันดับต้องทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้ความน่าเชื่อถือต่อลูกค้าและลดต้นทุนการผลิตเพื่อให้ได้ผลกำไรที่มากยิ่งขึ้น

ตาราง 2.1 25 บริษัทยอดขายสูงสุดของโลกสำหรับตลาดอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์

1Q19 Top 25 Semiconductor Sales Leaders (\$M, Including Foundries)										
1Q19 Rank	1Q18 Rank	Company	Headquarters	1Q18 Total IC	1Q18 Total O-S-D	1Q18 Tot Semi	1Q19 Total IC	1Q19 Total O-S-D	1Q19 Total Semi	1Q19/1Q18 % Change
1	2	Intel	U.S.	15,832	0	15,832	15,799	0	15,799	0%
2	1	Samsung	South Korea	18,491	910	19,401	11,992	875	12,867	-34%
3	3	TSMC (1)	Taiwan	8,473	0	8,473	7,096	0	7,096	-16%
4	4	SK Hynix	South Korea	7,996	145	8,141	5,903	120	6,023	-26%
5	5	Micron	U.S.	7,486	0	7,486	5,475	0	5,475	-27%
6	6	Broadcom Inc. (2)	U.S.	4,125	434	4,559	3,940	435	4,375	-4%
7	7	Qualcomm (2)	U.S.	3,897	0	3,897	3,722	0	3,722	-4%
8	9	TI	U.S.	3,339	227	3,566	3,199	208	3,407	-4%
9	8	Toshiba/Toshiba Memory	Japan	3,517	310	3,827	2,355	295	2,650	-31%
10	12	Infineon	Europe	1,360	907	2,267	1,352	901	2,253	-1%
11	10	Nvidia (2)	U.S.	3,108	0	3,108	2,220	0	2,220	-29%
12	11	NXP	Europe	2,033	236	2,269	1,885	209	2,094	-8%
13	13	ST	Europe	1,696	518	2,214	1,581	485	2,066	-7%
14	25	HiSilicon (2)	China	1,245	0	1,245	1,755	0	1,755	41%
15	19	Sony	Japan	200	1,335	1,535	192	1,554	1,746	14%
—	—	<b>Top-15 Total</b>		<b>82,798</b>	<b>5,022</b>	<b>87,820</b>	<b>68,466</b>	<b>5,082</b>	<b>73,548</b>	<b>-16%</b>

(1) Foundry (2) Fabless

Source: Company reports, IC Insights' Strategic Reviews database

ที่มา: icinsights.com (2018)

ตาราง 2.2 รายชื่อผู้ส่งออกแผงวงจรไฟฟ้ารายสำคัญของประเทศไทย

ลำดับ	รายชื่อผู้ส่งออกแผงวงจรไฟฟ้ารายสำคัญของไทย
1	บริษัท สแปนชั่น (ประเทศไทย) จำกัด
2	บริษัท ไมโครชิป เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
3	บริษัท ฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด
4	บริษัท ไชนี ดีไวซ์ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
5	บริษัท อเกีย ซิสเต็มส์ ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด
6	บริษัท โอ๊ก (ประเทศไทย) จำกัด
7	บริษัท ซันโย เซมิคอนดักเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด
8	บริษัท โรทม อินทิเกรต็ด เซมิคอนดักเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด
9	บริษัท แมกซิม อินทิเกรต็ด ปรอดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด
10	บริษัท ฮานาเซมิคอนดักเตอร์ (อยุธยา) จำกัด
11	บริษัท เอ็น เอส อิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพฯ (1993) จำกัด
12	บริษัท ทรูอิงทิก (กรุงเทพฯ) จำกัด
13	บริษัท ฟาบริเมท จำกัด
14	บริษัท ไทย เอ็น เจ อาร์ จำกัด
15	บริษัท สวิทออน อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด
16	บริษัท เซอร์คิต อิเล็กทรอนิกส์ อินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
17	บริษัท มลีนเนียม ไมโครเทค (ประเทศไทย) จำกัด
18	บริษัท สมารท์แตรค เทคโนโลยี จำกัด
19	บริษัท ฮานา เซมิคอนดักเตอร์ (กรุงเทพฯ) จำกัด
20	บริษัท สตาร์ส ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร (ม.ป.ป.)

### 2.1.5 โอกาสทางอุตสาหกรรม

ส่วนงานวิเคราะห์ธุรกิจ ฝ่ายวิชาการ (2548) ได้กล่าวเกี่ยวกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยไว้ดังต่อไปนี้

2.1.5.1 จุดแข็งไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกแผงวงจรไฟฟ้ารายใหญ่อันดับ 14 ของโลก ด้วยส่วนแบ่งการตลาดราวร้อยละ 2 ของตลาดโลก มีปริมาณการผลิตเฉลี่ยราว 8,000 ล้านชิ้นต่อปี ในช่วงปี 2545 - 2547

2.1.5.2 จุดอ่อนในส่วนของอุตสาหกรรมผลิตแผงวงจรไฟฟ้าของประเทศไทยต้องพึ่งพาวัตถุดิบจากต่างประเทศในสัดส่วนที่สูง โดยเฉพาะเวเฟอร์วงจรรวม ซึ่งต้องนำเข้าทั้งหมด เนื่องจากไทยยังไม่มีอุตสาหกรรมออกแบบแผงวงจรไฟฟ้าและอุตสาหกรรมผลิตเวเฟอร์วงจรรวม (อุตสาหกรรมสำคัญในระดับต้นน้ำ) เพราะเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงและใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในกระบวนการผลิต ต้นทุนการผลิตแผงวงจรไฟฟ้าค่อนข้างสูงโดยเฉพาะเมื่อเทียบกับคู่แข่งสำคัญอย่างจีน เนื่องจากต้นทุนค่าจ้างแรงงานและค่าใช้จ่ายด้านสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน อาทิ ค่าขนส่ง และค่าไฟฟ้าของไทยนั้นสูงกว่าจีน ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมผลิตแผงวงจรไฟฟ้า



ไทยยังอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับคู่แข่งสำคัญอาทิสิงคโปร์และมาเลเซีย เนื่องจากขาดการพัฒนาบุคลากรอย่างจริงจังทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพตลอดจนการพัฒนาเทคโนโลยียังมีไม่มากนัก

2.1.5.3 โอกาสของรัฐบาลมีมาตรการสนับสนุนอุตสาหกรรมผลิตแผงวงจรไฟฟ้าอย่างจริงจัง อาทิ มาตรการส่งเสริมการลงทุน สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ให้สิทธิประโยชน์แก่ผู้ผลิตเซมิคอนดักเตอร์ประเภทเวเฟอร์วงจรรวม โดยการยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลเป็นเวลา 8 ปี (ไม่จำกัดเขตแดนมูลค่าภาษีที่ได้รับยกเว้นและเขตการลงทุน) และยกเว้นอากรขาเข้าเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต รวมถึงอนุญาตให้นำเข้าเครื่องจักรเพื่อทดแทนเครื่องจักรเก่าได้ตลอดเวลาเพื่อจูงใจให้มีการผลิตวงจรรวมในประเทศ

#### 2.1.6 การศึกษาเทคโนโลยีเพื่อการผลิต

2.1.6.1 บริษัท PwC (2562) ได้เผยแพร่มูลค่าอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ทั่วโลกในปี 2562 พบว่าในปัจจุบันนั้นผู้บริโภคและธุรกิจเข้าถึงอินเทอร์เน็ตและต้องการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความฉลาดมากยิ่งขึ้น (Smart Devices) เพื่อทำการเชื่อมต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูล ทำให้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์เป็นที่ต้องการอย่างแพร่หลาย ดังนั้นธุรกิจจะต้องคิดนอกรอบโดยนำแนวคิด IoT (Internet Of Things) มาใช้กำหนดกลยุทธ์ และบรรจุเป็นหนึ่งในแผนธุรกิจเพื่อสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ ให้เหนือคู่แข่งนั้นเป็นเพราะว่า การแข่งขันในยุคต่อไปคือการหลอมรวมเทคโนโลยีเพื่อเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตและโซเชี่ยลมีเดียในอนาคต

สำหรับประโยชน์สำคัญของระบบเซ็นเซอร์นั้นคือ การเป็นตัวรับรู้ หรือตัวตรวจวัดปริมาณทางกายภาพแล้วแปลงเป็นสัญญาณที่สามารถอ่าน เก็บข้อมูลการทำงาน และนำมาประมวลผลต่อได้ โดยปัจจุบันมีการนำเซ็นเซอร์มาใช้ในหลากหลายรูปแบบ ครอบคลุมตั้งแต่อุปกรณ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะ รวมไปถึงเครื่องมือ เครื่องจักรในภาคอุตสาหกรรม เช่น เครื่องจักรกลที่ใช้ติดตั้งในเครื่องบินพาณิชย์ แทนชุดเจาะน้ำมัน และสิ่งของที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตได้ หรือพัฒนาให้มีฟังก์ชัน IoT อื่น ๆ จากผลสำรวจคาดการณ์ว่า ภายในปี 2562 ยอดขายระบบเซ็นเซอร์ทั่วโลกและแอ็กชูเอเตอร์ (Actuators) จะมีมูลค่าที่สูงขึ้นเป็นอย่างมากถึง 1.4 หมื่นล้านดอลลาร์หรือราว ๆ 5 แสนล้านบาท

นอกจากนี้ความต้องการที่เพิ่มขึ้นของการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า และรถไฮบริด (Electric and Hybrid cars) ยังเป็นส่วนสำคัญที่ผลักดันการเติบโตของตลาดเซมิคอนดักเตอร์ในช่วงที่ผ่านมา โดยส่วนประกอบเซมิคอนดักเตอร์ในรถยนต์ประเภทนี้เปรียบเทียบกับพาหนะทั่วไปจะอยู่สูงกว่า 1.5 ถึง 3 เท่า โดยภายในปี 2562 คาดว่ายอดขายของเซมิคอนดักเตอร์ในตลาดรถยนต์ไฟฟ้า และไฮบริดนี้จะมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยที่ 20.5% ต่อปี แม้การผลิตรถยนต์ในรูปแบบดั้งเดิมจะยังเป็นปัจจัยหลักที่หนุนให้อุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์เติบโตขึ้นมาก แต่ในอนาคตเราเชื่อว่า บรรดาค่ายรถ และผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์เพื่อป้อนโรงงานรถยนต์โดยตรง หรือ OEMs จะยิ่งหันมา

ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลกับยานพาหนะ และสินค้าของตนมากขึ้น ไม่เพียงแต่การผลิตไฮบริดที่ช่วยประหยัดน้ำมัน และลดมลพิษในไอเสียเท่านั้น แต่รวมถึงระบบเซ็นเซอร์ภายในต่าง ๆ เช่นการติดตั้งเพิ่มขึ้นมาในระบบคอมพิวเตอร์ในรถยนต์หรือเทคโนโลยีที่ใช้ในการสื่อสารในรถยนต์ผ่านระบบเทเลมาติกส์ระบบรถยนต์อัจฉริยะไปจนถึงเทคโนโลยียานยนต์แบบไร้คนขับ ภายในปี 2562 บริษัท PwC คาดว่า จีนจะยังคงเป็นผู้นำตลาดเซมิคอนดักเตอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยมีอัตราการเฉลี่ยเติบโตต่อปีที่ 11.2% ขณะที่ยอดขายรถยนต์ขนาดเบา (Light vehicle) ภายในประเทศของอินเดีย ก็เริ่มเห็นสัญญาณกระเตื้องขึ้น หลังประสบปัญหายอดขายลดลงในช่วง 2 ปีที่ผ่านมา

2.1.6.2 แนวโน้มในการใช้ IC มีมากขึ้นรวมถึงการแข่งขันในด้านของเทคโนโลยีในแต่ละบริษัทก็มีเท่าๆกัน แต่อีกด้านหนึ่งจากเทคโนโลยีต่างๆที่ใช้ในเซมิคอนดักเตอร์ในอุตสาหกรรมนั้น ซึ่ง IC จะต้องทำงานในอุณหภูมิที่สูงและต่ำสลับกัน ซึ่งจะส่งผลเสียกับผลิตภัณฑ์ที่มีข้อผิดพลาดซ่อนอยู่ในส่วนของ wire bond process

2.1.7 การศึกษาการตลาด ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจและเศรษฐกิจฐานราก (2651) ได้ทำการเก็บข้อมูลในปี 2562 คาดว่ากลุ่มอิเล็กทรอนิกส์จะมีอัตราการเติบโตชะลอลงเหลือเพียงร้อยละ 1.62% จากปี 2561 ที่ภาพรวมอัตราการเติบโตคาดว่าจะปรับตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.24% โดยสินค้าสำคัญ เช่น วงจรพิมพ์ (PCBA) ฮาร์ดดิสไดรฟ์ (HDD) วงจรรวม (IC) และสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) น่าจะปรับตัวเพิ่มขึ้นทั้งหมด ตามความต้องการ ของตลาดโลกที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ สำหรับปี 2562 กลุ่มอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเติบโตของเศรษฐกิจโลก มีแนวโน้มชะลอลง รวมถึงผลกระทบจากสงครามการค้าระหว่างสหรัฐฯ กับจีน เนื่องจากสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ไทยผลิตอยู่ ในปัจจุบันมีส่วนที่สนับสนุนห่วงโซ่การผลิตของจีนอยู่ ดังนั้นสินค้ากลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ของไทยจึงได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้โดยสินค้ากลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ที่จะได้รับผลกระทบจากสงครามการค้าโดยตรง เช่น ฮาร์ดดิสไดรฟ์, แผงวงจรไฟฟ้า และวงจรพิมพ์ เป็นต้น

ความเสี่ยงจากเศรษฐกิจไทยและเศรษฐกิจโลกมีแนวโน้มการเติบโตที่ชะลอลง โดย คาดว่าทิศทางเศรษฐกิจไทยปี 2562 จะเริ่มชะลอการเติบโตลง ส่งผลให้กำลังซื้อเครื่องใช้ไฟฟ้าของตลาดภายในประเทศมีค่อนข้างจำกัด ขณะที่ตลาดส่งออกเครื่องใช้ไฟฟ้าหลักของไทย อย่างกลุ่มประเทศอาเซียน (ASEAN) ก็มีแนวโน้มการเติบโตที่ชะลอลงเล็กน้อยเช่นกัน ซึ่งการเติบโตที่ชะลอลงของเศรษฐกิจเหล่านี้จะกดดันความต้องการสินค้าเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ความเสี่ยงจากการทำสงครามการค้าเนื่องจากไทยมีการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ ที่สนับสนุนการผลิตของจีนอยู่ ซึ่งหากจีนถูกสหรัฐฯ ตั้งกำแพงหรือเพิ่มอัตราภาษีสินค้า กลุ่มเทคโนโลยีและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก็จะส่งผลกระทบต่อเนื่องมายังอุตสาหกรรม กลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ของไทย เนื่องจากอยู่ในห่วงโซ่อุปทานของการผลิตจีน

ความเสี่ยงจากโครงสร้างความต้องการใช้งานชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์โลกมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นการใช้งานชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขั้นที่สูงขึ้น ในขณะที่สินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ไทยผลิตยังเป็นสินค้าที่ใช้เทคโนโลยีที่ไม่สูงและไม่มีความซับซ้อนมากนัก ส่งผลให้สินค้าอิเล็กทรอนิกส์ไทยอาจไม่สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ในอนาคต ปัจจัยเสี่ยงต่ออุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลให้อัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในภาวะชะลอตัว ซึ่งนั่นเป็นเหตุผลให้บริษัทต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมนี้ต้องศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น รวมถึงลดต้นทุนการผลิตควบคู่กันไปเพื่อเพิ่มกำไรให้กับองค์กร

## 2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ประไพศรี และ พงศ์ชนัน (2551) ได้อธิบายการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เรื่องการออกแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม หรือ การจำแนกสองทาง (Randomized Block Design ; RBD หรือ Two – Way ANOVA) เป็นการสนใจศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับต่างกัน โดยเรียกปัจจัยหนึ่งว่า วิธีปฏิบัติ ปัจจัยที่สองคือ ปัจจัยกลุ่ม (ลักษณะของข้อมูลที่สำคัญคือ ภายในกลุ่มเดียวกันต้องมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด และต่างกลุ่มกันมีความแตกต่างกันมากที่สุด

ตาราง 2.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ RBD

ลำดับที่	วิธีปฏิบัติ					$T_j$	ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	...i...	a	รวม	
1	$Y_{11}$	$Y_{21}$	$Y_{31}$	... $Y_{i1}$ ...	$Y_{a1}$	$T_{.1}$	$\bar{y}_{.1}$
2	$Y_{12}$	$Y_{22}$	$Y_{32}$	... $Y_{i2}$ ...	$Y_{a2}$	$T_{.2}$	$\bar{y}_{.2}$
3	$Y_{13}$	$Y_{23}$	$Y_{33}$	... $Y_{i3}$ ...	$Y_{a3}$	$T_{.3}$	$\bar{y}_{.3}$
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
b	$Y_{1b}$	$Y_{2b}$	$Y_{3b}$	... $Y_{ib}$ ...	$Y_{ab}$	$T_{.b}$	$\bar{y}_{.b}$
รวม $T_i$	$T_{.1}$	$T_{.2}$	$T_{.3}$	... $T_{.i}$ ...	$T_{.a}$	$T_{..}$	
ค่าเฉลี่ย	$\bar{y}_{.1}$	$\bar{y}_{.2}$	$\bar{y}_{.3}$	... $\bar{y}_{.i}$ ...	$\bar{y}_{.a}$		$\bar{y}_{..}$

ที่มา: ประไพศรี และ พงศ์ชนัน (2551)

$\bar{y}_i$  = ค่าเฉลี่ยของวิธีปฏิบัติที่ 1 ( $i^{\text{th}}$  treatment mean)

$\bar{y}_{..}$  = ค่าเฉลี่ยทั้งหมด (grand mean)

$\bar{y}_{.j}$  = ค่าเฉลี่ยกลุ่มที่  $j$  ( $j^{\text{th}}$  block mean)

กรณีที่ไม่ทำซ้ำ ( $r = 1$ )  $\bar{y}_{ij}$  = ข้อมูลจากการทดลองที่วิธีปฏิบัติระดับที่  $i$ ;  $i = 1, 2, \dots, a$   
 $j = 1, 2, \dots, b$

$$T_i = \text{ผลรวมข้อมูลวิธีปฏิบัติที่ } i = \sum_{j=1}^b y_{ij}$$

$$T_j = \text{ผลรวมข้อมูลวิธีปฏิบัติที่ } j = \sum_{i=1}^a y_{ij}$$

$$T_{..} = \text{ผลรวมข้อมูลทั้งหมด} = \sum_j \sum_j y_{ij}$$

$$\bar{y}_i = \text{ค่าเฉลี่ยข้อมูลวิธีปฏิบัติที่ } i = \frac{T_i}{b} = \frac{\sum_{i=1}^a y_{ij}}{a}$$

$$\bar{y}_j = \text{ค่าเฉลี่ยข้อมูลวิธีปฏิบัติที่ } j = \frac{T_j}{b} = \frac{\sum_{j=1}^a y_{ij}}{a}$$

$$\bar{y}_{..} = \text{ค่าเฉลี่ยรวม} = \frac{T_{..}}{N}$$

$N$  = จำนวนข้อมูลทั้งหมด =  $ab$ ; กรณีที่ไม่ซ้ำ ( $r = 1$ )

กรณีที่  $r > 1$ ;  $y_{ijk}$  = ข้อมูลการทดลองวิธีปฏิบัติที่  $i$  กลุ่มที่  $j$  ทำซ้ำครั้งที่  $k$  โดยที่

$i = 1, 2, \dots, a$ ;

$j = 1, 2, \dots, b$ ;

$k = 1, 2, \dots, r$ ;

$$\text{ผลรวมข้อมูลวิธีปฏิบัติที่ } i = T_{i..} = \sum_j \sum_k y_{ijk}$$

$$\text{ผลรวมข้อมูลกลุ่มที่ } j = T_{.j.} = \sum_j \sum_k y_{ijk}$$

$$\text{ผลรวมข้อมูลทั้งหมด} = T_{...} = \sum_i \sum_j \sum_k y_{ijk}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยรวม} = \bar{y}_{...} = \frac{T_{...}}{N}$$

$N$  = จำนวนข้อมูลทั้งหมด =  $abr$

สมการต้นแบบของการออกแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่มกรณีทั่วไป ไม่สนใจอันตรกิริยาสามารถ

เขียนได้ดังนี้ คือ  $y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$

$i = 1, 2, \dots, a$ ;  $a$  = จำนวนวิธีที่ศึกษา

$j = 1, 2, \dots, b$ ;  $b =$  จำนวนกลุ่ม (Block)

$k = 1, 2, \dots, r$ ;  $r =$  จำนวนครั้งที่ทำซ้ำในแต่ละวิธี

ปฏิบัติที่  $i$  กลุ่มที่  $j$

$$\begin{aligned} y_{ijk} - \mu &= \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} \\ V(y_{ijk} - \mu) &= V(y_{ijk}) \\ &= V(\tau_i) + V(\beta_j) + V(\varepsilon_{ijk}) \end{aligned}$$

ความแปรปรวนของทั้งหมดที่ปรับแล้ว = ความแปรปรวนจากวิธีปฏิบัติ + ความแปรปรวนปัจจัยกลุ่ม + ความแปรปรวนจากค่าผิดพลาด

$$\text{และ } \sum \sum (y_{ijk} - \bar{y}_{...})^2 = br \sum_i (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...})^2 + ar \sum_j (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...})^2 + \sum_i \sum_j \sum_k (y_{ijk} - \bar{y}_{i..} + \bar{y}_{...})^2$$

หรือสามารถเขียนแทนด้วย  $SST = SSA = SSB = SSE$

โดยที่

$$\begin{aligned} SST &= \text{Sum Square Total} \\ &= \text{ผลบวกกำลังสองที่ปรับแล้ว} \\ &= \sum \sum \sum (y_{ijk} - \bar{y}_{...})^2 \\ &= \sum \sum \sum y_{ijk}^2 - \frac{T_{...}^2}{N} \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} SSA &= \text{Sum Square Treatment} \\ &= \text{ผลบวกกำลังสองของปัจจัยที่ } i \text{ (วิธีปฏิบัติ)} \\ &= \sum_{i=1}^a \frac{T_{i..}^2}{br} - \frac{T_{...}^2}{N} = br \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...})^2 \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} SSB &= \text{Sum Square Block} \\ &= \text{ผลบวกกำลังสองของปัจจัยที่ } 2 \text{ (กลุ่ม; Block)} \\ &= \sum_{j=1}^b \frac{T_{.j.}^2}{ar} - \frac{T_{...}^2}{N} = ar \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...})^2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} SSE &= \text{Sum Square Error} \\ &= \text{ผลบวกกำลังสองของค่าผิดพลาด} \\ &= SST - SSA - SSB \end{aligned} \quad (2.4)$$

สามารถสรุปเป็นตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ดังต่อไปนี้

ตาราง 2.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีสุ่มอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม (RBD) กรณี  $r \geq 1$  หรือ  $N = abr$

Source (แหล่งที่มา)	d.f. (องศาเสรี)	SS (ผลบวกกำลังสอง)	MS (ค่าเฉลี่ยผลบวก กำลังสอง)	F (ค่าสถิติ)
Treatment (วิธีปฏิบัติ)	$a - 1$	SSA	MSA	$F_A = \frac{MSA}{MSE}$
Block (กลุ่ม)	$b - 1$	SSB	MSB	$F_B = \frac{MSB}{MSE}$
Error (ความคลาด เคลื่อน)	$N - a - b + 1$	SSE	MSE	
Total (adj) (ทั้งหมดที่ปรับแล้ว)	$N - 1$	SST		

ที่มา: ประไพศรี และ พงศ์ชนัน (2551)

จากตารางสามารถนำวิเคราะห์สมมติฐานได้ดังนี้ คือ

$$H_0 : \tau_i = 0; \forall_i \text{ (วิธีปฏิบัติไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง)}$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0; \exists_i \text{ (วิธีปฏิบัติมีผลต่อค่าตอบสนอง)}$$

$$\text{ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ คือ } F_A = \frac{MSA}{MSE}; V_A = (a-1, N-a-b+1)$$

จะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อ p-value  $< \alpha$  หรือ  $F_A > F_{\alpha, V_A}$  (2.5)

$$H_0 : \beta_j = 0; \forall_j \text{ (วิธีปฏิบัติไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง)}$$

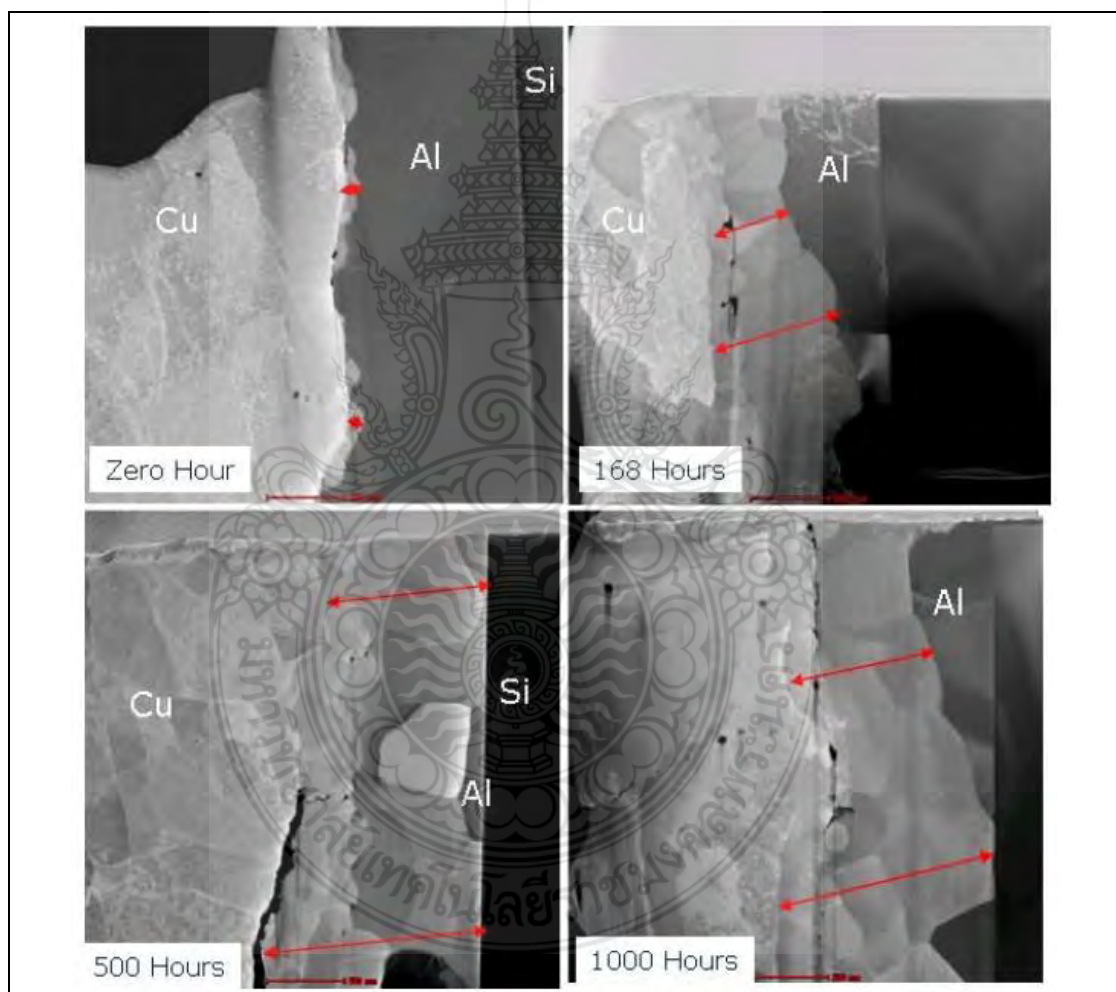
$$H_1 : \beta_j \neq 0; \exists_j \text{ (วิธีปฏิบัติมีผลต่อค่าตอบสนอง)}$$

$$\text{ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ คือ } F_B = \frac{MSB}{MSE}; V_B = (b-1, N-a-b+1)$$

จะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อ p-value  $< \alpha$  หรือ  $F_B > F_{\alpha, V_B}$

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Tana and Yong (2010) ได้ทำการศึกษาชั้นโครงสร้างของชั้น IMC ระหว่างลวด Cu กับ Aluminum pad ในกระบวนการไวบอนดิงโดยเครื่อง SEM เนื่องจากลวดทองแดงเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาการหลุดออกจากการบอนด์จก Aluminum pad จึงได้มีศึกษาลักษณะโครงสร้างของชั้น IMC ที่ถูกเก็บในอุณหภูมิต่าง ๆ และเวลาต่าง โดยใช้เครื่อง SEM, EDX และ การ Cross section ผลจากการ Cross section และ TEM พบว่า เมื่องานถูกเก็บไว้ในที่อุณหภูมิสูง 175 °C และเมื่อเวลามากขึ้นก็จะทำให้ชั้น IMC หนาขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพ 2.5 ภาพตัดขวางจาก SEM แสดงความหนาของชั้น IMC ที่ถูกเก็บในอุณหภูมิสูง 175 °C ที่ 168 500 และ 1,000 ชั่วโมง

ที่มา: Tana and Yong (2010)




2.2.2 Yap, Au and Eu (2012) ได้ศึกษาความสำคัญของชั้น IMC ของลวด Cu กับ Al ที่มีปฏิกิริยากับ Al pad ชั้น IMC เป็นชั้นที่สำคัญของการเชื่อมต่อกันของลวด Cu กับ Al pad เพราะจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ถูกทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์นั้นสามารถผ่านการทดสอบได้ทั้งหมดของการทดสอบด้วย Temp Cycle, HAST, Precondition และ HTSL แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 2.3 และมี %IMC มากกว่า 80% ดังแสดงในภาพที่ 2.6

ตาราง 2.5 การเปรียบเทียบ %IMC ของ Cu/Al สำหรับ 3 กลุ่มงานทดสอบ ที่ผ่านการทดสอบและปราศจากข้อผิดพลาดนั้นต้องมี %IMC มากกว่า 80 %

Wafer Lot	1	2	3
Cu/Al IMC %	IMC > 60%	IMC > 60%	IMC > 60%
Cu/Al distribution pattern	Evenly distribution	Evenly distribution	Evenly distribution
EMC#	Copper EME	Copper EME	Copper EME
Pre conditioning (MSL3/260C)	Pass	Pass	Pass
HAST96hrs (130oC/ 85%RH)	Pass	Pass	Pass
HAST192hrs (130oC/ 85%RH)	Pass	Pass	Pass
Auto clave 96hrs ( 121°C/100%RH/15 psig)	Pass	Pass	Pass
Temp Cycle 500cyc (-65~150C, 500 cycle)	Pass	Pass	Pass
Temp Cycle 1000cyc (-65~150C, 500 cycle)	Pass	Pass	Pass
HTSL 175 C, 504Hrs	Pass	Pass	Pass
HTSL 175C, 1008Hrs	Pass	Pass	Pass
HTSL 150C, 504Hrs	Pass	Pass	Pass
HTSL 150C, 1008Hrs	Pass	Pass	Pass

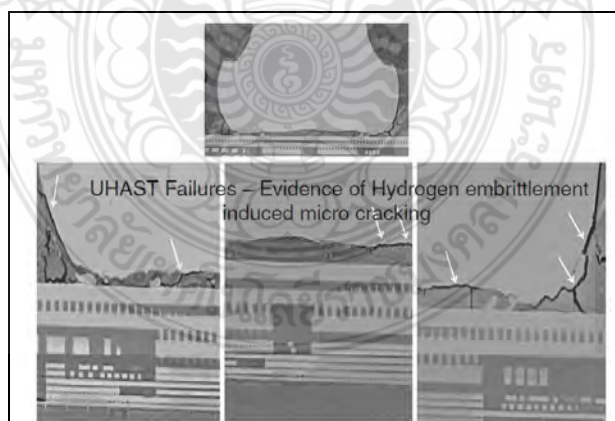
ที่มา: Yap, Au and Eu (2012)



Wafer# 1 Cu/Al IMC Formation	Wafer# 2 Cu/Al IMC Formation	Wafer# 3 Cu/Al IMC Formation
		
Cu/Al formation with coverage greater than 87% with even distribution of Cu/Al IMC within the bonded ball bond area.	Cu/Al formation with coverage greater than 82% with even distribution of Cu/Al IMC within the bonded ball bond area.	Cu/Al formation with coverage greater than 95% with even distribution of Cu/Al IMC within the bonded ball bond area.

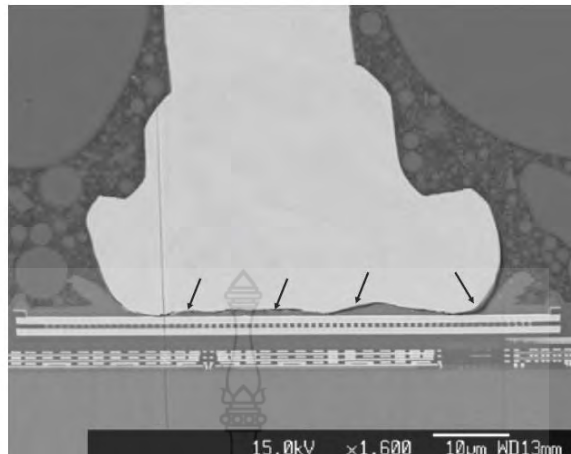
ภาพ 2.6 การรวมตัวของ Cu/Al โดยมีพื้นที่ของการบอนด์มากกว่า 80% ทั้ง 3 กลุ่มงานทดสอบ  
ที่มา: Yap, Au and Eu (2012)

2.2.3 Gan *et al.* (2013) ได้ทำการศึกษาการเกิดรอยแตกที่ลูกบอลจากการทดสอบความคงทนของผลิตภัณฑ์ลวด Cu และ ลวด Au ในการค้นคว้าได้ศึกษาผลกระทบจากการทดสอบลวด Au และลวด Cu ด้วยการทดสอบความคงทนของผลิตภัณฑ์ UHAST, TC และ HTSL ผลสรุปพบว่าการทดสอบจะทำให้ลวด Cu และลวด Au เกิดรอยแตกเล็ก ๆ ขึ้น IMC ดังแสดงในภาพที่ 2.7 และ 2.8 โดยที่ลวด Au จะมีความต้านทานที่จะเกิดรอยแตกที่ชั้น IMC ได้ยากกว่าลวด Cu



ภาพ 2.7 ภาพของลวด Cu ที่เกิดรอยแตกที่ชั้น IMC ระหว่าง Cu กับ Al pad จากการทดสอบด้วย UHAST ซึ่งจะเกิดรอยแตกที่ขอบลูกบอล

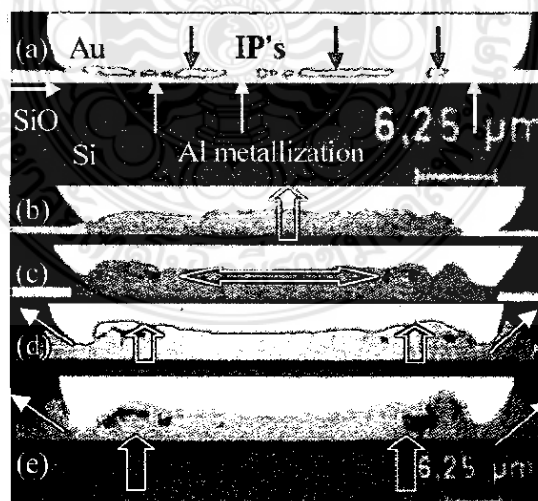
ที่มา: Gan *et al.* (2013)



ภาพ 2.8 ภาพของลวด Cu ที่เกิดรอยแตกที่ชั้น IMC ระหว่าง Cu กับ Al pad จากการทดสอบด้วย TC 9000 รอบ

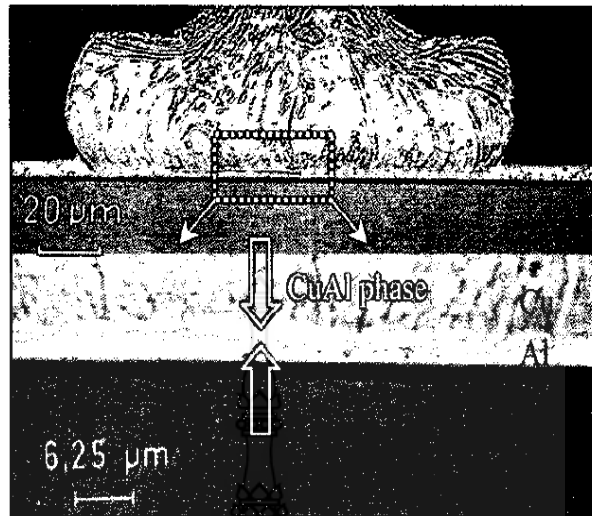
ที่มา: Gan *et al.* (2013)

2.2.4 Wulff *et al.* (2013) ได้ศึกษาคุณลักษณะการเติบโตของชั้น IMC ของลวด Cu และลวด Au กับ Aluminum pad การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของชั้น IMC ระหว่าง ลวด Au กับลวด Cu ที่ถูกทดสอบด้วยอุณหภูมิ 175 °C ผลจากการทดลองพบว่าลวด Cu มีการเจริญเติบโตของชั้น IMC เพียง 1  $\mu\text{m}$  ในภาพที่ 2.10 ในขณะที่ลวดทองจะมีการเจริญเติบโตของชั้น IMC ได้ดีกว่าซึ่งวัดได้ถึง 3 - 4  $\mu\text{m}$  ดังภาพที่ 2.9 และแสดงการเจริญเติบโตของความหนา IMC ในภาพที่ 2.11

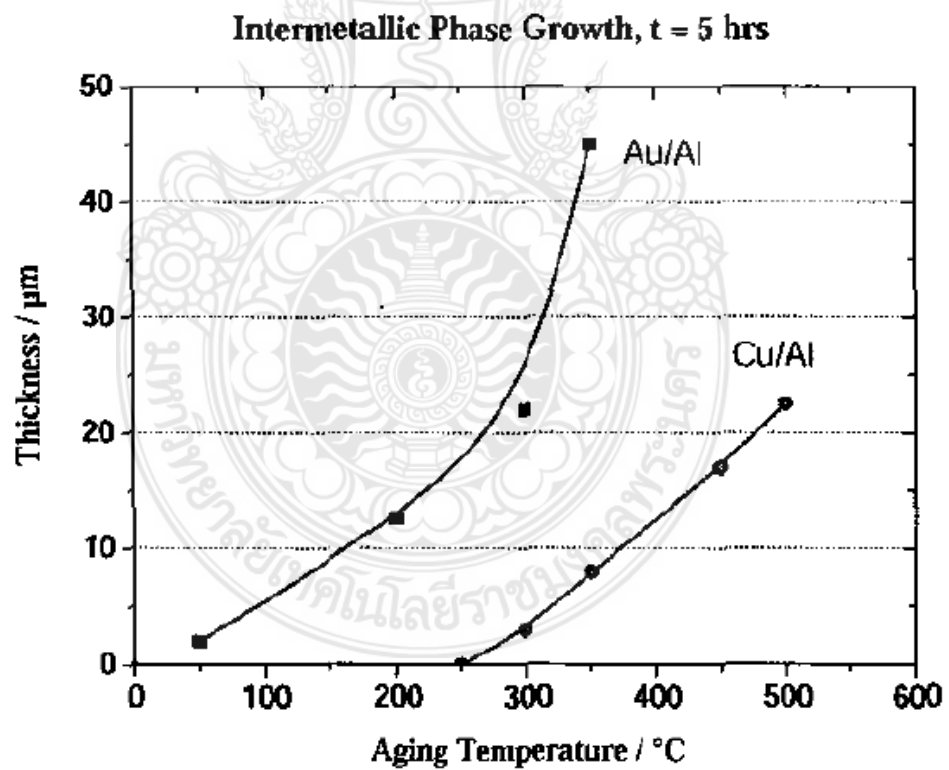


ภาพ 2.9 การเจริญเติบโตของชั้น IMC ในลวด Au ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ที่มา: Wulff *et al.* (2013)



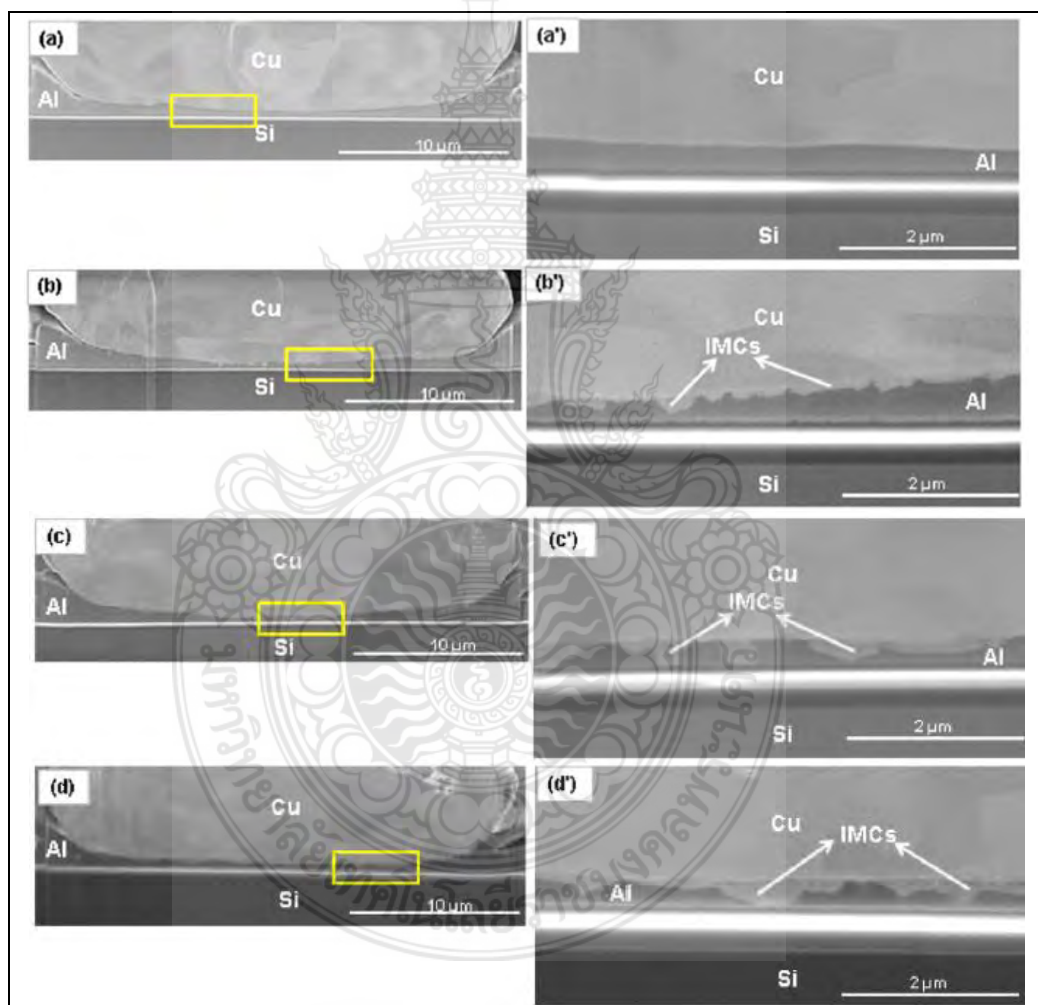
ภาพ 2.10 การเจริญเติบโตของชั้น IMC ในลวด Cu  
ที่มา: Wulff *et al.* (2013)



ภาพ 2.11 การเจริญเติบโตของความหนา IMC ของลวด Au – Al และ Cu – Al หลังจากการเก็บ  
ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิความร้อน

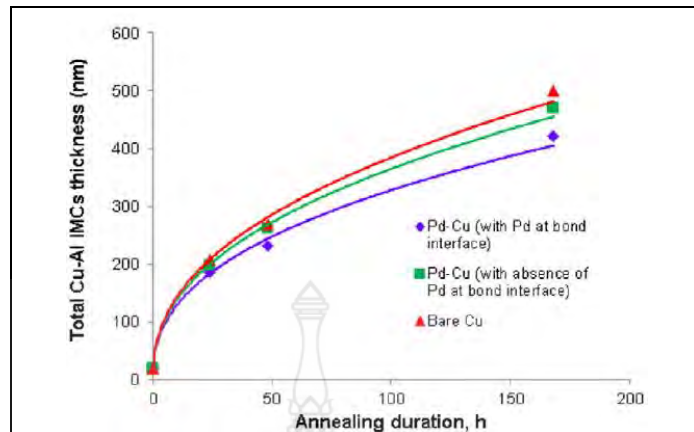
ที่มา: Wulff *et al.* (2013)

2.2.5 Lim *et al.* (2016) ได้ศึกษาการรวมตัวกันของพันธะและการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์เมื่อลวด Cu ถูกเคลือบด้วย Pd และทำการบอญดิ่งที่เป็นผลมาจากการกระจายของ Pd จากการศึกษาค้นคว้าการ Baking ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 175 °C ในระยะเวลาต่าง ๆ ผลของการ Cross section และวัดด้วยเครื่อง TEM พบว่าผลิตภัณฑ์มีความหนาของ IMC ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการ Baking ดังแสดงในภาพที่ 2.12 เมื่อนำผลทั้งหมดมาพล็อตกราฟพบว่าความหนาของ IMC จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆ และจะช้าลงในช่วงหลังๆ เมื่อนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความหนาของ IMC ในรูปที่ 2.13



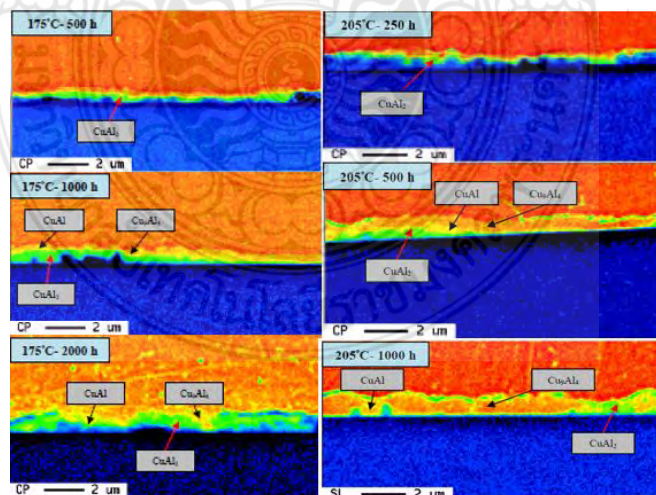
ภาพ 2.12 ภาพตัดขวางจากรูป SEM ของ Cu กับ Al หลังจากถูกเก็บไว้ในอุณหภูมิ 175 °C ที่เวลาต่าง

ที่มา: Lim *et al.* (2016)



ภาพ 2.13 การเจริญเติบโตของชั้น IMC ระหว่าง Cu กับ Al ที่อุณหภูมิต่าง ๆ  
ที่มา: Lim *et al.* (2016)

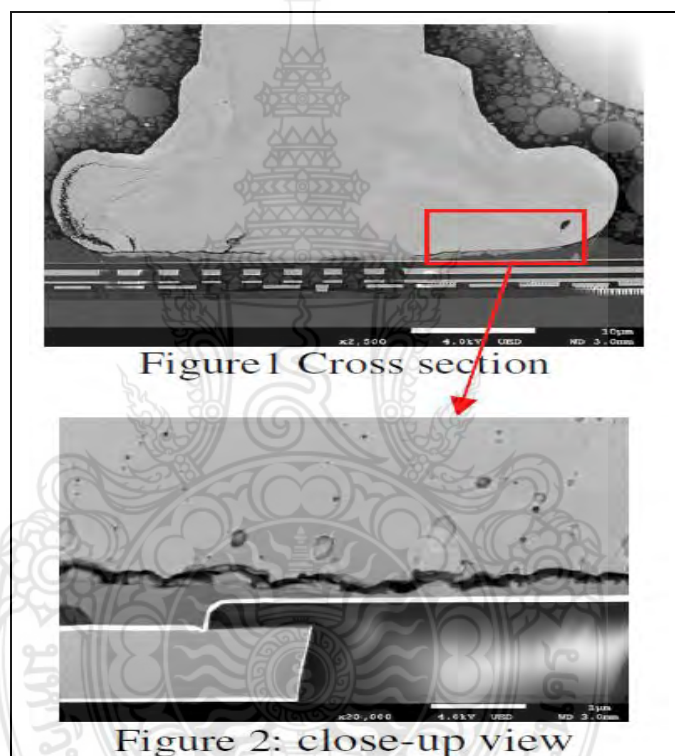
2.2.6 Fan *et al.* (2016) ศึกษาการเจริญเติบโต ความหนาของชั้น (IMC), ลักษณะการเจริญเติบโตที่แตกต่างระหว่างลวด Cu และ Aluminum pad การศึกษาลวด Cu ซึ่งมีความสำคัญในการลดต้นทุนสำหรับวัสดุที่ใช้การเชื่อมลวด การศึกษาเพิ่มเติมสำหรับประสิทธิภาพของการทดสอบคุณสมบัติ IMC ซึ่ง ลวด Cu จะทำปฏิกิริยากับ Aluminum pad ซึ่งความหนาจะมีผลต่อประสิทธิภาพ IMC อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดสอบส่งผลต่อลักษณะการเกิดและความหนาของชั้น IMC ที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพ 2.14 ภาพตัดขวางของลวด Cu กับ Al pad ที่ถูกเก็บที่อุณหภูมิ 175 °C และ 200 °C สำหรับ 500 ถึง 2,000 ชั่วโมง

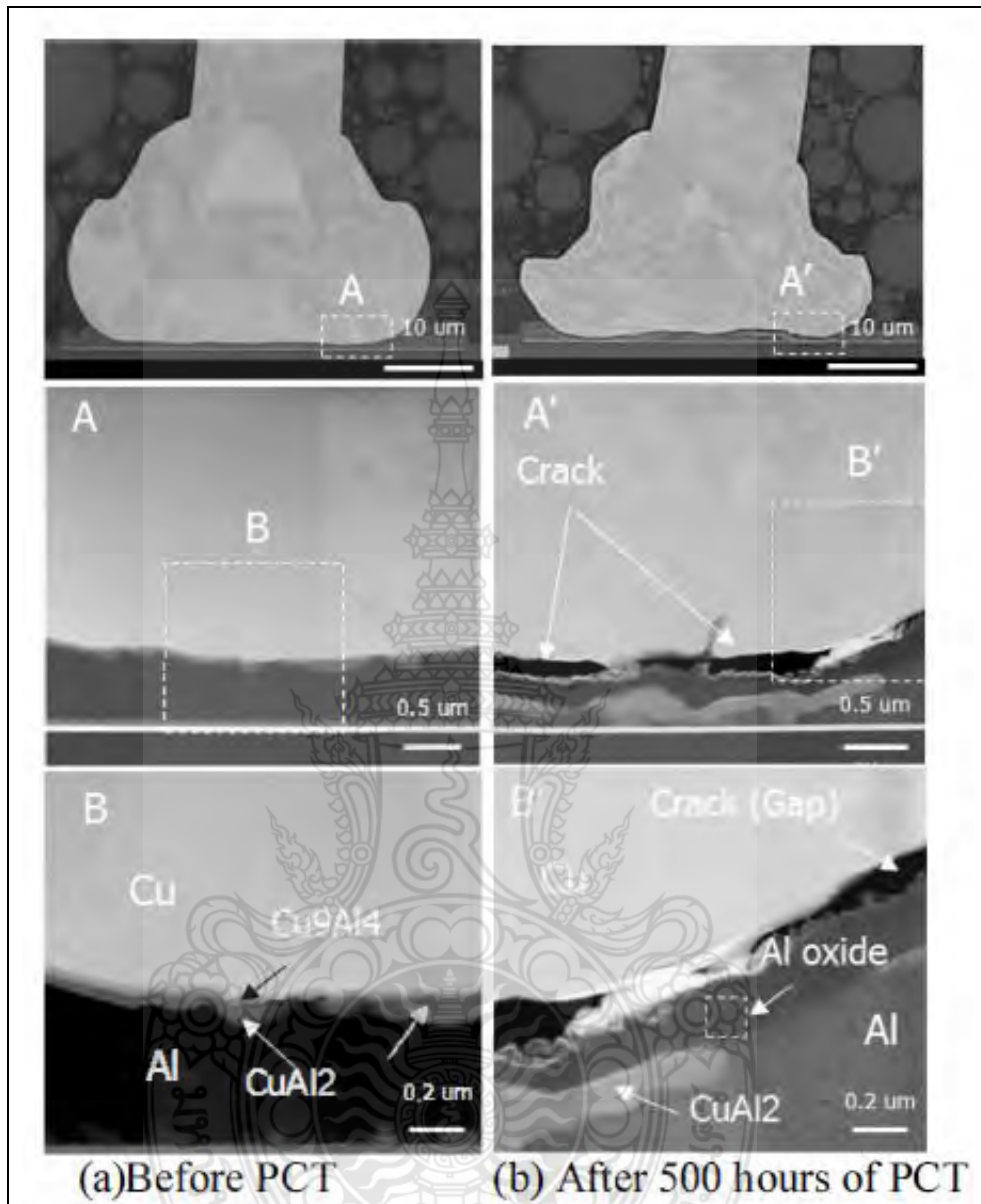
ที่มา: Fan *et al.* (2016)

2.2.7 Han *et al.* (2016) ศึกษาการแตกของชั้น IMC กับ Bond pad ในลวดทองแดงเมื่อตัวงานผ่านการบีบคั้นโดยการเร่งที่อุณหภูมิสูงมาก การทดสอบความน่าเชื่อถือของการกัดกร่อนที่ชั้น IMC ระหว่างลวด Cu และ Aluminum pad ซึ่งชั้น IMC นั้นมีความไวต่อการกัดกร่อนเมื่อเทียบกับชั้น IMC ระหว่าง ลวด Au กับ Aluminum pad ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดของวงจรได้ เป็นผลที่เกิดขึ้นจากการทดสอบความเครียดที่เกี่ยวข้องกับความชื้น HAST หรือ PCT และการทดสอบในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะเป็นกลไกทำให้เกิดการกัดกร่อน ทำให้เกิดปัญหาการแตกของชั้น IMC และทำให้เกิดขึ้นของความผิดพลาดในการหลุดของลวดในวงจรได้ดังแสดงในภาพที่ 2.15



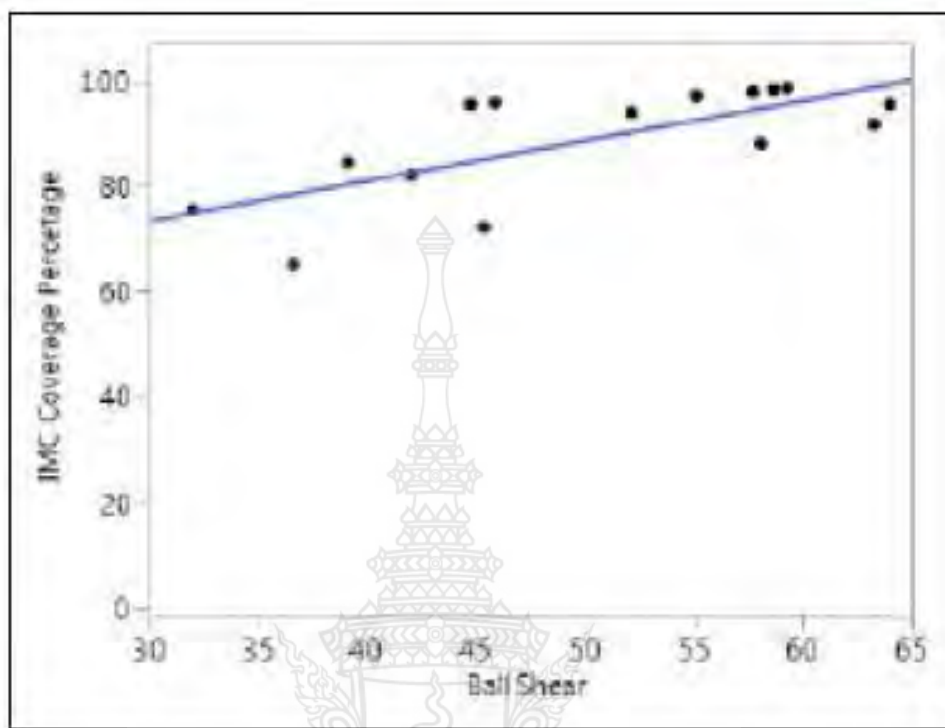
ภาพ 2.15 ภาพตัดขวางและภาพขยายใหญ่ที่รอยแตก  
ที่มา: Han *et al.* (2016)

2.2.8 Saruwatari *et al.* (2017) ได้ศึกษาการพัฒนาความน่าเชื่อถือของลวด Cu ในการเชื่อมต่อกับขาของผลิตภัณฑ์สำหรับอุปกรณ์กลุ่มรถยนต์ การศึกษาสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์ ความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญ จึงได้มุ่งเน้นในการทดสอบอุณหภูมิที่สูงกว่า 175°C โดยต้องพิจารณาการกัดกร่อนของ คลอรีน (Cl) ที่ชั้น IMC หรือรอยต่อของลวด Cu กับ Aluminum pad เมื่อชั้น IMC ไม่แข็งแรงมากพอก็จะทำให้เกิดการแตกที่ชั้น IMC ได้เมื่องานถูกทดสอบด้วยความชื้น อุณหภูมิสูง และเวลาที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพ 2.16 (a) ภาพก่อน PCT (b) ภาพหลังจาก PCT 500 ชั่วโมง  
ที่มา: Saruwatari *et al.* (2017)

2.2.9 Chen *et al.* (2018) ศึกษาประสิทธิภาพของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในกระบวนการไวบรอนดิ่ง และการศึกษาของชั้น IMC ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างการยึดติดของลูกบอลและการปกคลุมของชั้น IMC ศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในกระบวนการไวบรอนดิ่งที่ทำให้ลวด Cu และ Aluminum pad มีการหลอมรวมกันและทำให้เปอเซนต์ IMC มีค่ามากขึ้น เมื่อเปอเซนต์ของ IMC มีค่ามากขึ้นก็จะส่งผลให้ความแข็งแรงของการบอนด์มากขึ้นเมื่อนำมาพล็อตกราฟก็จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงดังแสดงในภาพที่ 2.17



ภาพ 2.17 ชั้น IMC และ การแรงที่ใช้ในการดันของลูกบอลมีความสัมพันธ์ทางบวก  
ที่มา: Chen *et al.* (2018)

## 2.4 โอกาสในการพัฒนาเพื่อความยั่งยืน

2.4.1 การเลือกโอกาส จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้ IC จะมีมากขึ้นในอุปกรณ์ ไฟฟ้า เครื่องมือแพทย์และเครื่องอำนวยความสะดวกทุกชนิดในอนาคตดังนั้นการรับรองและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญในการแข่งขันสำหรับธุรกิจ IC จากที่กล่าวมานั้นการใช้ลวดทองแดงเป็นส่วนประกอบที่สามารถลดต้นทุนได้แต่ก็ต้องแลกมากับผลิตภัณฑ์ที่ซ่อนความผิดพลาด (Defect) อยู่ ดังนั้นเพื่อความยั่งยืนของการตลาดและการแข่งขันของผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการพัฒนาขบวนการผลิตให้ลดความผิดพลาดของตัวงานให้ได้ลูกค้าและลดค่าใช้จ่ายในระยะยาว

2.4.2 อุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีตลาดใหญ่ขึ้นและต้องการใช้งานในความขึ้น ในอนุภูมิภาคและตลาดลับกัน ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตภัณฑ์ ที่แข็งแกร่งมีการรับประกันคือ

- 2.4.2.1 อุตสาหกรรมรถยนต์
- 2.4.2.2 อุตสาหกรรมการผลิต
- 2.4.2.3 อุตสาหกรรมการแพทย์
- 2.4.2.4 อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์



2.4.3 รูปแบบความต้องการของตลาดกลุ่มเป้าหมาย เราสามารถ กำหนดความต้องการของ  
ลูกค้าได้ดังต่อไปนี้

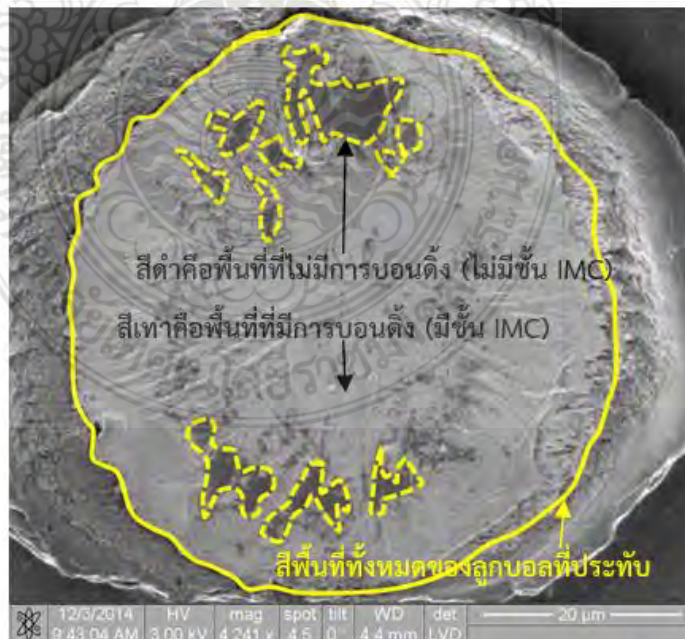
- 2.4.3.1 สามารถใช้งานได้อุณหภูมิที่สูงและต่ำสลับกันได้
- 2.4.3.2 มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้ตลอดเมื่อต้องการ
- 2.4.3.3 ราคาถูกลงแต่ประสิทธิภาพดีเช่นเดิม
- 2.4.3.4 ใช้งานได้ยาวนานและมีความน่าเชื่อถือ



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการ

จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมพบว่าการเปลี่ยนจากลวดทองเป็นลวดทองแดงสามารถลดต้นทุนได้แต่กลับพบว่าลวดทองแดงนั้นมีประสิทธิภาพที่ไม่เหมือนกับลวดทอง เมื่อถูกผลิตในกระบวนการเดียวกัน เมื่อใช้ลวดทองแดงจะทำให้มีความผิดพลาดของ Lifted bond เกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาพัฒนาเก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC ของผลิตภัณฑ์หลังขบวนการไวบอร์นดิ่ง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาค่า IMC ของลวด Au และลวด Cu รวมถึงการวิเคราะห์หาค่า IMC ที่อุณหภูมิ 175 °C และ 200 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ การวิเคราะห์หาค่า IMC ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่อุณหภูมิ 175 °C และ 200 °C เลือกอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมมาพัฒนากระบวนการผลิตไวบอร์นดิ่งให้ได้ชั้น IMC ที่มีความหนาและมีพื้นที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 80% จากพื้นที่ทั้งหมดที่ประทับลงบน Bond pad เพื่อที่จะได้ใช้เงื่อนไขในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ดีโดยใช้หลักการคำนวณพื้นที่ของชั้น IMC ในการคำนวณพื้นที่สี่เหลี่ยมคือพื้นที่ที่มีการบอนด์ ในขณะที่ยี่ดำคือพื้นที่ที่ไม่มีการบอนด์ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพ 3.1 ภาพใต้ลูกบอลแสดงถึงพื้นที่ IMC

จากนั้นใช้เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) ดังภาพที่ 3.2 เพื่อใช้ในการวัดเพื่อหาค่า %IMC จากการวัดต่อไป



ภาพ 3.2 การวัดพื้นที่ IMC โดยเครื่อง SEM (FESEM: FEI Nova NanoSEM 400)

นำข้อมูลทั้งหมดมาเข้าสู่สมการที่ 2.1 เพื่อหา %IMC โดยที่พื้นที่แต่ละพื้นที่ที่มีความจำกัดความดังต่อไปนี้

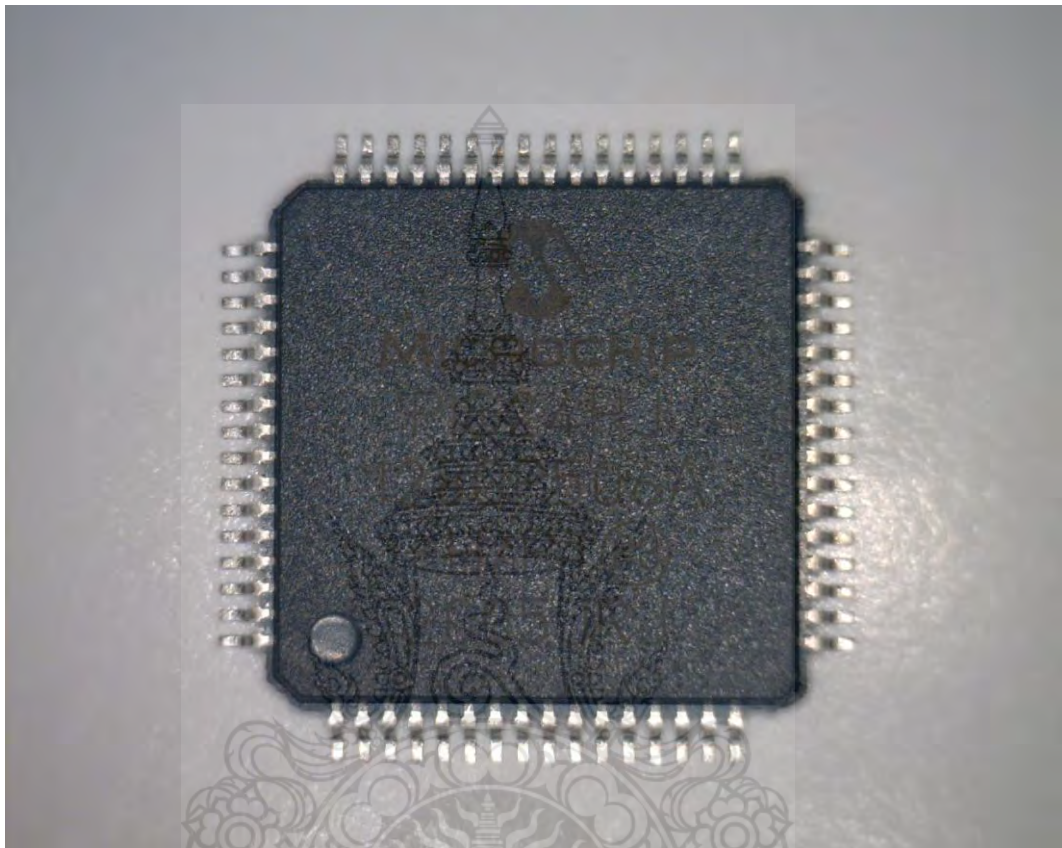
- 1) พื้นที่วงกลมทั้งหมด คือ พื้นที่ทั้งหมดของลูกบอล
- 2) พื้นที่สีดำ คือ พื้นที่ของ Aluminum ที่ไม่ผ่านการ bond
- 3) พื้นที่สีเทา คือ พื้นที่ของ Aluminum ที่ผ่านการ bond

$$\%IMC = \frac{(\text{พื้นที่ทั้งหมดของการบอล} - \text{พื้นที่ของ Aluminum ที่ผ่านการ bond}) \times 100}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของลูกบอล}} \quad (3.1)$$

จากนั้นได้ดำเนินการงานวิจัยไว้ดังต่อไปนี้

### 3.1 เตรียมผลิตภัณฑ์

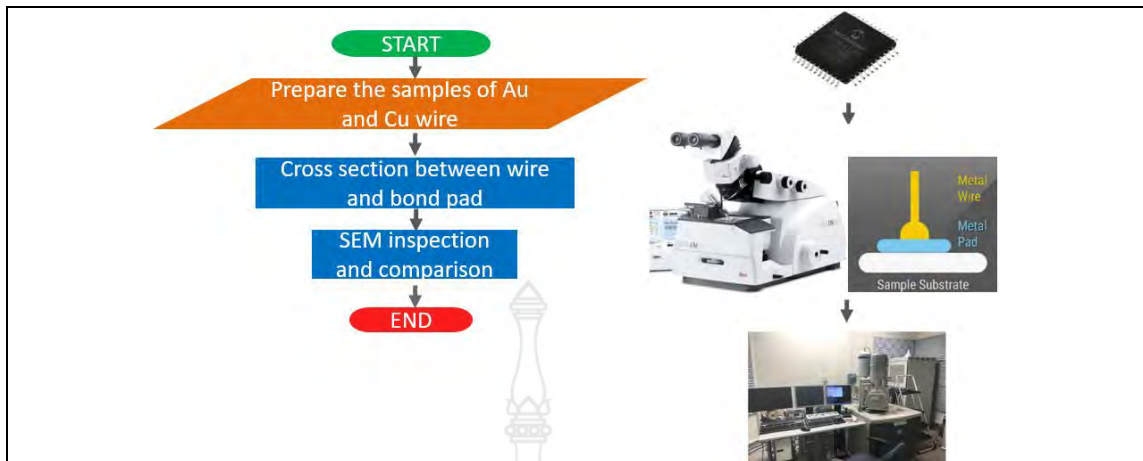
3.1.1 ผลิตภัณฑ์ 64L TQFP ของทั้งลวดทองและทองแดงที่เพิ่งผลิตเสร็จจากสายการผลิต



ภาพ 3.3 ผลิตภัณฑ์ 64L TQFP ของทั้งลวดทองและทองแดง

### 3.2 เก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC ของผลิตภัณฑ์หลังการเชื่อมลวดและการเติบโตของชั้น IMC หลังการ Molding ของทั้งลวดทองแดงและทอง

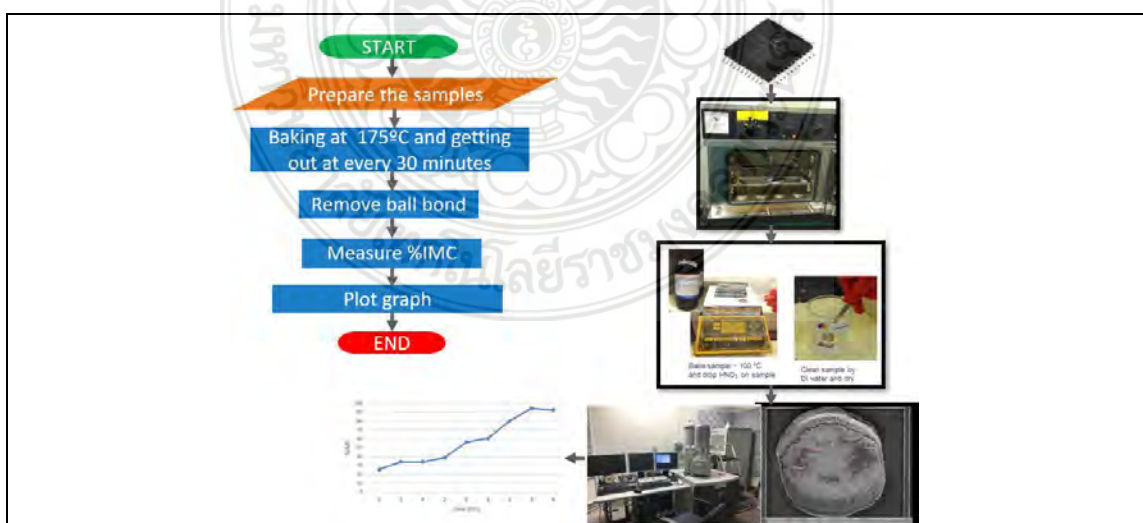
ศึกษากระบวนการผลิตปัจจุบันและเก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC ของผลิตภัณฑ์ลวดทองและลวดทองแดงหลังขบวนการผลิตเพื่อดูความแตกต่างของการเติบโตและพื้นที่ของชั้น IMC ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองโดยทำการ Cross section ที่ลูกบอลของลวดและ Bond pad จากนั้นดูเกรนและการเติบโตโดยเครื่อง SEM โดยทำการลอกลูกบอลออกจาก Bond pad และ SEM เพื่อดูลักษณะและความแตกต่าง ของชั้น IMC ของลวดทั้งสองชนิดโดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.4



ภาพ 3.4 กระบวนการเก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC และการเติบโตของชั้น IMC หลังขบวนการผลิตของทั้งผลิตภัณฑ์ลวดทองแดงและทองคำ

### 3.3 การวิเคราะห์หาค่า IMC ที่ถูก Baking ที่อุณหภูมิ 175 °C โดยทำการวัดทุกครั้งชั่วโมง

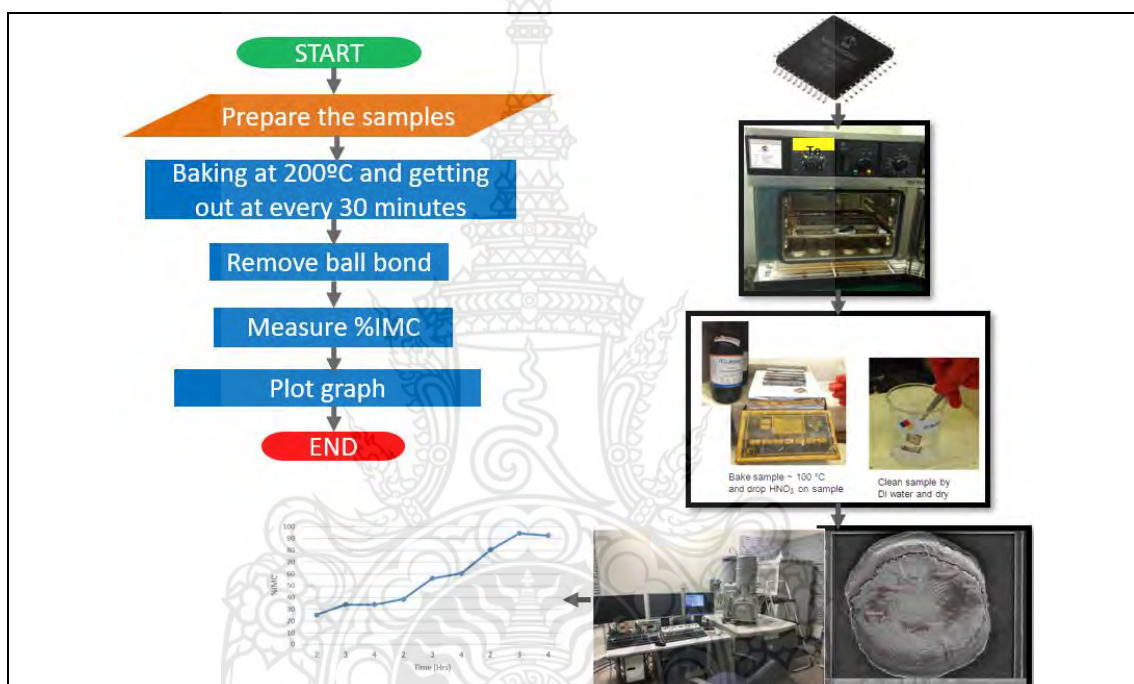
ศึกษากระบวนการผลิตปัจจุบันและผลของชั้น IMC ของผลิตภัณฑ์ลวดทองแดงที่ผ่านกระบวนการ Baking ที่อุณหภูมิ 175 °C โดยทำการวัดทุกครั้งชั่วโมงเพื่อศึกษาความแตกต่างและการเติบโตของชั้น IMC ในระยะเวลาที่แตกต่างกันไปในการ Baking โดยทำการ การลอกลูกบอลออกจาก Bond pad และ SEM จากนั้นหาคำนวนหา % IMC โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.5



ภาพ 3.5 กระบวนการวิเคราะห์หาค่า IMC ที่อุณหภูมิ 175°C โดยทำการวัดทุกครั้งชั่วโมง

### 3.4 การวิเคราะห์หาค่า IMC ที่ถูก Baking ที่อุณหภูมิ 200 °C โดยทำการวัดทุกครั้ง ชั่วโมง

ศึกษากระบวนการผลิตปัจจุบันและผลของชั้น IMC ของผลิตภัณฑ์ลวดทองแดงที่ผ่านกระบวนการ Baking ที่อุณหภูมิ 200 °C โดยทำการวัดทุกครั้งชั่วโมงเพื่อศึกษาความแตกต่างและการเติบโตของชั้น IMC ในระยะเวลาที่ต่างกันไปในกระบวนการ Baking โดยทำการ ลอกลูกบอลออกจาก Bond pad และ SEM จากนั้นหาคำนวนหา % IMC โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.6

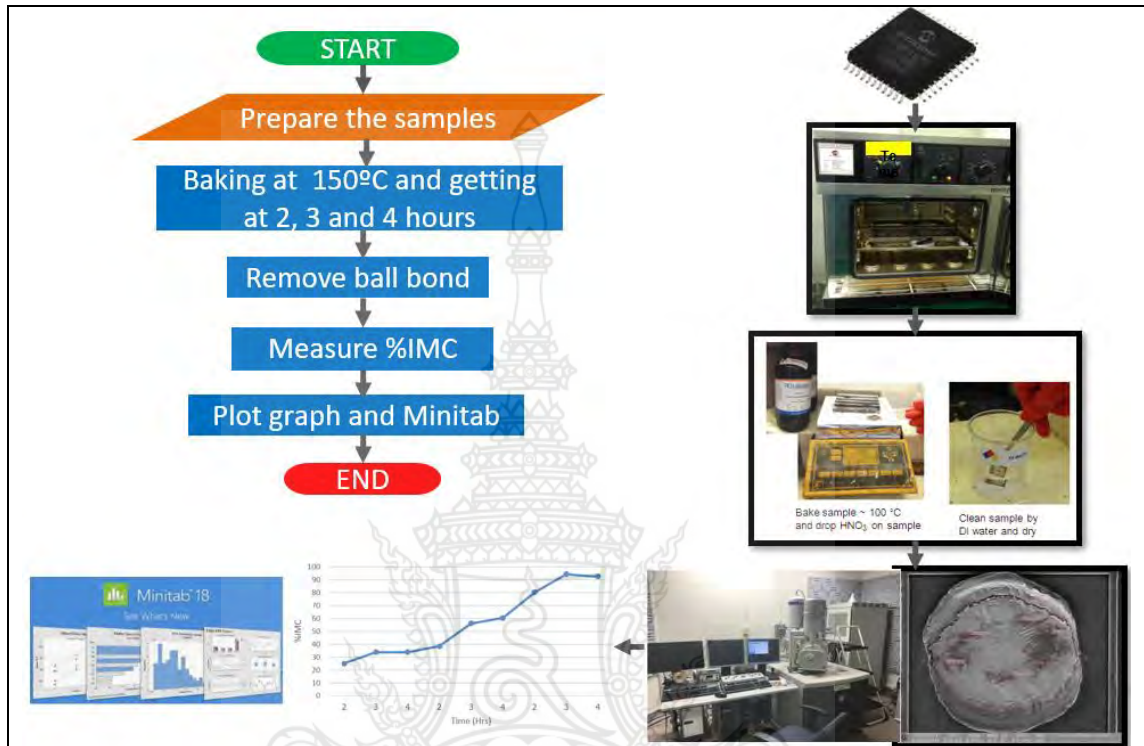


ภาพ 3.6 กระบวนการวิเคราะห์หาค่า IMC ที่อุณหภูมิ 200 °C โดยทำการวัดทุกครั้งชั่วโมง

### 3.5 การวิเคราะห์หาค่า IMC ที่อุณหภูมิ 150 °C ในช่วงเวลาที่ครอบคลุมเวลาที่เร็วที่สุด (2, 3 และ 4 ชั่วโมง) ที่ทำให้ %IMC มีค่ามากกว่า 80% จากอุณหภูมิความร้อน 175 °C และ 200 °C เพื่อทำการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบ

ศึกษากระบวนการผลิตปัจจุบันและผลของชั้น IMC ของผลิตภัณฑ์ลวดทองแดงที่ผ่านกระบวนการ Baking ที่อุณหภูมิ 150 °C ในช่วงเวลาที่ครอบคลุมเวลาที่เร็วที่สุดที่ทำให้ %IMC มีค่ามากกว่า 80% จากการทดลองที่อุณหภูมิความร้อน 175 °C และ 200 °C เพื่อทำการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบโดยใช้โปรแกรมในการคำนวณ เพื่อศึกษาการเติบโตของชั้น IMC ในระยะเวลาที่ต่างกันไปในกระบวนการ Baking โดยทำการลอกลูกบอลออกจาก Bond pad และ ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง

SEM จากนั้นทำการคำนวณหา % IMC โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.7 จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตามบทที่ 2 ในหัวข้อที่ 2.2



ภาพ 3.7 กระบวนการวิเคราะห์หาค่า IMC ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ทำการ Baking เป็นเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ต่างๆเพื่อทำการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่น

### 3.6 การรวบรวมข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

รวบรวมข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดว่าผลของการทดลองเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่และจะพัฒนากระบวนการผลิตของลวดทองแดงอย่างไรให้มี พื้นที่ IMC มากกว่า 80%

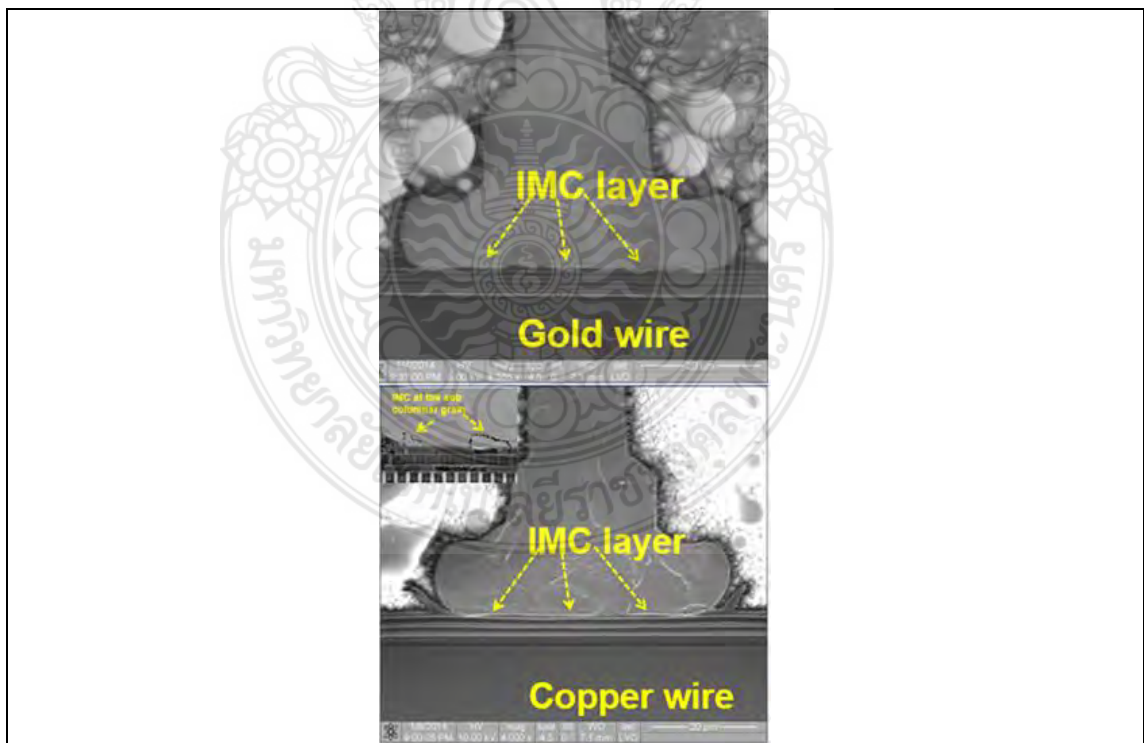
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

จากการศึกษาและการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการเชื่อมลวดวงจรไฟฟ้าของวงจรรวม ได้ทำการวิจัยที่ บริษัท Microchip Technology จำกัด ซึ่งมีผลที่ได้ตามรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 ผลการเก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC ของผลิตภัณฑ์หลังขบวนการการเชื่อมลวดและการเติบโตของชั้น IMC หลังขบวนการ Molding ของทั้งลวดทองแดงและทอง

ผลของการ Cross section ที่ 0 ชั่วโมง และตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM พบว่า โครงสร้างของลวดทองมีความแตกต่างกับลวดทองแดง โดย Aluminum pad จะหลอมรวมกับลวดทองชั้นในแนวตั้งโดยที่ไม่มีพื้นที่ที่เป็นจุดอ่อนและแสดงชั้น IMC อย่างชัดเจน ในขณะที่ลวดทองแดงพยายามจะหลอมรวมลงกับ Aluminum pad และแสดงชั้น IMC อย่างไม่ชัดเจนและบางกว่าเมื่อเทียบกับลวดทองแดงแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4.1

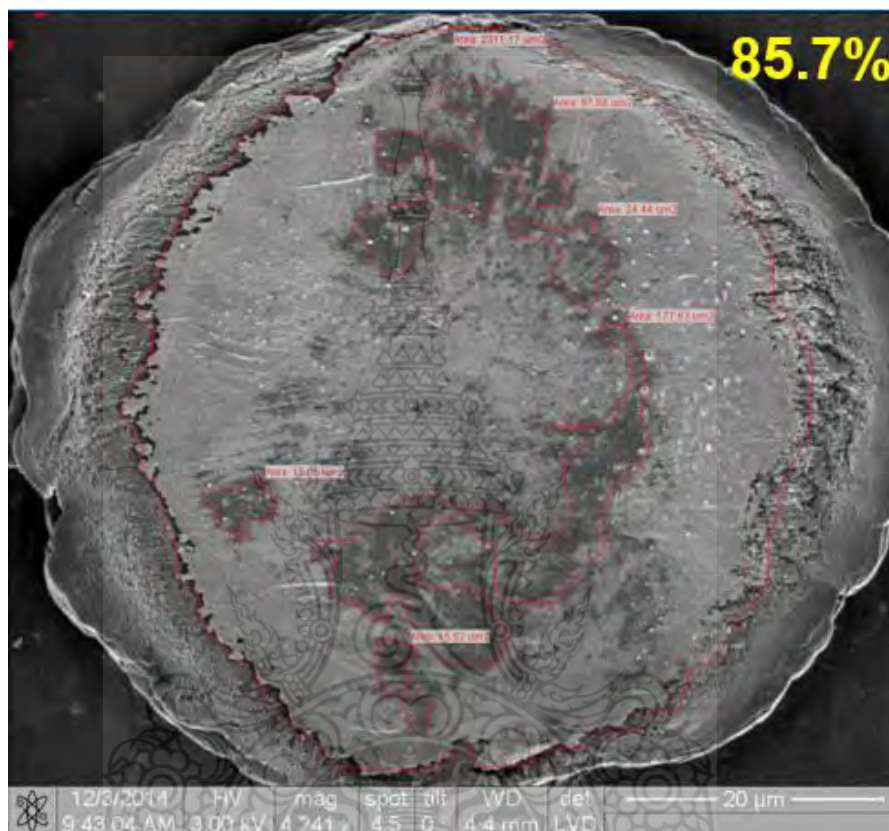


ภาพ 4.1 ความแตกต่างของโครงสร้างและการหลอมรวมกับ Aluminum pad ของลวดทองแดงและลวดทองแดงโดยการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM



#### 4.2 ผลการเก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC ทุกครึ่งชั่วโมงที่อุณหภูมิ 175 °C

แสดงการคำนวณที่จุดที่ 1 ในพื้นที่ 1 ของอุณหภูมิ 175 °C ที่เวลา 8.5 ชั่วโมง พื้นที่ทั้งหมดของลูกบอลที่ประทับคือ 2311.17  $\text{um}^2$  ในขณะที่พื้นรวมของพื้นที่ที่ไม่มีการบอนด์คือ 339.32  $\text{um}^2$  ดังแสดงในภาพที่ 4.2

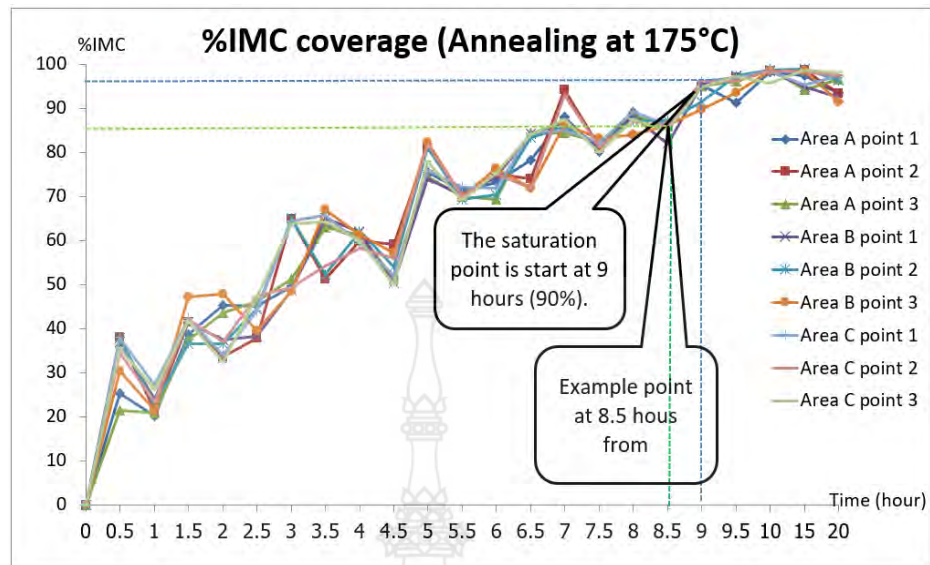


ภาพ 4.2 การวัดพื้นที่ จุดที่ 1 ในพื้นที่ 1 ของอุณหภูมิ 175 °C ที่เวลา 8.5 ชั่วโมง

นำค่าที่ได้จากการวัดทั้งหมดมาคำนวณในสมการที่ (3.1) จากบทที่ 3 เพื่อหาค่า %IMC ได้ดังตัวอย่างด้านล่าง พร้อมทั้งแสดงจุดพล็อตกราฟต่อไป

$$85.7\% = \frac{(2311.17 \text{ um}^2 - 339.32 \text{ um}^2) \times 100}{2311.17 \text{ um}^2}$$

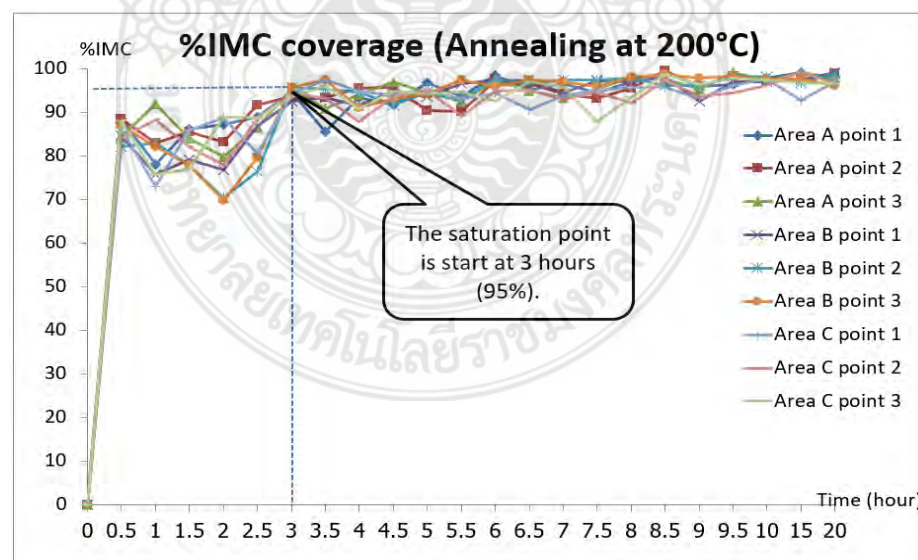
นำ %IMC ของอุณหภูมิ 175 °C ที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดมาพล็อตกราฟ พบว่าการ Baking ที่อุณหภูมิ 175 °C จะทำให้ %IMC มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 60% จะเสถียรและมากกว่า 80% หลังจาก 9 ชั่วโมงดังภาพที่ 4.3



ภาพ 4.3 ผลการวัด %IMC ที่อุณหภูมิ 175 °C จำนวน 3 จุดใน 3 พื้นที่ โดยทำการวัดทุก ๆ ครั้ง ชั่วโมง

#### 4.3 ผลการเก็บข้อมูลของพื้นที่ชั้น IMC ทุกครั้งชั่วโมงที่อุณหภูมิ 200 °C

พล็อตกราฟของอุณหภูมิ 200 °C พบว่าการ Baking ที่อุณหภูมิ 200 °C จะทำให้ %IMC มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 60% จะเสถียรและมากกว่า 80% หลังจาก 3 ชั่วโมงดังภาพประกอบที่ 4.4



ภาพ 4.4 ผลการวัด %IMC ที่อุณหภูมิ 200 °C จำนวน 3 จุดใน 3 พื้นที่ โดยทำการวัดทุก ๆ ครั้ง ชั่วโมง

#### 4.4 ผลของการเก็บข้อมูล IMC ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้กับอุณหภูมิอื่น ๆ

นำข้อมูลจากอุณหภูมิ 150 °C, 175 °C และ 200 °C ที่ระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมงแสดงในตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 ผลการวัด %IMC 150 °C, 175 °C และ 200 °C ที่ระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง

Temperature (°C)	Time (Hrs)	%IMC (1)	%IMC (2)	%IMC (3)
150	2	25	26.5	24.19
150	3	32.91	34.85	33.66
150	4	32.91	34.85	33.66
175	2	40.78	40.59	34.34
175	3	55.15	54.05	59.09
175	4	60.5	61.72	59.12
200	2	83.33	72.26	85.1
200	3	94.44	94.59	94.04
200	4	94.29	92.38	91.16

#### 4.5 การคำนวณการเจริญเติบโตของชั้น IMC เปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยมีปัจจัยเรื่องของอุณหภูมิ (°C) เวลา (Hour) เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยใช้โปรแกรมในการหาความสัมพันธ์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตามบทที่ 2 ในหัวข้อที่ 2.2 มีดังต่อไปนี้

##### 4.5.1 ตั้งสมมติฐาน

การวิเคราะห์โดยตาราง ANOVA แล้ว โดยดูที่ค่า P-Value ของแต่ละตัวแปร

Ho : ค่าเฉลี่ยของ %IMC อันเนื่องมาจากอุณหภูมิและเวลาที่ได้ ไม่แตกต่างกัน

$$H_o : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

Ha : ค่าเฉลี่ยของ %IMC อันเนื่องมาจากอุณหภูมิและเวลาที่ได้แตกต่างกัน อย่างน้อย 1 คู่

Ha : At least two  $\mu$ 's are different

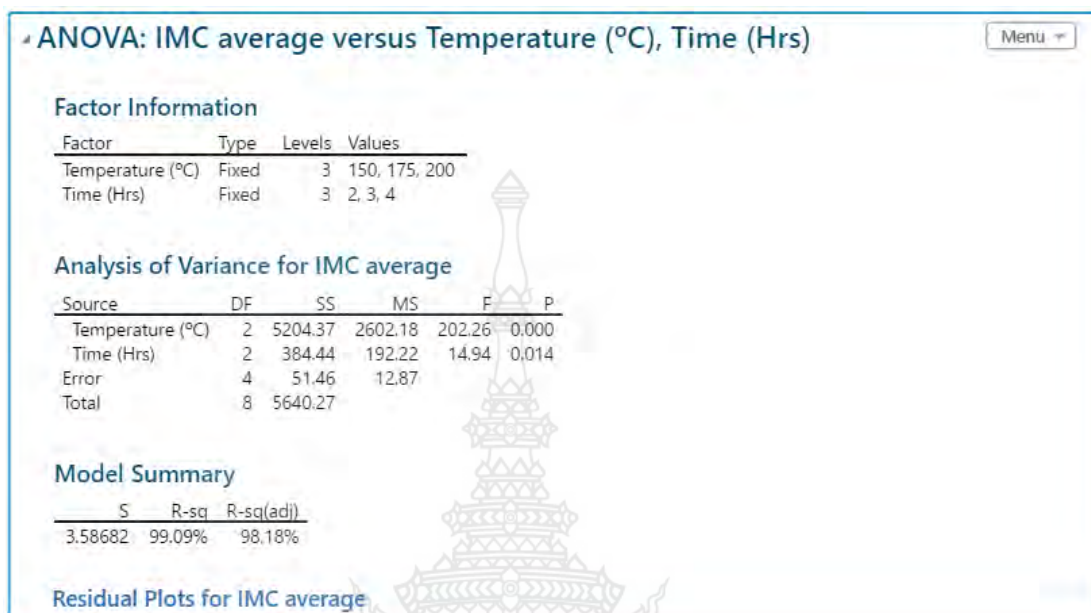
4.5.2 กำหนดระดับนัยสำคัญ (Significant level) กำหนด  $\alpha = 0.05$

4.5.3 ทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณ นำข้อมูลที่ได้ใส่โปรแกรมดังตารางที่ 4.2

ตาราง 4.2 การนำข้อมูลที่ได้ใส่โปรแกรมเพื่อการคำนวณผล

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	Temperature (°C)	Time (Hrs)	%IMC (1)	%IMC (2)	%IMC (3)	IMC average
1	150	2	25.00	26.50	24.19	25.2300
2	150	3	32.91	34.85	33.66	33.8067
3	150	4	32.91	34.85	33.66	33.8067
4	175	2	40.78	40.59	34.34	38.5700
5	175	3	55.15	54.05	59.09	56.0967
6	175	4	60.50	61.72	59.12	60.4467
7	200	2	83.33	72.26	85.10	80.2300
8	200	3	94.44	94.59	94.04	94.3567
9	200	4	94.29	92.38	91.16	92.6100

สรุปเป็น ANOVA Table ได้ดังภาพที่ 4.5



ภาพ 4.5 การคำนวณที่ได้จากโปรแกรม

#### 4.5.4 วิเคราะห์ผลตามตาราง ANOVA

การพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง Error กับ Total โดยดูผ่านค่า SS ( Error ) เทียบกับ SS ( Total ) จากตาราง ANOVA ดังต่อไปนี้

- 1) จากสมการที่ (2.4) สามารถคำนวณหาค่าความผิดพลาด

$$SS (\text{Error}) = 51.46$$

- 2) จากสมการที่ (2.1) สามารถคำนวณหาค่าผลบวกกำลังสองทั้งหมดที่ปรับแล้ว

$$SS (\text{Total}) = 5640.27$$

ค่า SS (Error) จะมีค่าเพียงน้อยนิด เมื่อเทียบกับ SS (Total) แสดงว่าในการทดลองครั้งนี้มีการควบคุมผลกระทบจากตัวแปรภายนอกอื่น ๆ ทำได้ดีมาก ค่า Variation ที่เห็นส่วนมากจึงเกิดจากการเปลี่ยนค่าของ Factor ในการทดลองเอง ดังนั้นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์นั้น ย่อมมีความแม่นยำสูง และยอมรับได้ ถือเป็น Data qualify และสามารถสรุปผลการทดสอบสมมุติฐานได้

พิจารณา SS ของ Factor Temperature จะเห็นว่ามีค่ามากกว่า Time มาก ความหมายก็คือ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าของ Temperature โดยสนใจ Time เท่าเดิม ขณะทดลอง จะเกิดผลกระทบต่อ %IMC มากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่า Time เมื่อ Temperature เท่าเดิม

#### 4.5.5 สรุปผลการทดสอบสมมุติฐาน

จากการตั้งสมมติฐานที่ผ่านมา

Ho : ค่าเฉลี่ยของ %IMC อันเนื่องมาจากอุณหภูมิและเวลาที่ได้ ไม่แตกต่างกัน

Ha : ค่าเฉลี่ยของ %IMC อันเนื่องมาจากอุณหภูมิและเวลาที่ได้แตกต่างกัน อย่างน้อย 1 คู่

จากสมการที่ (2.5) และค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมในตาราง ANOVA สรุปได้ว่า ทั้ง Temperature และ Time ต่างก็มีผลทำให้ค่า %IMC ที่เพิ่มขึ้นได้แตกต่างกัน เพราะ ค่า P-value ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า Significant level ( $\alpha$ ) ก็ทำให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Ho) หมายความว่า การใช้ Temperature มากหรือน้อย ก็ทำให้ %IMC มากหรือน้อยตามไปด้วย เช่นเดียวกัน ถ้ามี Time เกี่ยวข้องด้วย ก็จะมีส่วนทำให้ %IMC มากขึ้นไปอีกได้เหมือนกัน

ในขณะที่ความสัมพันธ์กันระหว่าง Temperature กับ Time กลับไม่มีผลต่อ %IMC ที่ได้ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะทั้ง Temperature และ Time ต่างก็มีผลต่อ %IMC ไปในทิศทางเดียวกัน จึงไม่เกิดจุดตัดกันหรือความสัมพันธ์กันระหว่างนั่นเอง

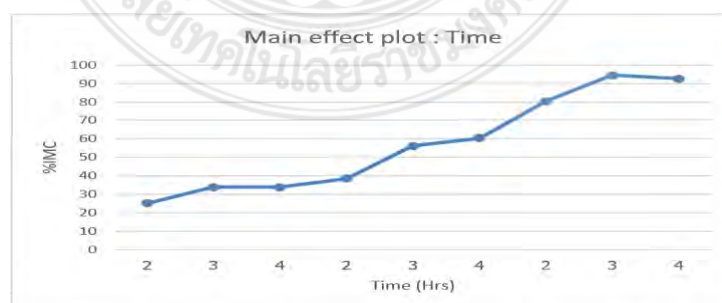
การวิเคราะห์ Main Effect เมื่อเราสรุปผลการทดสอบสมมติฐานนั้น จะมองเห็นภาพหรือผลกระทบจากแต่ละ Factor ได้ยาก การวิเคราะห์ Main Effect จะสามารถทำให้มองเห็นภาพดังกล่าวได้ง่ายขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ Main effect : Time เราจะถือว่า Temperature ซึ่งเป็นอีก Factor หนึ่งเป็น Random variation ให้เฉลี่ยค่าที่เกิดจากทุก Temperature factor ที่แต่ละค่าของ Main Effect : Time ที่กำลังสนใจ ในทางกลับกัน เมื่อเราทำการวิเคราะห์ Main effect : Temperature เราก็จะถือว่า Time ซึ่งเป็นอีก Factor หนึ่งเป็น Random variation ให้เฉลี่ยค่าที่เกิดจากทุก Time factor ที่แต่ละค่าของ Main Effect : Temperature นั้น เช่นกัน

Main effect : Time คือ

$$2 \text{ Hrs.}, \quad \text{Effect} = (25.23+38.57+80.23) / 3 = 48.01 \%$$

$$3 \text{ Hrs.}, \quad \text{Effect} = (33.80+56.09+94.35) / 3 = 61.51 \%$$

$$4 \text{ Hrs.}, \quad \text{Effect} = (33.80+60.44+92.61) / 3 = 62.28 \%$$



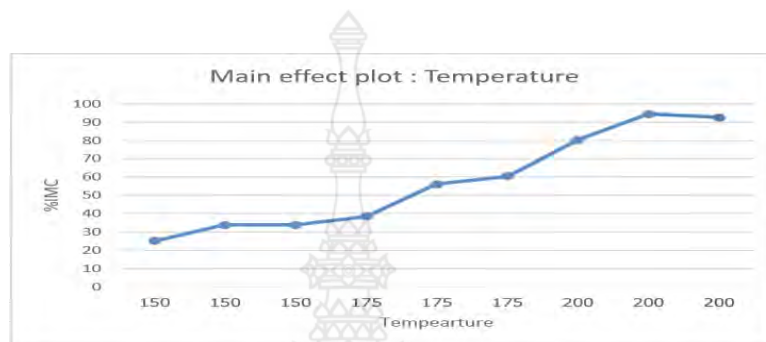
ภาพ 4.6 การพล็อต Main effect : Time

Main effect : Temperature คือ

$$150\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad \text{Effect} = (25.23+33.80+33.80) / 3 = 48.01\%$$

$$175\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad \text{Effect} = (38.57+56.09+60.44) / 3 = 71.37\%$$

$$200\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad \text{Effect} = (80.23+94.35+92.61) / 3 = 89.06\%$$



ภาพ 4.7 การพล็อต Main effect : Temperature

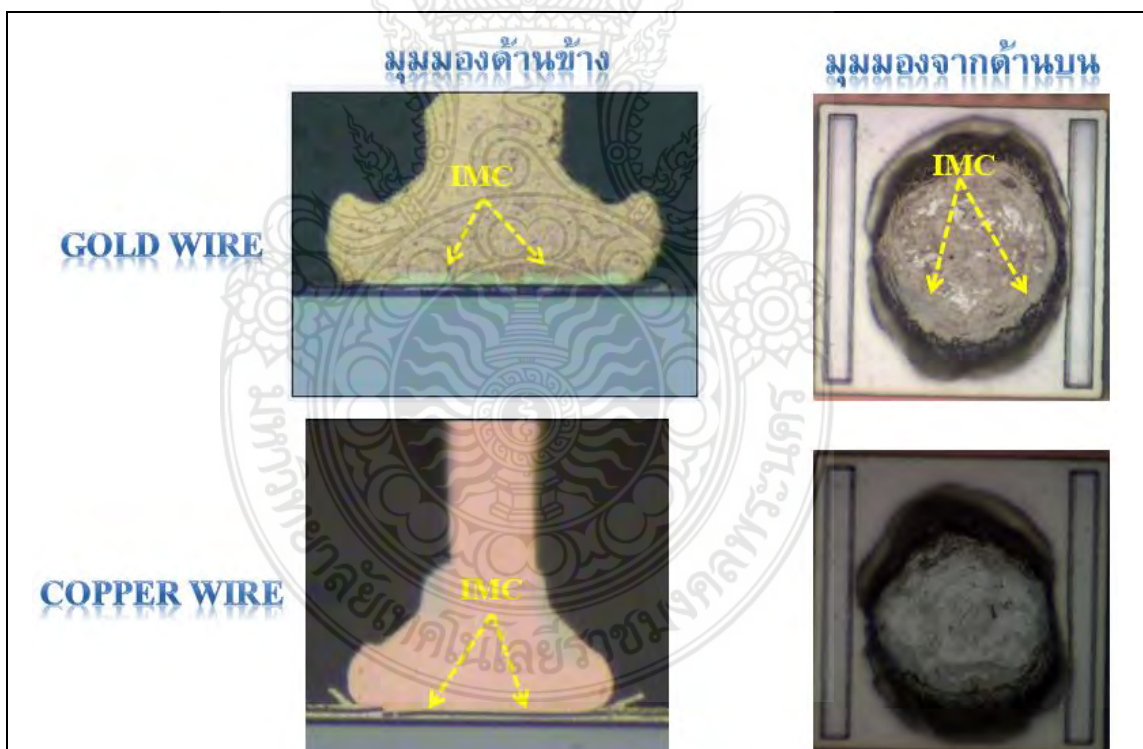
ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการ Baking มีผล (Effect) ต่อ %IMC มากกว่า การเปลี่ยนแปลง Time นั้นเอง นอกจากนี้ เมื่อเราทำการพล็อต Main effect ก็จะเห็นว่า ผลกระทบ ระหว่างปัจจัย Temperature กับ Time จะมีผลต่อ ต่อ %IMC ในทิศทางเดียวกันคือ Temperature เพิ่มขึ้น %IMC ก็จะเพิ่มขึ้น เมื่อ Time เพิ่มขึ้นก็ %IMC ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ

## บทที่ 5

### อภิปรายผล

#### 5.1 อภิปรายผล (Discussion)

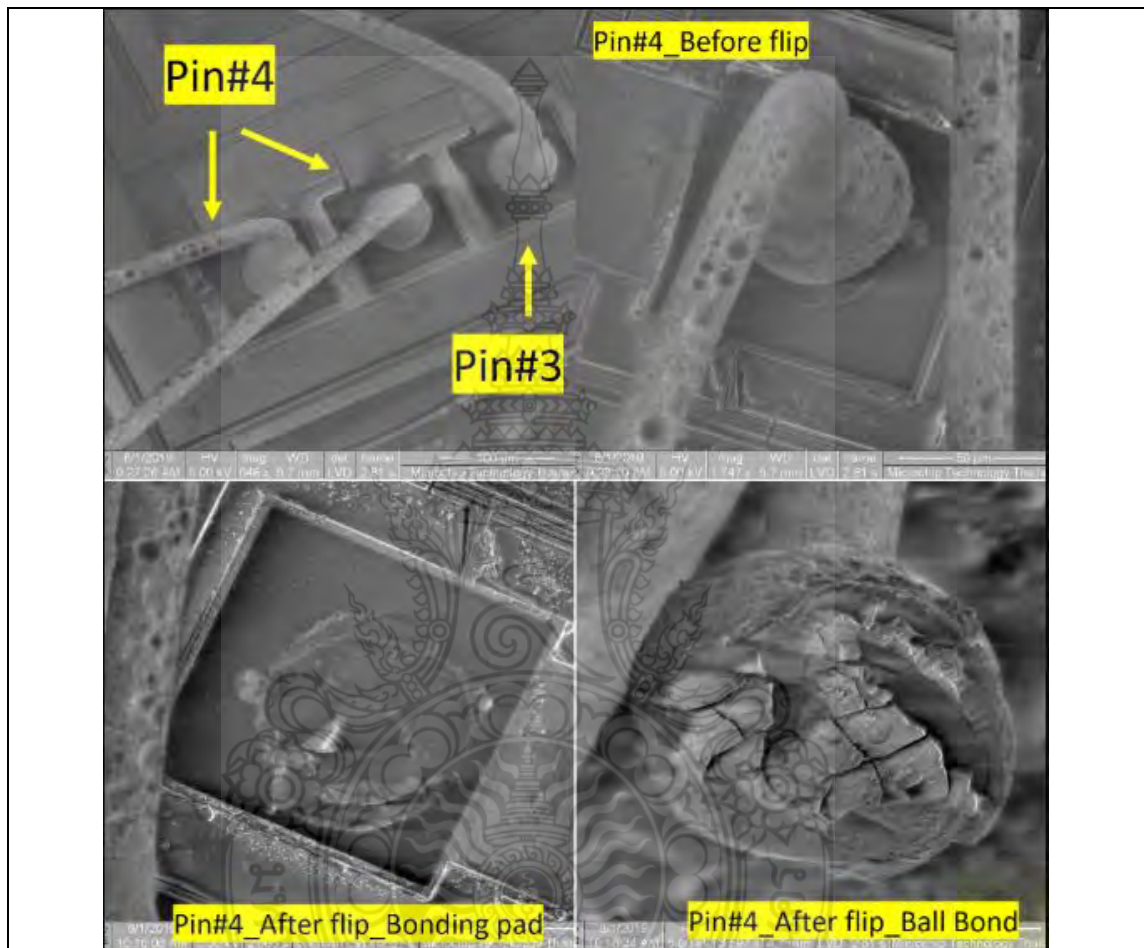
จากผลการทดลองใน 4.1 พบว่าความแตกต่างของวัสดุและองค์ประกอบระหว่างลวดทองแดงและลวดทองนำมาซึ่งความแตกต่างของผลของการไวร์บอนด์ิ่ง โดยลวดทองจะทำการผสมกับ Aluminum pad ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบกับการใช้ลวดทองแดงสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ศึกษาของ Wulff *et al*, (2013) ที่กล่าวว่าลวดทองคำ นั้นจะผสมผสานรวมตัวกับ Aluminum pad ได้ดีกว่าลวดทองแดงดังภาพที่ 5.1



ภาพ 5.1 ลวดทองคำนั้นจะผสมผสานรวมตัวกับ Aluminum pad ได้ดีกว่าลวดทองแดง

ดังนั้นการใช้ลวดทองในการผลิตจะมีโอกาสเกิดปัญหา Reliability ได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับลวดทองแดงที่มีโอกาสเกิดการหลุดหรือยกออกจาก Aluminum pad ได้ง่ายกว่าเมื่อ IC ถูกทดสอบ

หรือใช้งานในกระบวนการทดสอบ Reliability หรือเมื่อถูกใช้งานสภาวะการต่าง ๆ ทั้งอุณหภูมิความร้อน อุณหภูมิความเย็น แรงดันไฟฟ้าและความชื้นดัง Gan *et al.* (2013) ดังตัวอย่าง Lifted ball ในภาพที่ 5.2



ภาพ 5.2 Lifted ball

ที่มา: Microchip Technology Thailand (2016)

การทดลองที่ 4.2 การ Baking IC ที่อุณหภูมิ 175 °C ช่วยให้ระดับ IMC ของ IC เพิ่มขึ้นตามเวลาของการ Baking ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่ตรงกับงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาของ Tana and Yong (2010) ว่าด้วยอุณหภูมิจะส่งผลให้ระดับ IMC ระหว่างลวดทองแดงกับ Aluminum pad เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และจะมีค่าที่เสถียรและมากกว่า 80% โดยต้องใช้เวลาถึง 9 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่ช้าเกินไปไม่เหมาะสมกับการผลิตที่ต้องเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมากในการผลิต



จากผลการทดลองที่ 4.3 การ Baking IC ที่ 200 °C ช่วยให้ %IMC ของ IC เพิ่มขึ้นตามเวลา เช่นกัน และสอดคล้องกับงานวิจัย Lim *et al*, (2016) ที่ได้ศึกษามาเช่นกัน อุณหภูมิจะส่งผลให้ %IMC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเร็วกว่าอุณหภูมิ 175 °C เป็นอย่างมาก ค่าที่ได้จะคงที่และมากกว่า 80% ในเวลาที่เร็วที่สุดคือ 3 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เร็วและเหมาะสมกับการผลิตที่สุด เพราะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในการผลิต

จากผลของการเก็บข้อมูลในผลการทดลองที่ 4.4 โดย %IMC ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้กับอุณหภูมิอื่น ๆ พบว่า %IMC มีค่าเพิ่มเช่นเดียวกันกับอุณหภูมิอื่น ๆ แต่จะช้าที่สุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่สูงกว่าซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lim *et al*, (2016)

ผลจากการคำนวณการเจริญเติบโตของชั้น IMC ที่เปลี่ยนแปลงโดยมีปัจจัย เรื่องของอุณหภูมิ (°C) เวลา (Hour) ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยใช้โปรแกรมจากตาราง ANOVA เราสรุปได้ว่า ทั้ง Temperature และ Time ต่างก็มีผลทำให้ค่า %IMC ที่เพิ่มขึ้นได้แตกต่างกัน เพราะ ค่า P-value ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า Significant level ( $\alpha$ ) ก็ทำให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Ho) หมายความว่า การใช้ Temperature มากหรือน้อย ก็ทำให้ %IMC มากหรือน้อยตามไปด้วย เช่นเดียวกัน ถ้ามี Time เกี่ยวข้องด้วย ก็จะมีส่วนทำให้ %IMC มากขึ้นไปอีกได้เหมือนกัน

ในขณะที่ความสัมพันธ์กันระหว่าง Temperature กับ Time กลับไม่มีผลต่อ %IMC ที่ได้ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะทั้ง Temperature และ Time ต่างก็มีผลต่อ %IMC ไปในทิศทางเดียวกัน จึงไม่เกิดจุดตัดกันหรือความสัมพันธ์กันระหว่างนั่นเอง

การวิเคราะห์ Main Effect จะสามารถทำให้มองเห็นภาพดังกล่าวได้ง่ายขึ้น ผลที่เกิดจากการเปลี่ยน Temperature มีผล (Effect) ต่อ %IMC มากกว่า การเปลี่ยนแปลง Time นั่นเอง นอกจากนี้ เมื่อเราทำการพล็อต Main effect ก็จะเห็นว่าผลกระทบ ระหว่างปัจจัย Temperature กับ Time จะมีผลต่อ ต่อ %IMC ในทิศทางเดียวกันคือ Temperature เพิ่มขึ้น %IMC ก็เพิ่มขึ้น เมื่อ Time เพิ่มขึ้นก็ %IMC ก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

## บทที่ 6

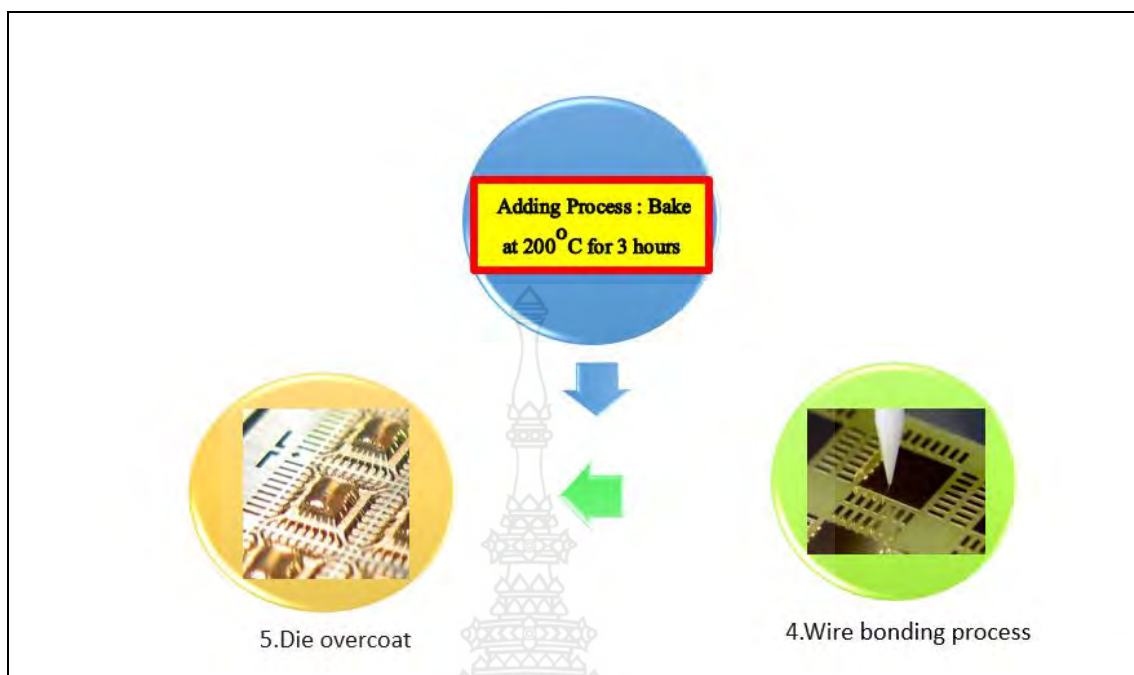
### สรุปผล

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาเพิ่มเติมที่ 150 °C และได้ทำการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิจากการทดลองอื่น ๆ ต่างพบว่าอุณหภูมิและเวลานั้นสามารถทำให้ %IMC เพิ่มขึ้นได้เหมือนกัน ดังนั้นการทดลองที่เพิ่มขึ้นโดยใช้วิชาสถิติเข้ามาช่วยในการคำนวณและตัดสินใจ และเพื่อทำการสนับสนุนผลการทดลองทั้งหมด พบว่าอุณหภูมิจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของ %IMC ให้ได้มากกว่า 80% ซึ่งจะส่งผลมากกว่าเวลาที่ใช้ในการ Baking ของ IC ผลการทดลองจะสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ศึกษามาเช่นกัน ดังนั้นอุณหภูมิที่สูง 200 °C จะส่งผลให้ %IMC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เร็วกว่าอุณหภูมิ 150 °C และอุณหภูมิ 175 °C มาก ค่าที่ได้จะคงที่มากกว่า 80% ในเวลาที่เร็วที่สุดคือ 3 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เร็วและเหมาะสมกับการผลิตที่สุด เพราะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าอุณหภูมิ 200 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการเพิ่มระดับ IMC เพราะใช้เวลาน้อยที่สุดและได้ค่า IMC ที่เสถียรและมากกว่า 80% ซึ่งเป็นค่าระดับที่องค์กรต่าง ๆ (Microchip, UTAC, Stars Microelectronic, NXP, ASE, Amkor Technology และอื่น ๆ) ให้การยอมรับในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ของภาคอุตสาหกรรมวงจรรวมยอมรับกันโดยทั่วไปดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มกระบวนการนี้เข้าไปในกระบวนการ ไวร้บอนด์ของลวดทองแดงแล้ว ก็จะสามารถทำให้ลวดทองแดงมีชั้น IMC ที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ชั้น IMC มีความแข็งแรงมากขึ้นตามงานวิจัยลวดทองแดงจะยึดติดกับ Aluminum pad ได้ดี มีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งานที่สภาวะต่าง ๆ ลด Defect ที่เกิดจากปัญหา Reliability ตามงานวิจัยที่ได้ศึกษา สามารถลดต้นทุนที่ต้องใช้ในการทดสอบงานเพิ่มสำหรับล็อตการผลิตที่มีปัญหา Reliability สามารถสร้างความมั่นใจและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยให้กับลูกค้ามากขึ้น สร้างความน่าเชื่อถือให้กับองค์กรซึ่งเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวมของประเทศไทยในระยะยาว รวมถึงสร้างชื่อเสียงให้อุตสาหกรรมในประเทศไทยได้อีกด้วย

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ลวดทองแดงในการผลิต โดยการเพิ่มขึ้นขั้นตอนการปฏิบัติงานคือการ Baking ที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 3 Hrs. หลังจากกระบวนการไวร้บอนด์ดังภาพที่ 6.1



ภาพ 6.1 การเพิ่มการ Baking ที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากกระบวนการเชื่อมลวดไฟฟ้าเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ลวดทองแดงในการผลิต

สำหรับงานวิจัยต่อไปควรจะทำศึกษาทดลองต่อไปคือการทดสอบกับลวดทองแดงที่ถูกปกคลุมด้วยแพลเลเดียมและทองคำ หรือเรียกว่าลวดทองแดงแพลเลเดียมทองคำที่ (CuPdAu) ซึ่งเป็นลวดทองแดงอีกชนิดหนึ่งที่ต้องใช้โดยทั่วไปในการผลิตวงจรรวมเช่นกัน

## บทที่ 7

### การนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์

#### 7.1 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน

การเพิ่มขึ้นตอนในการผลิตทำให้ผลิตภัณฑ์ขององค์กรทำให้มีความแข็งแกร่งทนทานปลอดภัยซึ่งจะเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดเมื่อลูกค้าต้องการนำไปใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องใช้งานในทุกย่านของอุณหภูมิและความชื้น ผลิตภัณฑ์ที่ดีจะทำให้ลูกค้าปลอดภัยและมีความพึงพอใจ สร้างความน่าเชื่อถือและชื่อเสียงที่ดีให้กับองค์กร ทำให้มีพาร์ทเนอร์และลูกค้าที่ดีแบบยั่งยืน แต่การตัดสินใจในการลงทุนต่าง ๆ ต้องทำการวิเคราะห์และเป็นการพิจารณาว่า ผลประโยชน์ที่จะได้รับนั้นมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าใช้จ่ายซึ่งการที่ผู้วิเคราะห์โครงการจะเปรียบเทียบค่าของผลประโยชน์กับค่าใช้จ่ายเพื่อพิจารณาว่าโครงการเป็นโครงการที่ดีคุ้มค่าแก่การลงทุนหรือไม่นั้นจำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจต้องวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืนเอาไว้ตัดสินใจลงทุนดังนี้

##### 7.1.1 มูลค่าที่ต้องลงทุนใน 1 ปี (Investment)

การลงทุนในการเพิ่มขึ้นตอนการผลิตในงานที่เป็น Cu wire ต่อปีแสดงดังตาราง 7.1 โดยจะเสียค่าใช้จ่ายจำนวน 2,400,000 บาท

ตาราง 7.1 รายละเอียดการลงทุนการลงทุนในการเพิ่มขึ้นตอนการผลิตในงานที่เป็น Cu wire ต่อปี

ลำดับที่	รายการ	
1	จำนวน Cu wire Lot ต่อปี	8,000 Lots
2	ค่าแรงต่อชั่วโมง	100 Baht
3	จำนวนชั่วโมงในการ Baking	3 Hrs.
รวมเป็นเงิน (บาท)		2,400,000 Baht

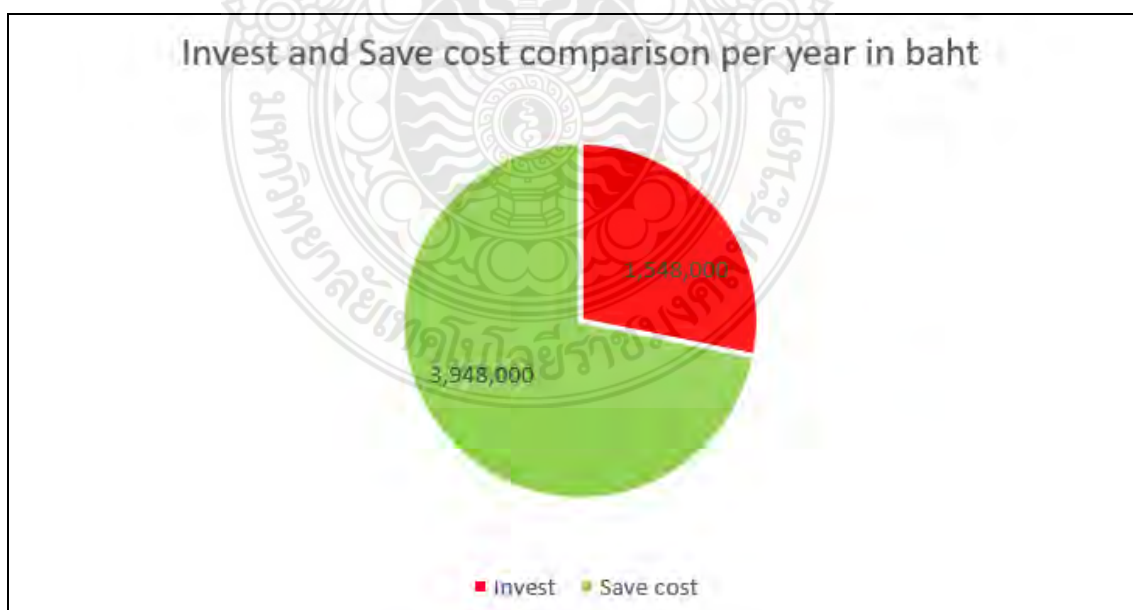
### 7.1.2 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Rate of Return on Investment)

การลงทุนจากข้อ 7.1.1 จะทำงานของ Cu wire ในทุก ๆ ล็อตไม่มี Lifted Ball Defect เกิดขึ้นทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบผลิตภัณฑ์เพิ่มได้โดยค่าเฉลี่ยของ Lifted ball defect จะเกิดขึ้น คือ 47 ล็อตต่อปี ดังนั้นเมื่อ Lifted Ball Defect ถูกลดเป็นศูนย์จะทำให้องค์กรประหยัดค่าใช้จ่ายดังตาราง 7.2

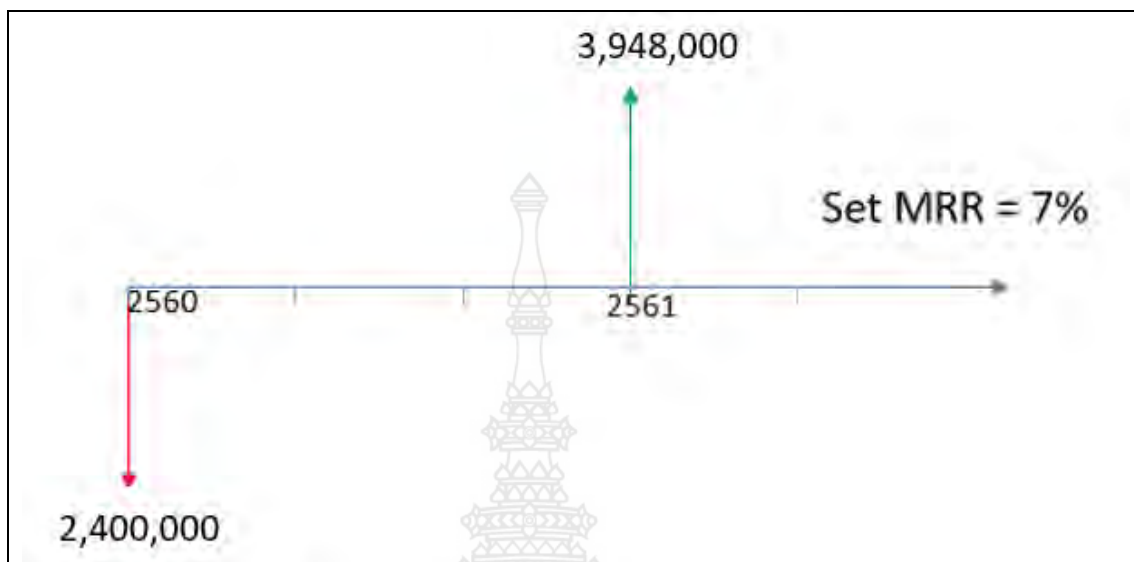
ตาราง 7.2 รายละเอียดการลดต้นทุนหลังจากการเพิ่มขึ้นตอนการผลิตในงานที่เป็น Cu wire ต่อปี

ลำดับที่	รายการ	
1	จำนวน Lifted Ball Lot ที่ต้องถูกทดสอบ	47 Lots
2	ค่าแรงต่อชั่วโมง	300 Baht
3	จำนวนชั่วโมงในการทดสอบ T/C 500 cycles	280 Hrs.
<b>รวมเป็นเงิน (บาท)</b>		<b>3,948,000 Baht</b>

แสดงการเปรียบเทียบการลงทุนและการลดต้นทุนใน 1 ปีจะเห็นได้ว่าองค์กรสามารถมีกำไรเพิ่มขึ้นต่อปีได้ถึง 1,548,000 ต่อปีแสดงดังภาพที่ 7.1



ภาพ 7.1 การเปรียบเทียบการลงทุนและการลดต้นทุนใน 1 ปี

7.1.3 การคำนวณหา  $P_0$  โดย  $MRR = 7\%$  ดังภาพที่ 7.2ภาพ 7.2 การคำนวณหา  $P_0$  โดย  $MRR = 7\%$ 

$$P_0 = -2,400,000 + 3,948,000 (P/F, 7\%, 1)$$

$$P_0 = -2,400,000 + 3,948,000 (0.9346)$$

$$\ast P_0 = \text{Net Present Value} = 1,289,800 \text{ Baht}$$

ค่า NPV หรือค่า  $P_0$  เป็นบวกแสดงว่าโครงการนี้ขององค์กรสามารถทำให้เกิดผลกำไรได้ในปีแรกทันที

## 7.1.4 การคำนวณหา BCR (Benefit Cost Ratio)

$$\text{BCR} = \text{ผลประโยชน์รวม} / \text{ค่าใช้จ่ายรวม}$$

$$\text{BCR} = 3,948,000 / 2,400,000 (F/P, 7\%, 1)$$

$$\ast \text{BCR} = 3,948,000 / ((2,400,000 (1.07))) = 1.54$$

ค่า BCR มากกว่า 1 แสดงว่าโครงการนี้ขององค์กรสามารถทำให้เกิดผลกำไรได้ ค่า BCR ไม่ได้แสดงถึงผลกำไร แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยนี้นำมาใช้กับการสะท้อนกับมูลค่าทางการเงินได้ว่าคุ้มค่ากับการลงทุน

## 7.1.5 การคำนวณหา BEP (Break Even Point)

$$\text{BEP} = \text{FC} / (\text{P}-\text{VC})$$

$$\text{BEP} = 3,948,000 / 2,400,000$$

$$\ast \text{BEP} = 1.64$$

ค่า BCR มากกว่า 1 แสดงว่าโครงการนี้ขององค์กรสามารถทำให้เกิดผลกำไรได้

## 7.2 แผนการเผยแพร่และการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ผลของงานวิจัยจะสามารถเผยแพร่ผลงานของทางองค์กรต่อสาธารณะชนและลูกค้า คู่ค้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทางองค์กรได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดที่พร้อมส่งมอบให้กับลูกค้า รวมถึงได้มีการจัดเตรียมงานวิจัยและการให้บริการวิชาการซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสังคม ชุมชน อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ด้านด้วยกันคือ

- 1) การใช้ประโยชน์เชิงวิชาการแก่อุตสาหกรรมเคมีคอนดักเตอร์
- 2) การใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมโดยเฉพาะคู่ค้า (Subcontractor)
- 3) การใช้ประโยชน์เชิงนโยบายให้กลุ่มเครือข่ายขององค์กรให้มีการพัฒนาไปในทิศทางเดียวกัน
- 4) การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์คือการทำให้องค์กรมีผลกำไรมากขึ้น
- 5) สังคมและชุมชนมีความปลอดภัยด้วยการที่ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรภาพ

การจัดการความรู้จากงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ที่สนับสนุนให้มีการเผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการ เพื่อนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในงานด้านเคมีคอนดักเตอร์ตามที่กล่าวมาในผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ ที่ระบุไว้ในรายงานการวิจัยอย่างถูกต้องและมีหลักปรากฏชัดเจนรวมถึงการนำไปใช้จนก่อให้เกิดประโยชน์ได้จริงอย่างยั่งยืน

## เอกสารอ้างอิง

- วิกิพีเดีย. ม.ป.ป. **วงจรรวม** [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มกราคม 2561 จาก:  
<https://th.wikipedia.org/wiki/วงจรรวม>
- Thaifta.com. 2547. **อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์** [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มกราคม 2561 จาก:  
[http://www.thaifta.com/thaifta/Portals/0/File/vol4Ch\\_10\\_electronic](http://www.thaifta.com/thaifta/Portals/0/File/vol4Ch_10_electronic)
- ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจธุรกิจและเศรษฐกิจฐานราก. 2561. **อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์** [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มกราคม 2561 จาก:  
[https://www.gsb.or.th/getattachment/b3361bfd-1133-4de1-aecc-7693b6a7adfc/IN\\_electronic\\_61\\_detail.aspx](https://www.gsb.or.th/getattachment/b3361bfd-1133-4de1-aecc-7693b6a7adfc/IN_electronic_61_detail.aspx)
- สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. 2562. **อุตสาหกรรมวงจรรวมและส่วนประกอบ IC (Integrated Circuit)** [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2561 จาก:  
<http://eiu.thaieei.com/box/Products/14/IC%202019.pdf>
- ThaiPR.NET. 2560. **ข่าวประชาสัมพันธ์Uncategorized** [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 มกราคม 2561 จาก: <https://www.thaipr.net/general/642640>
- Icinsights.com. 2018. **Top Semiconductor Sales Leaders 2018** [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มกราคม 2561 จาก: <https://anysilicon.com/top-semiconductor-sales-leaders-2018-2019>
- ประไพศรี สุทัศน์ และ พงศ์ชนัน เหลืองโงปบูลย์. 2551. **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. พิมพ์ครั้งที่1. ท้อป, บจก.สนพ.**
- ส่วนวิเคราะห์ธุรกิจ ฝ่ายวิชาการ. 2548. **การวิเคราะห์ SWOT ในอุตสาหกรรมแผงวงจรไฟฟ้าของไทย.**
- Stewart Fan, Louie Huang, Ming-Chi Ho and Ker-Chang Hsieh. 2016. **The Intermetallic Compound (IMC) Growth and Phase Identification of Different Kinds of Copper Wire and Al Pad Thickness, 1Advanced Semiconductor Engineering and 2National Sun Yat-Sen University.**
- Tatsunori Saruwa tari, Toru Takahashi, Akinori Ono, Yuichi Asano and Toshihiro Iwasaki. 2017. **RELIABILITY IMPROVEMENT OF CU-WIRE BONDED LEAD FRAME PACKAGE FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS, Pan Pacific Microelectronics Symposium.**



## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- Y. Y. Tana and F.K. Yong. 2010. **Cu-Al IMC Microstructure Study in Cu Wire Bonding With TEM**, Infineon Technologies (M).
- Mingchuan Han, Miao Wang, Lidong Zhang, Beiyue Yan, Jun Li, Meijiang Song and Varughese Mathew. 2016. **Copper wire bond pad/IMC interfacial layer crack study during HTSL (high temperature storage life) test**, NXP Semiconductor.
- Ying Sian Chen, Ming Tsung Lee, Nicolas Liu and Kevin Liu. 2018. **A Study for the Effectiveness of Wire Bond Process Parameters on Al-Cu Intermetallic Compound Distributions and the Correlation between Bonded Ball Adhesions and IMC Coverage**, Texas Instruments Inc.
- Adeline B.Y. Lim, Chris B. Boothroyd, Oranna Yauwa, Bob Chylak, Chee Lip Gan and Zhong Chenb. 2016. **Interfacial evolution and bond reliability in thermosonic Pd coated Cu wire bonding on aluminum metallization**, Effect of palladium distribution.
- F. W. Wulff, C. D. Breach, D. Stephan, Saraswati and K.J. Dittmer. 2004. **Materials & Applications Centre, Characterization of Intermetallic Growth in Copper and Gold Ball Bonds on Aluminum Metallization**, Electronics Packaging Technology Conference.
- Chong Leong Gan, Classe Francis, Bak Lee Chan and Uda Hashim. 2013. **Extended reliability of gold and copper ball bonds in microelectronic packaging**, Gold bull.
- Tracy Jia Lin Yap, Yin Kheng Au and Poh Leng Eu. 2012. **Importance of Cu/Al Intermetallic Coverage in Copper Wire Bonding with Sensitive Pad Structure**, Freescale Semiconductor.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เอกสารตีพิมพ์ เกียรติบัตร อักษรวิสุทธิ

ภาคผนวก ข บันทึก %IMC ของแต่ผู้สมัครในการทดลอง

ภาคผนวก ค กลุ่มตัวอย่างทดลองทางสถิติ




ภาคผนวก ง เครื่องมือและการใช้งาน

## ภาคผนวก ก

## เอกสารตีพิมพ์ เกียรติบัตร



ภาพ ก-1 หน้าปกเอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม  
นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562

**การปรับปรุงกระบวนการไวร์บอนดิงของการผลิตวงจรรวม กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิต  
วงจรรวมประเทศไทย**

**Improvement of wire bonding process for integrated circuit production: A case  
study of integrated circuit industry in Thailand**

อภิรัตน์ มีมูซอ<sup>1</sup>, ปริญญ์ บุญกนิษฐ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Failure Analysis and Assembly Sections of Microchip Technology (Thailand) Co., Ltd.  
[apirat.mueamtorosot@microchip.com](mailto:apirat.mueamtorosot@microchip.com)

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
1381 ถนนประชากรหมู่ 1 เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10800  
[prj.bkmrmutp.ac.th](http://prj.bkmrmutp.ac.th)

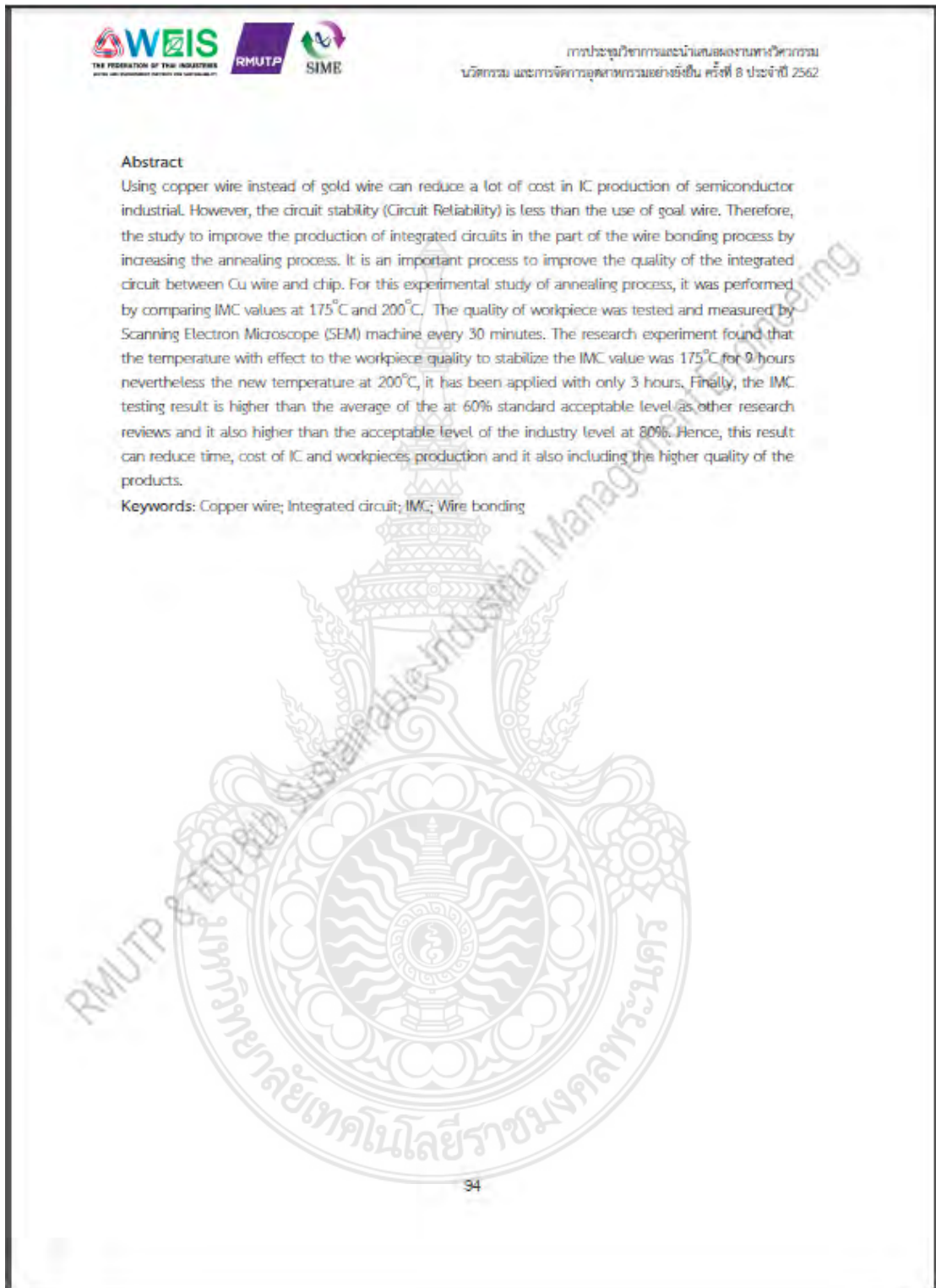
**บทคัดย่อ**

การใช้ลวดทองแดง (Copper) แทนลวดทอง (Gold) สามารถลดต้นทุนในการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit, IC) ของอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ได้เป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีความเสี่ยงของวงจรรวม (Circuit Reliability) ที่น้อยกว่าการใช้ลวดทอง ด้วยเหตุนี้การศึกษาศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตวงจรรวมในส่วนของการกระบวนการไวร์บอนดิง (wire bonding) ด้วยการเพิ่มกระบวนการอบอ่อน (Annealing) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่จะช่วยให้การเชื่อมลวดทองแดงระหว่างลวดกับแผ่นวงจรรวมมีคุณภาพมากขึ้น เนื่องจากการ Annealing จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะในการเชื่อมลวดทองแดงได้ดีขึ้น ทำให้มีความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ (IMC, Intermetallic layer) สูงขึ้น ส่งผลให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดีขึ้น สำหรับการศึกษาลดลงครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาออกแบบ กระบวนการ Annealing โดยเปรียบเทียบค่า IMC ที่ระดับอุณหภูมิ 175°C และระดับอุณหภูมิ 200°C แล้วจึงทำการวัดทดสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยเครื่อง (Scanning Electron Microscope, SEM) ทุก 30 นาที ซึ่งผลการทดลองพบว่าระดับอุณหภูมิที่ส่งผลให้คุณภาพของชิ้นงานมีความเสถียรของค่า IMC คือ ที่ระดับอุณหภูมิ 175°C ใช้เวลา 9 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิใหม่ 200°C จะใช้ระยะเวลาเพียง 3 ชั่วโมง โดยค่าที่ได้มีค่า IMC สูงมากกว่าค่าเฉลี่ยของค่าระดับที่ยอมรับจากงานวิจัยอื่นๆที่ระดับ 60% และได้ค่ามากกว่าระดับที่ยอมรับของภาาอุตสาหกรรมที่ 80% ส่งผลให้ลดเวลาและต้นทุนในการผลิตชิ้นงาน IC และชิ้นงานมีคุณภาพสูงขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ: ลวดทองแดง; วงจรรวม; IMC; ไวร์บอนดิง

93

ภาพ ก-2 เอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562 หน้า 93



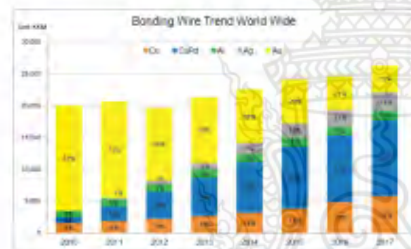
ภาพ ก-3 เอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562 หน้า 94



1. บทนำ (Introduction)

วงจรรวม (Integrated circuit ; IC) คือ วงจรที่นำเอา ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และ องค์ประกอบวงจรต่าง ๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจรรวมขนาดเล็ก อาจเรียก ชิพ (Chip) ภายในโมไซ์ ซึ่งใช้ทำงานควบคุม คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องมืออุตสาหกรรม อุปกรณ์การแพทย์ อุปกรณ์ทางทหาร ระบบเบรครถยนต์ ซึ่งที่ในอดีตนั้นในการผลิต IC จะใช้ลวดทองเป็นวัสดุหลักในการผลิตในการเชื่อมต่อวงจรจาก ชิพไปสู่ขาของชิคแพคเกจ

ในปัจจุบันในผู้ผลิต IC ต่างได้มีการศึกษาและลดการใช้ทองคำโดยมีสัดส่วนที่ลดลงอย่างมาก เพื่อให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมนี้ได้มีการลดต้นทุนจากลวดทอง (Au) โดยเปลี่ยนมาใช้ลวดทองแดง (Cu) เพื่อลดต้นทุนในการผลิต IC ดังภาพประกอบที่ 1 อ้างอิงจากงานวิจัย [1] ซึ่งมีอัตราการผลิตต่อวันนับเป็นล้านตัว เพื่อเป็นการลดต้นทุน และเพิ่มผลกำไรให้กับองค์กรนั่นเอง



ภาพที่ 1 แนวโน้มการเติบโตของตลาดลวดทองแดงและลวดทั้งหมดโดย [1]

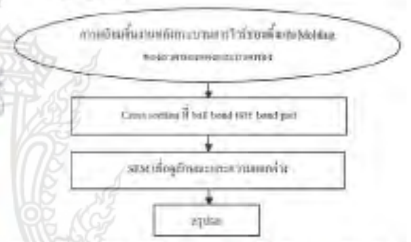
แต่ในทางการผลิตวงจรรวมพบว่าทองแดงนั้นเป็นวัสดุที่ ผสมกับวัสดุอื่นได้ไม่ดีเท่ากับการใช้ลวดทอง [2] ดังนั้น ลวดทองแดงที่นำมาต่อกับชิพและชิคแพคเกจเรียบร้อยแล้วจะมีปัญหาในเรื่องของ Reliability โดยลวดจะมีโอกาสหลุด ออกจากวงจรรวมได้มากกว่าลวดทองเมื่อถูกกระตุ้นด้วย แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิร้อน อุณหภูมิเย็น ความชื้นและชั้น IMC ที่ไม่มีความแข็งแรงมากพอ [2][3] [8]

จากการศึกษาพบว่าชั้น IMC ที่ทำหน้าที่ยึดเกาะระหว่าง ชั้นของลวดทองแดง (Cu) กับ Aluminum pad ซึ่งยังมีพื้นที่ IMC มากโอกาสที่จะเกิดการหลุดของลวดก็น้อยลงเช่นกัน โดยแรงที่ใช้ไหลลวดให้หลุดจาก Aluminum pad แปรผันตามกับระดับ IMC [5] ขั้นตอนที่จะช่วยให้ผลิตกันที่มีชั้น IMC ที่เพิ่มขึ้นได้คือการ Annealing ที่อุณหภูมิความร้อน 175°C [6] ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา

ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระดับคุณภาพ IMC ที่ระดับอุณหภูมิ 175°C และ อุณหภูมิ 200°C โดยทำการวัดทดสอบทุก 30 นาที ว่าผลที่ได้ทำให้ได้ระดับ IMC อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้มากกว่า 60% ซึ่งระดับค่า IMC ที่ 60% เป็นค่าที่ผ่านการทดสอบความคงทนของตัวงาน (Reliability test) ทั้งหมด [9] ในขณะที่ภาคอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวมต้องการที่ 80% โดยกระบวนการในการศึกษาวิจัยมีขั้นตอนในการ ดำเนินงานดังต่อไปนี้

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

สำหรับกระบวนการในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการเตรียม ชิ้นงานหลังกระบวนการไวโรบอนด์และ Molding ของทั้ง ลวดทองแดงและลวดทองเพื่อทำการศึกษาลักษณะทาง กายภาพของการบอนด์ที่พึ่งผลิตเสร็จมาทำการ Cross section เพื่อความแตกต่างระหว่างลวดทองแดงและลวด ทองว่าวัสดุสามารถทำการไวโรบอนด์ได้ดีกว่า ดังแสดง ขั้นตอนในภาพประกอบที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการศึกษาความแตกต่างของลวดทองแดงและลวดทองแดง

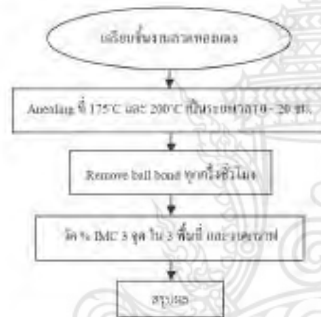
ขั้นตอนต่อไปคือการเตรียมชิ้นงานที่เป็นลวดทองแดงไป Annealing ที่อุณหภูมิ 175°C ที่ได้ศึกษาจากงานวิจัย [4] พบว่าจะช่วยให้ ชั้น IMC ของลวดทองแดงมีเพิ่มขึ้น ในครั้งนี้ จะศึกษาเพิ่มเติมที่อุณหภูมิ 200°C เพื่อทำการเปรียบเทียบ ความแตกต่างของระดับ IMC ที่ระยะเวลา 0 ชั่วโมง จนถึง 20 ชั่วโมง โดยจะทำการวัดระดับ IMC ที่ทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง โดยใช้เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) ดัง ภาพประกอบที่ 3

ภาพ ก-4 เอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562 หน้า 95



ภาพที่ 3 การวัดพื้นที่ IMC โดยเครื่อง SEM

ในแต่ละครั้งจะทำการวัด 3 จุดใน 3 พื้นที่ จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาวาดกราฟและทำการศึกษาค่าอนุกรมโต ส่งผลให้ระดับ IMC มีค่าเฉลี่ยและมากกว่า 60% และใช้เวลาเท่าไรแสดงขั้นตอนในภาพประกอบที่ 4



ภาพที่ 4 กระบวนการวิเคราะห์หาระดับ IMC ที่อุณหภูมิ 175°C และ 200°C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

การวัดระดับ IMC ที่อุณหภูมิ 175°C และ 200°C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง SEM ในการคำนวณพื้นที่สี่เหลี่ยมพื้นที่ที่มีการบอนด์ ในขณะที่สี่เหลี่ยมที่ไม่มี การบอนด์ได้ภาพประกอบที่ 5 และนำเข้าสู่ตารางผลการที่ (1) เพื่อหา %IMC ในแต่ละจุดที่ทำการทดลอง

$$\%IMC = \frac{(S_1 - S_2) \times 100}{S_1} \quad (1)$$

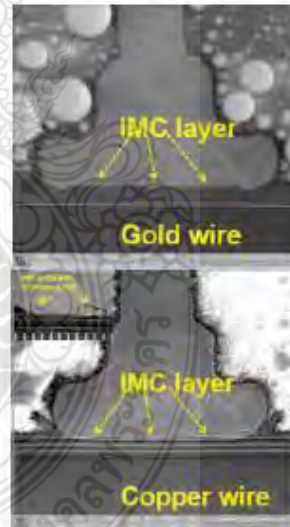
การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562






ภาพที่ 5 การวัดพื้นที่ที่มีการบอนด์ พื้นที่ที่ไม่มีการบอนด์ และพื้นที่ทั้งหมดของลูกบอลที่ประทับ

3. ผลการวิจัย (Results)

ผลของการ cross section ที่ 0 ชั่วโมง และตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM พบว่า โครงสร้างของลวดทองมีความแตกต่างกับลวดทองแดง โดย Aluminum pad จะหลอมรวมกับลวดทองในแนวตั้งโดยที่ไม่มีพื้นที่ที่เป็นจุดอ่อนและแสดงชั้น IMC อย่างชัดเจน ในขณะที่ลวดทองแดงพยายามจะหลอมรวมลงกับ Aluminum pad และแสดงชั้น IMC อย่างไม่ชัดเจนและบางกว่าเมื่อเทียบกับลวดทองแดงภาพประกอบที่ 6

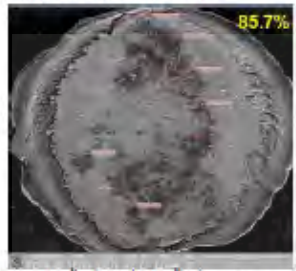


ภาพที่ 6 ความแตกต่างของโครงสร้างและการหลอมรวมกับ Aluminum pad ของลวดทองและลวดทองแดงโดยการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม  
นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562

แสดงการคำนวณที่จุดที่ 1 ในพื้นที่ 1 ของอนุภาคนิว  
175°C ที่เวลา 8.5 ชั่วโมง พื้นที่ทั้งหมดของลูกบอลที่ประทับ  
คือ 2311.17  $\mu\text{m}^2$  ในขณะที่ในรวมของพื้นที่ที่ไม่มีการบอบ  
คือ 339.32  $\mu\text{m}^2$  ดังแสดงในภาพที่ 7

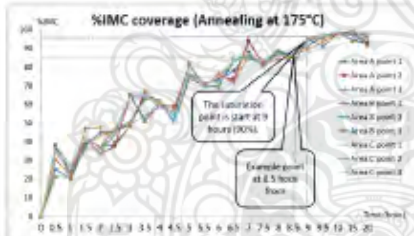


ภาพที่ 7 การวัดพื้นที่ จุดที่ 1 ในพื้นที่ 1 ของอนุภาคนิว  
175°C ที่เวลา 8.5 ชั่วโมง

นำค่าที่ได้จากการวัดมาคำนวณในสมการที่ (1) เพื่อหาค่า %IMC พร้อมทั้งแสดงจุดพอดกราฟในภาพที่ 8

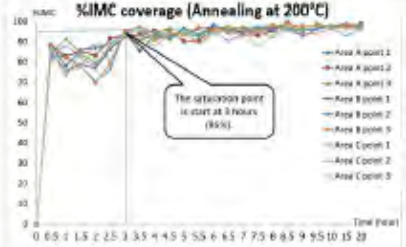
$$85.7\% = \frac{(2311.17 \mu\text{m}^2 - 339.32 \mu\text{m}^2) \times 100}{2311.17 \mu\text{m}^2} \quad (1)$$

นำ %IMC ของอนุภาคนิว 175°C ที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดมาวาดกราฟพบว่า การ Annealing ที่อนุภาคนิว 175°C จะทำให้ %IMC มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 60% จะเสถียรและมากกว่า 80% หลังจาก 9 ชั่วโมงดังภาพประกอบที่ 8



ภาพที่ 8 ผลการวัด %IMC ที่อนุภาคนิว 175°C จำนวน 3 จุด ใน 3 พื้นที่ โดยทำการวัดทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง

วาดกราฟของอนุภาคนิว 200°C พบว่าการ Annealing ที่อนุภาคนิว 200°C จะทำให้ %IMC มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 60% จะเสถียรและมากกว่า 80% หลังจาก 3 ชั่วโมงดังภาพประกอบที่ 9



ภาพที่ 9 ผลการวัด %IMC ที่อนุภาคนิว 200°C จำนวน 3 จุด ใน 3 พื้นที่ โดยทำการวัดทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

ความแตกต่างของวัสดุและองค์ประกอบระหว่างสวิตทงแดงและสวิตทงน้ำเงินซึ่งความแตกต่างของผลของการไวบอนด์ โดยสวิตทงจะทำการผสานกับ Aluminum pad ได้ดีกว่าเนื่องมาจากการใช้สวิตทงแดงซึ่งคล้ายกับงานวิจัยที่ได้ศึกษา [7] ที่กล่าวว่าการบ่มตัวกับ Aluminum pad ได้ดีกว่าสวิตทงแดง ดังนั้นการใช้สวิตทงในการผลิตจะมีโอกาสเกิดปัญหา Reliability ได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับสวิตทงแดงที่มีโอกาสเกิดการหลุดหรือขอยกจากชิปได้ง่ายกว่าเมื่อ IC ถูกทดสอบในกระบวนการต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า ความร้อน ความชื้น และความเร็ว การ Annealing IC ที่ 175°C ช่วยให้ระดับ IMC ของ IC เพิ่มขึ้นตามเวลาของการ Annealing ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่ตรงกันงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาร่วมกัน [4] อนุภาคนิวจะส่งผลให้ระดับ IMC เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และได้ค่าที่เสถียรและมากกว่า 80% โดยต้องใช้เวลารวม 9 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เข้าเส้นในไม่เหมาะสำหรับการผลิตที่ต้องเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย

การ Annealing IC ที่ 200°C ช่วยให้ %IMC ของ IC เพิ่มขึ้นตามเวลาเช่นกัน และสอดคล้องกับงานวิจัย [6] ที่ได้ศึกษาร่วมกัน อนุภาคนิวจะส่งผลให้ %IMC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเร็วกว่าอนุภาคนิว 175°C มาก ค่าที่ได้จะคงที่มากกว่า 80% ในเวลาที่เร็วที่สุดคือ 3 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เร็วและเหมาะสมกับการผลิตที่สุด เพราะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

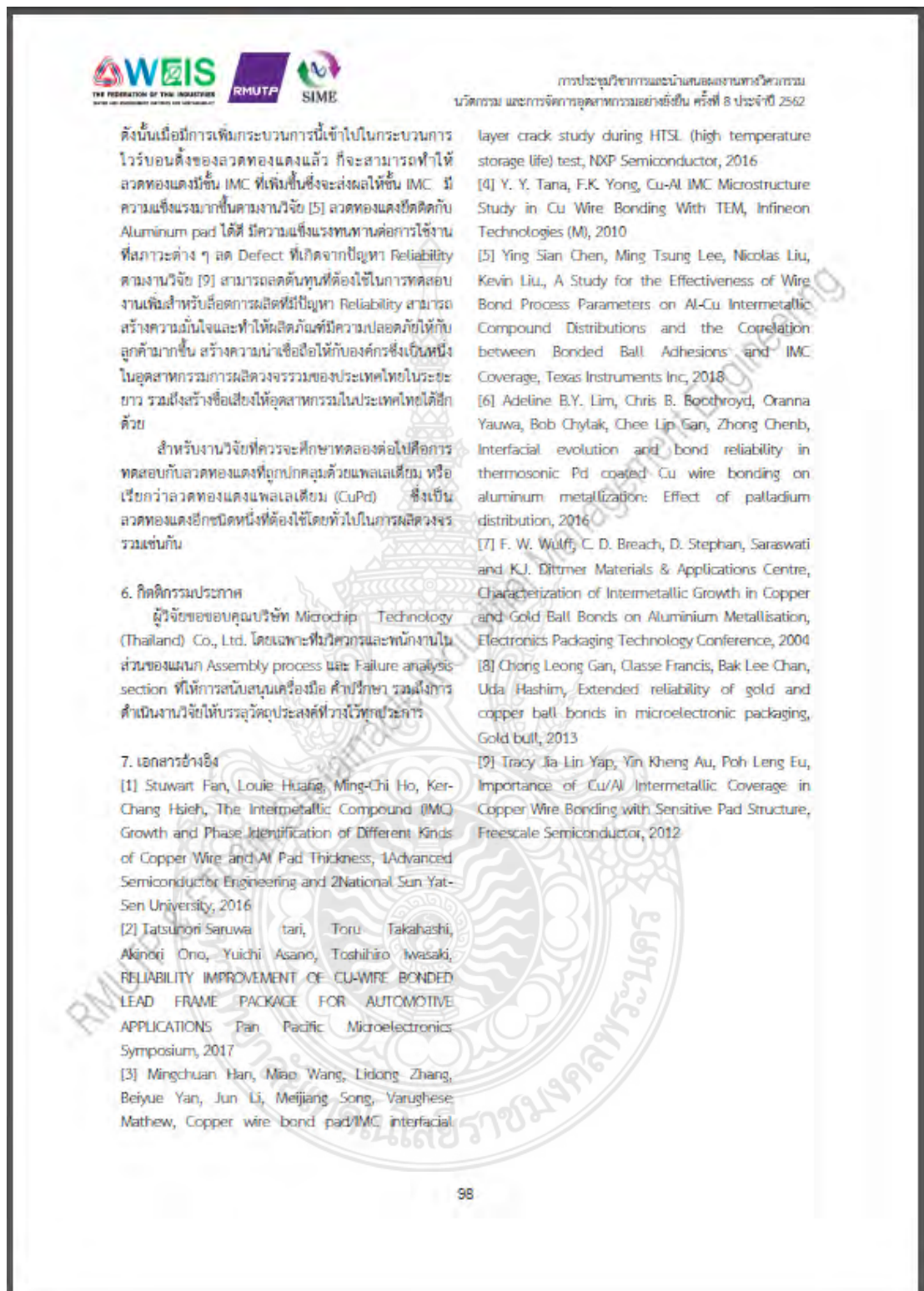
#### 5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าอนุภาคนิว 200°C เป็นอนุภาคนิวที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการเพิ่มระดับ IMC เพราะใช้เวลาน้อยที่สุดและได้ค่า IMC ที่เสถียรและมากกว่า 80% ซึ่งเป็นค่าระดับที่องค์กรต่างๆ (Microchip, UTAC, Stars Microelectronic, NXP, ASE, Amkor Technology และอื่น ๆ) ในภาคอุตสาหกรรมจะยอมรับกันโดยทั่วไป

97

ภาพ ก-6 เอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562 หน้า 97

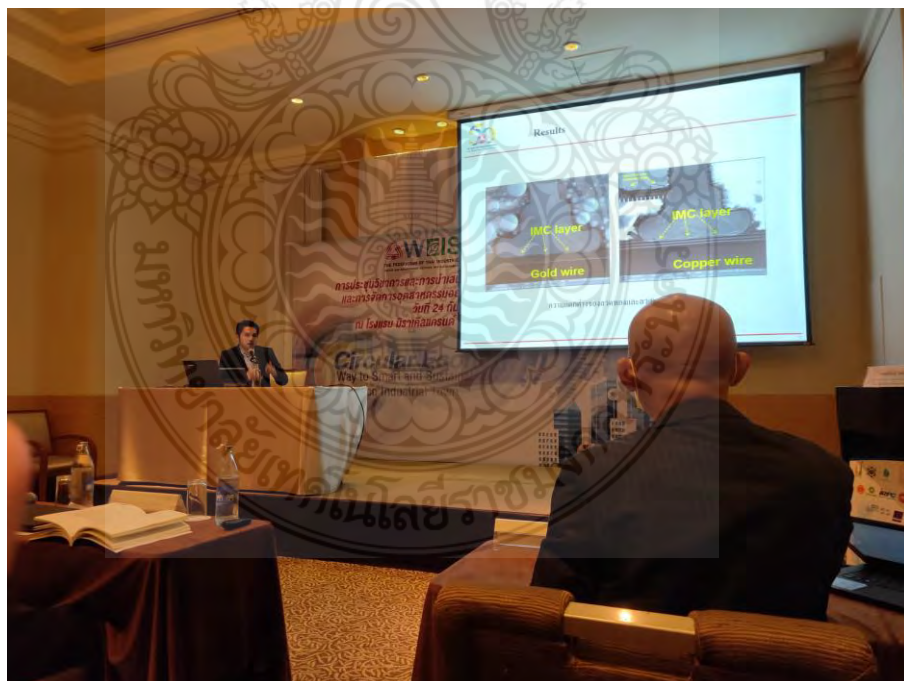




ภาพ ก-7 เอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการ  
จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562 หน้า 98



ภาพ ก-8 เกียรติบัตร การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562



ภาพ ก-9 ภาพถ่ายขณะนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562

**Plagiarism Checking Report**  
Created on Mar 2, 2020 at 14:23 PM

Submission Information

ID	SUBMISSION DATE	SUBMITTED BY	ORGANIZATION	FILENAME	STATUS	SIMILARITY INDEX
1535855	Mar 2, 2020 at 14:23 PM	APIRAT-M@rmutp.ac.th	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	Design of Experiment for Improving Wire Bonding Process of Integrated Circuit.pdf	Completed	0.44 %

Match Overview

NO.	TITLE	AUTHOR(S)	SOURCE	SIMILARITY INDEX
1	การวิเคราะห์ปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องจักรผลิตกระดาษ	เขาสัต อ่อนนุ่ม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	0.26 %
2	การตรวจสอบสาเหตุการหับลอคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันไอน้ำ เนื่องจากระดับความสั่นสะเทือนของแกนเพิ่มขึ้น, Investigation into nuisance tripping of steam turbine generator because of increasing amplitudes of shaft vibration.	สุชาติ จันทร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	0.17 %

ภาพ ก-10 อักษรวิสุทธิ



## ภาคผนวก ข

### บันทึก%IMC ของแต่ละอุณหภูมิในการทดลอง

หลังจากได้มีการทดลองใช้อุณหภูมิความร้อนในการ Baking ตัวผลิตภัณฑ์เพื่อให้มี %IMC ที่มากขึ้นโดยทำการเก็บข้อมูลทุกครั้งชั่วโมงของแต่ละอุณหภูมิ

ตาราง ข-1 บันทึก %IMC ทุกครึ่งชั่วโมงที่อุณหภูมิ 175 °C

Time (hour)	start	end	take sample out by	Decap	SEM	Area A			Area B			Area C		
						point 1	point 2	point 3	point 1	point 2	point 3	point 1	point 2	point 3
0	20.30	20.30	/	/	/	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	20.30	21.00	/	/	/	25.34	37.9	21.34	36.9	37.8	30.45	37.9	34.46	35.4
1	21.00	21.30	/	/	/	20.21	21.34	20.81	23.90	22.67	21.38	27.21	23.40	26.10
1.5	21.30	22.00	/	/	/	38.56	41.43	37.34	41.50	36.45	47.12	42.30	42.00	41.70
2	22.00	22.30	/	/	/	45.23	33.57	43.56	37.4	36.5	47.89	33.94	36.9	32.19
2.5	22.30	23.00	/	/	/	45.13	37.83	46.19	38.21	44.43	39.45	43.91	47.34	47.12
3	23.00	23.30	/	/	/	49.45	64.8	51.21	48.73	64.91	48.52	64.31	49.21	63.76
3.5	23.30	00.00	/	/	/	63.31	51.11	62.98	65.12	52.34	66.91	65.71	54.21	64.17
4	00.00	00.30	/	/	/	60.31	59.98	61.21	61.93	62.11	61.12	59.21	58.19	59.98
4.5	00.30	01.00	/	/	/	51.45	59.12	51.38	50.34	53.89	57.21	52.12	55.97	49.99
5	01.00	01.30	/	/	/	75.34	80.91	74.32	73.95	80.98	82.22	75.93	81.65	77.71
5.5	01.30	02.00	/	/	/	71.12	70.01	69.87	70.12	69.21	70	71.98	69.99	68.99
6	02.00	02.30	/	/	/	73.21	74.99	69.21	74.45	70.32	76.31	71.91	74.98	75.15
6.5	02.30	03.00	/	/	/	78.21	73.93	84.32	84.19	83.21	71.91	84.11	71.93	83.91
7	03.00	03.30	/	/	/	87.93	94.14	84.32	86.65	85.68	86.21	84.94	92.84	87.32
7.5	03.30	04.00	/	/	/	80.12	81.11	82.19	81.19	81.91	83.11	82.12	81.19	80.01
8	04.00	04.30	/	/	/	89.12	87.98	88.51	88.21	87.12	83.95	89.23	86.98	87.45
8.5	04.30	05.00	/	/	/	85.7	86.29	85.98	81.93	87.12	85.98	86.12	85.91	85.11
9	05.00	05.30	/	/	/	95.21	94.98	94.98	95.21	91.34	89.65	96.01	96.12	94.76
9.5	05.30	06.00	/	/	/	91.23	96.98	95.98	97.11	97.45	93.45	96.89	95.98	97.11
10	06.00	06.30	/	/	/	98.12	98.34	98.88	98.45	98.71	98.45	98.33	98.31	95.57
15	06.30	11.30	/	/	/	97.34	98.56	94.24	94.89	98.78	98.45	95.32	98.11	98.55
20	11.30	16.30	/	/	/	93.34	93.23	96.45	92.43	96.34	91.29	97.32	97.45	98.01

จากตาราง ข-1 %IMC จะเริ่มคงที่หลังจาก Baking 9 ชั่วโมง

ตาราง ข-2 บันทึก %IMC ทุกครึ่งชั่วโมงที่อุณหภูมิ 200°C

Time (hour)	start	end	Area A			Area B			Area C		
			point 1	point 2	point 3	point 1	point 2	point 3	point 1	point 2	point 3
0	20.30	20.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	20.30	21.00	88.46	88.38	84.17	84.49	81.99	87.01	86.26	83.85	88
1	21.00	21.30	78.01	82.84	91.84	75.59	82.98	81.98	72.92	88.24	75.71
1.5	21.30	22.00	86.04	85.39	84.00	78.98	77.86	77.70	85.77	81.96	76.90
2	22.00	22.30	87.16	83.07	79.77	76.77	70.3	69.71	88.7	77.77	88.83
2.5	22.30	23.00	88.9	91.59	86.41	86.68	76.21	79.53	80.51	88.45	88.68
3	23.00	23.30	94.59	93.57	95.16	92.53	95.63	95.63	94.2	94.36	93.58
3.5	23.30	00.00	85.42	93.24	90.78	93.33	95.2	97.33	97.4	93.04	95.83
4	00.00	00.30	93.4	95.53	93.96	91.48	94.6	91.06	94.84	87.84	90.82
4.5	00.30	01.00	91.7	95.74	96.89	94.78	91.67	93.11	93.73	93.54	94.78
5	01.00	01.30	96.8	90.39	94.3	93.58	94.63	94.1	95	94.97	94.24
5.5	01.30	02.00	93.5	90.15	92.5	96.6	92.7	97.39	92.8	88.98	94.49
6	02.00	02.30	98.34	97.04	97.12	97.27	97.6	95.79	94.47	94.73	92.51
6.5	02.30	03.00	95.11	96.47	94.82	97.24	96.46	97.29	90.57	95.09	96.97
7	03.00	03.30	96.53	94.14	93.4	94.32	97.4	96.92	93.73	92.84	95.64
7.5	03.30	04.00	94.27	93.04	95.29	97.06	97.31	95.9	94.96	94.63	87.72
8	04.00	04.30	96.97	95.53	98.08	97.02	97.67	98.06	95.72	91.98	93.23
8.5	04.30	05.00	99	99.39	97.53	97.93	96.03	98.54	95.7	97.39	98.57
9	05.00	05.30	95.96	95.91	95.23	92.5	96.03	97.86	93	93.47	96.33
9.5	05.30	06.00	96.33	98.21	99.13	96.83	98.23	98.11	96.06	94.27	97.69
10	06.00	06.30	97.72	97.21	97.1	96.92	97.89	97.5	97.6	96.12	97.45
15	06.30	11.30	99.12	97.43	98.96	97.36	96.79	97.61	92.63	99.16	96.68
20	11.30	16.30	96.86	98.73	97.72	99.12	98.94	95.99	96.96	96.47	96.52

จากตาราง ข-2 %IMC จะเริ่มคงที่หลังจาก Baking 3 ชั่วโมง

## ภาคผนวก ค

### กลุ่มตัวอย่างทดลองทางสถิติ

ตาราง ค-1 บันทึก %IMC ที่อุณหภูมิ 150°C ที่ระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้กับอุณหภูมิอื่น ๆ

Temperature (°C)	Time (Hrs)	%IMC (1)	%IMC (2)	%IMC (3)
150	2	25	26.5	24.19
150	3	32.91	34.85	33.66
150	4	32.91	34.85	33.66
175	2	40.78	40.59	34.34
175	3	55.15	54.05	59.09
175	4	60.5	61.72	59.12
200	2	83.33	72.26	85.1
200	3	94.44	94.59	94.04
200	4	94.29	92.38	91.16

จากตาราง ค-1 เมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิ 150°C กับอุณหภูมิอื่นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่าก็ทำให้เกิด %IMC ได้ช้ากว่าเช่นกัน

การคำนวณการเจริญเติบโตของชั้น IMC เปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยมีปัจจัย เรื่องของอุณหภูมิ (°C) เวลา (Hour) เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยใช้โปรแกรมในการหาความสัมพันธ์และมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1) ตั้งสมมติฐาน

การวิเคราะห์โดยตาราง ANOVA แล้ว โดยดูที่ค่า P-Value ของแต่ละตัวแปร

Ho : ค่าเฉลี่ยของ %IMC อันเนื่องมาจากอุณหภูมิและเวลาที่ได้ ไม่แตกต่างกัน

$$Ho : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

Ha : ค่าเฉลี่ยของ %IMC อันเนื่องมาจากอุณหภูมิและเวลาที่ได้แตกต่างกัน อย่าง

น้อย 1 คู่

Ha : At least two  $\mu$ 's are different

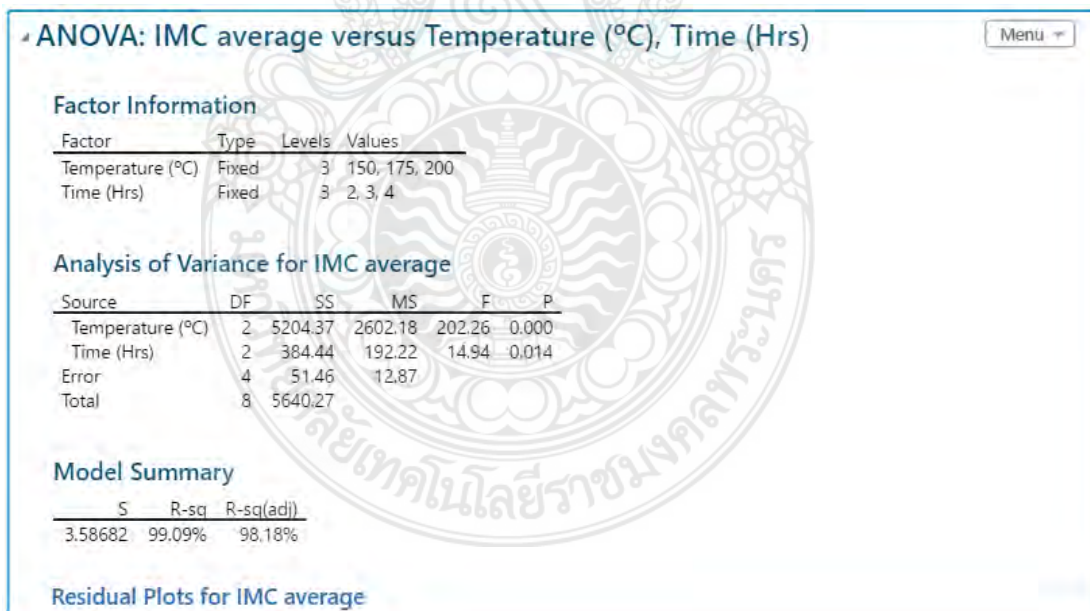
2) กำหนดระดับนัยสำคัญ (Significant level) กำหนด  $\alpha = 0.05$

3) นำข้อมูลที่ใส่โปรแกรม ทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณ

ตารางที่ ค-2 แสดงการนำข้อมูลที่ใส่ในโปรแกรม

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	Temperature (°C)	Time (Hrs)	%IMC (1)	%IMC (2)	%IMC (3)	IMC average
1	150	2	25.00	26.50	24.19	25.2300
2	150	3	32.91	34.85	33.66	33.8067
3	150	4	32.91	34.85	33.66	33.8067
4	175	2	40.78	40.59	34.34	38.5700
5	175	3	55.15	54.05	59.09	56.0967
6	175	4	60.50	61.72	59.12	60.4467
7	200	2	83.33	72.26	85.10	80.2300
8	200	3	94.44	94.59	94.04	94.3567
9	200	4	94.29	92.38	91.16	92.6100

สรุปเป็น ANOVA Table ได้ดังนี้



ภาพ ค-1 แสดงการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม

#### 4) วิเคราะห์ผลตามตาราง ANOVA

การพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง Error กับ Total โดยดูผ่านค่า  $SS(\text{Error})$  เทียบกับ  $SS(\text{Total})$

จากตาราง ANOVA

$$\text{ค่า } SS(\text{Error}) = 51.46$$

$$\text{ค่า } SS(\text{Total}) = 5640.27$$

ค่า  $SS(\text{Error})$  จะมีค่าเพียงน้อยนิด เมื่อเทียบกับ  $SS(\text{Total})$  แสดงว่าในการทดลองครั้งนี้มีการควบคุมผลกระทบจากตัวแปรภายนอกอื่น ๆ ทำได้ดีมาก ค่า Variation ที่เห็นส่วนมากจึงเกิดจากการเปลี่ยนค่าของ Factor ในการทดลองเอง ดังนั้นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์นั้น ย่อมมีความแม่นยำสูง และยอมรับได้ ถือเป็น Data qualify และสามารถสรุปผลการทดสอบสมมติฐานได้

พิจารณา  $SS$  ของ Factor Temperature จะเห็นว่ามีค่ามากกว่า Time มาก ความหมายก็คือ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าของ Temperature โดยสนใจ Time เท่าเดิม ขณะทดลอง จะเกิดผลกระทบต่อ %IMC มากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่า Time เมื่อ Temperature เท่าเดิม

#### 5) สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

จากการตั้งสมมติฐานที่ผ่านมา

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของ %IMC อันเนื่องมาจากอุณหภูมิและเวลาที่ได้ ไม่แตกต่างกัน

$H_a$ : ค่าเฉลี่ยของ %IMC อันเนื่องมาจากอุณหภูมิและเวลาที่ได้แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

จากตาราง ANOVA สรุปได้ว่า ทั้ง Temperature และ Time ต่างก็มีผลทำให้ค่า %IMC ที่เพิ่มขึ้นได้แตกต่างกัน เพราะ ค่า P-value ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า Significant level ( $\alpha$ ) ก็ทำให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) หมายความว่า การใช้ Temperature มากหรือน้อย ก็ทำให้ %IMC มากหรือน้อยตามไปด้วย เช่นเดียวกัน ถ้ามี Time เกี่ยวข้องด้วย ก็จะมีส่วนทำให้ %IMC เพิ่มขึ้นไปอีกได้เหมือนกัน

ในขณะที่ความสัมพันธ์กันระหว่าง Temperature กับ Time กลับไม่มีผลต่อ %IMC ที่ได้ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะทั้ง Temperature และ Time ต่างก็มีผลต่อ %IMC ไปในทิศทางเดียวกัน จึงไม่เกิดจุดตัดกันหรือความสัมพันธ์กันระหว่างนั่นเอง

#### 6) การวิเคราะห์ Main Effect

เมื่อเราสรุปผลการทดสอบสมมติฐานนั้น จะมองเห็นภาพหรือผลกระทบจากแต่ละ Factor ได้ยาก การวิเคราะห์ Main Effect จะสามารถทำให้มองเห็นภาพดังกล่าวได้ง่ายขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ Main effect : Time เราก็จะถือว่า Temperature ซึ่งเป็นอีก Factor หนึ่งเป็น



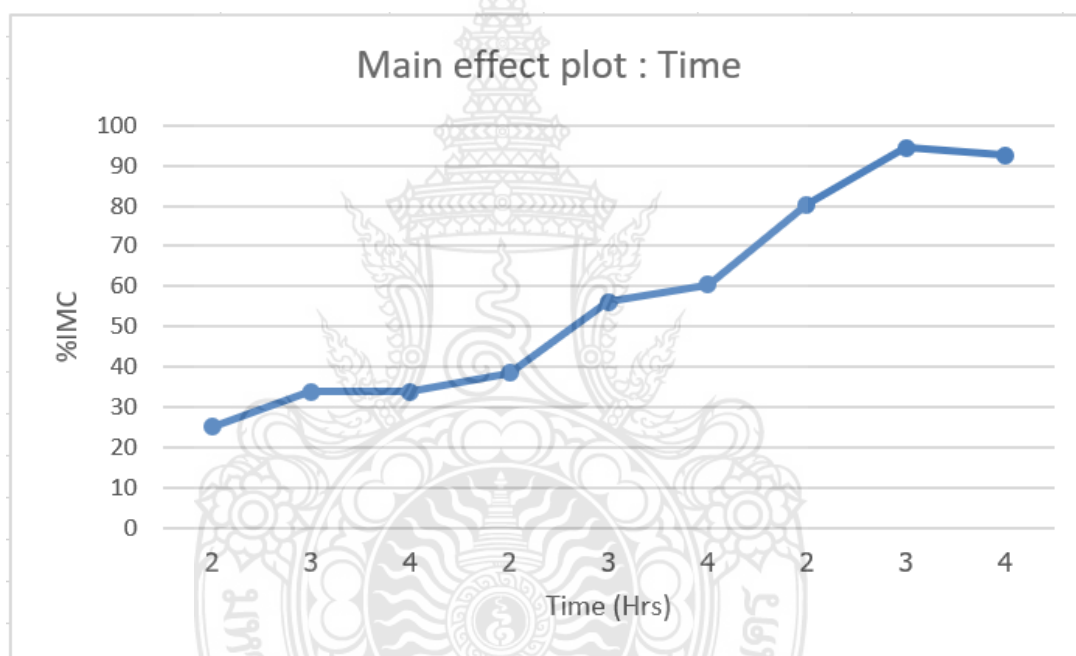
Random variation ให้เฉลี่ยค่าที่เกิดจากทุก Temperature factor ที่แต่ละค่าของ Main Effect : Time ที่กำลังสนใจ ในทางกลับกัน เมื่อเราทำการวิเคราะห์ Main effect : Temperature เราก็จะถือว่า Time ซึ่งเป็นอีก Factor หนึ่งเป็น Random variation ให้เฉลี่ยค่าที่เกิดจากทุก Time factor ที่แต่ละค่าของ Main Effect : Temperature นั้น เช่นกัน

Main effect: Time คือ

$$2 \text{ Hrs.} \quad \text{Effect} = (25.23+38.57+80.23) / 3 = 48.01 \%$$

$$3 \text{ Hrs.} \quad \text{Effect} = (33.80+56.09+94.35) / 3 = 61.51 \%$$

$$4 \text{ Hrs.} \quad \text{Effect} = (33.80+60.44+92.61) / 3 = 62.28 \%$$



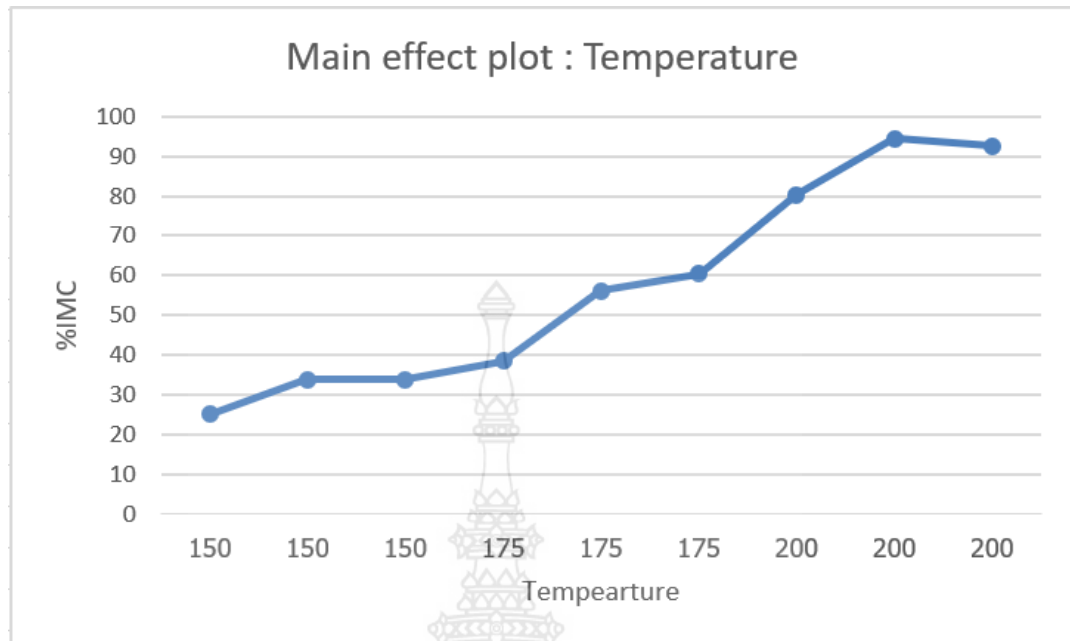
ภาพ ค-2 แสดงการพล็อต Main effect : Time

Main effect: Temperature คือ

$$150^{\circ}\text{C} \quad \text{Effect} = (25.23+33.80+33.80) / 3 = 48.01 \%$$

$$175^{\circ}\text{C} \quad \text{Effect} = (38.57+56.09+60.44) / 3 = 71.37 \%$$

$$200^{\circ}\text{C} \quad \text{Effect} = (80.23+94.35+92.61) / 3 = 89.06 \%$$



ภาพ ค-3 แสดงการพล็อต Main effect : Temperature

ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการ Annealing มีผล (Effect) ต่อ %IMC มากกว่า การเปลี่ยนแปลง Time นั้นเอง นอกจากนี้ เมื่อเราทำการพล็อต Main effect ก็จะทำให้เห็นว่า ผลกระทบ ระหว่างปัจจัย Temperature กับ Time จะมีผลต่อ ต่อ %IMC ในทิศทางเดียวกันคือ Temperature เพิ่มขึ้น %IMC ก็จะเพิ่มขึ้น เมื่อ Time เพิ่มขึ้นก็ %IMC ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน



## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

- 1 วัตถุประสงค์
  - 1.1 เพื่อกำหนดข้อปฏิบัติสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูงแบบส่องกวาด (Scanning Electron microscope) และ อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบ (Energy Dispersive X-ray)
- 2 ขอบเขต
  - 2.1 คู่มือนี้ใช้สำหรับกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาดและอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบรุ่น ;
    - 2.1.1 FEI Quanta 200
    - 2.1.2 FEI Nova NanoSEM 400
- 3 เอกสารอ้างอิง
  - 3.1 FEI Quanta 200 User's Operation Manual
  - 3.2 FEI Nova NanoSEM 400 User's Operation Manual
  - 3.3 SPI-91034 Measurement System Analysis (MSA)
- 4 แบบฟอร์ม
 

N/A
- 5 วัสดุและอุปกรณ์
  - 5.1 Sample
  - 5.2 Tweezers
  - 5.3 Liquid nitrogen
  - 5.4 Snubs
  - 5.5 Carton adhesive discs
  - 5.6 กระจก 6 แฉก (Hex)
  - 5.7 Carbon tape
  - 5.8 Filament
  - 5.9 ถุงมือ
  - 5.10 SEM calibration gauge
- 6 การสอบเทียบ (calibration) และการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)
  - 6.1 การสอบเทียบความถูกต้องของระยะวัด โปรแกรมจะถูกลบเทียบทุก ๆ การทำ preventive maintenance (1x per year) ข้อมูลจะถูกบันทึกในรายงานการทำ PM ประจำปี
  - 6.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) โปรแกรมจะถูกลบทำการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยความถี่ 1 ครั้งต่อปี บันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์มอ้างอิงตามเอกสาร SPI-91034

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	2 of 19	PI-91166B	F

ภาพ ง-2 เครื่องมือ SEM และการใช้งาน หน้า 2 โดยบริษัทไมโครชิพ เทคโนโลยี ไทยแลนด์

## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

### 7 ข้อกำหนดและวิธีปฏิบัติงาน FEI Quanta 200



รูปที่ 1

#### 7.1 การเปิดเครื่อง

7.1.1 เปิด EDX Controller, Microscope CPU และ Supporting CPU ตามลำดับ


7.1.2 กด Switch box หมายเลข 1 เพื่อใช้ CPU ของ Microscope

7.1.3 เปิด computer ของ SEM และรอสจนกระทั่ง log on Windows system เรียบกษา password

Username: Supervisor

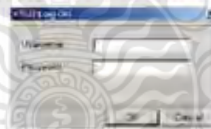
Password: Supervisor

7.1.4 ขณะนี้ได้ log in เข้าสู่หน้าจอ Windows และผู้ใช้จะเริ่มเข้าสู่การทำงานใน mode microscope ให้

กด power on ที่ microscope 

7.1.5 ที่ Windows ให้ Double click ที่ icon XT microscope server 

7.1.6 เครื่องจะเข้าสู่ XTM log on และถามหา Username และ Password อีกครั้ง



Username: Supervisor

Password: Supervisor

รูปที่ 2

7.1.7 Click start Microscope ขณะนี้เครื่องจะเริ่มทำการเตรียมระบบ สำหรับการใช้งาน (เครื่องจะทำการ Home stage ให้ click "Yes")

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-35001-001 Rev. B	3 of 19	PI-91166B	F

ภาพ ง-3 เครื่องมือ SEM และการใช้งาน หน้า 3 โดยบริษัทไมโครชิพ เทคโนโลยี ไทยแลนด์


## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 3

### 7.2 การปิดเครื่อง

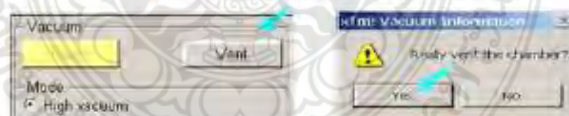
- 7.2.1 สถานะ Chamber จะต้องอยู่ที่ Close เสมอ และห้ามทิ้งชิ้นงานตัวอย่างไว้ใน Chamber
- 7.2.2 Click ปัด HV ที่ Start up page (HV จะ ไม่แสดงแถบสีเมื่อ ปิด)
- 7.2.3 เลือก File และ เลือก Exit เพื่อออกจาก Program
- 7.2.4 Double click ที่ xT microscope server 
- 7.2.5 Click "Shut down" ขณะนี้เครื่องจะทำการปิดตัวเอง ไฟที่ปุ่ม Power on ของ scope จะดับเองอัตโนมัติ
- 7.2.6 ปิด computer โดยเริ่มจาก EDX controller , Microscope CPU, และ Supporting CPU, ตามลำดับ



รูปที่ 4

### 7.3 การ ใส่และการนำชิ้นงานตัวอย่าง ออกจาก chamber

- 7.3.1 เพื่อต้องการใส่ชิ้นงาน ให้ click "Vent" ที่ Start up page (เช็ค HV ต้องอยู่ สถานะ off) จากนั้น Click ที่ Yes เมื่อ dialogue ถามว่า Really Vent The Chamber?



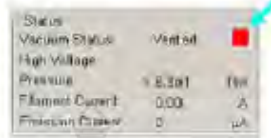
รูปที่ 5

- 7.3.2 ให้ผู้ใช้รอไฟสถานะของ Vacuum เปลี่ยนเป็นสี แดง

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	4 of 19	PI-91166B	F



## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

### คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

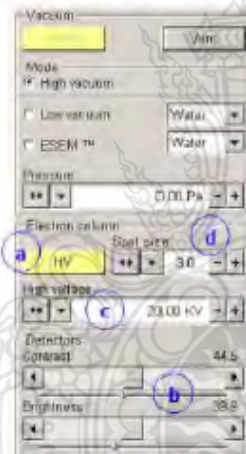


รูปที่ 6

- 7.3.3 ตั้งค่า Chamber และ ใส่ Sample ที่ Specimen chamber ระวังชิ้นงานชนกับ คับปลาย Column ของกล้อง
- 7.3.4 ปิด chamber โดยไม่ผลักค่า chamber รุนแรง เพราะแรงอัดจากการปิดอาจทำให้ detector ภายใน Chamber เสียหายได้

7.3.5 Click "Pump"  ที่ start up page เพื่อทำสุญญากาศใน column และรอไฟสถานะของ Chamber เปลี่ยนเป็นสีเขียว 

#### 7.4 การ inspection และการปรับความคมชัดของภาพ



a. Click "HV" on เพื่อเริ่มการทำงาน

b. ปรับ Contrast หรือ Brightness

c. ตั้งหรือลด Voltage

d. ตั้งหรือลด Spot size

e. ตั้งหรือปรับ Focus ของภาพโดยกรอก ค่า number ที่ด้านขวาข้างไว้ แล้วกด mouse ไปตำแหน่ง ขวา หรือ ซ้าย บน โดเมน ที่ตั้งที่ถูกต้อง

f. ออหรือขยายภาพ โดยใช้เครื่องมือ - หรือ + ที่ Key board

g. เลื่อนชิ้นงานตัวอย่างในแกน X หรือ Y หมุน หรือ ปรับระดับความสูงต่ำ โดยผู้ใช้งานปรับได้ที่ Stage Control (อยู่ด้านหลัง Chamber)

Note : หลังจากใช้งาน จะต้องปิด HV เสมอ และห้ามทิ้งชิ้นงานใน Chamber

รูปที่ 7

7.5 การ ใช้งาน ใน mode "High" และ "Low" Vacuum ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนสภาพ Vacuum ได้ 2 ลักษณะ

7.5.1 เลือกการทำงานที่ HI VACUUM mode (สถานะปัจจุบันอยู่ที่ LOW VAC mode)

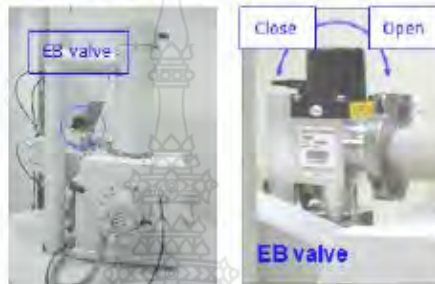
7.5.1.1 เพื่อความปลอดภัยของ COLUMN ให้ vent ระบบ VACUUM โดยการปิด "HV" จากนั้นเลือก "VENT"

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	5 of 19	PI-91166B	F


## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

### คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



- 7.5.1.2 เมื่อไฟสถานะเปลี่ยนเป็นสีแดงให้เลือก  Highvac จากนั้นจึง Click
- 7.5.1.3 ระบบจะบอกให้ผู้ใช้ปิด EB valve
- 7.5.1.4 ให้ผู้ใช้ปิด EB valve ตามทิศทางในรูปและรอไฟสถานะของ Chamber เปลี่ยนเป็นสีเขียวจึงเริ่มทำงานใน inspection mode ได้ (ระบบจะเปลี่ยนdetector เป็น Everhart Thornley-SE ให้อัตโนมัติ)



รูปที่ 8

- 7.5.2 เลือกการทำงานที่ LOW VACUUM mode (สถานะปัจจุบันอยู่ที่HIGH VAC mode)
- 7.5.2.1 เพื่อความปลอดภัยของ COLUMN ให้ vent ระบบ VACUUM โดยการเปิด "HV" จากนั้นเลือก "VENT"
- 7.5.2.2 เมื่อไฟสถานะเปลี่ยนเป็นสีแดงให้เลือก  Low vacuum จากนั้นจึง Click
- 7.5.2.3 ระบบจะบอกให้ผู้ใช้ปิด EB valve
- 7.5.2.4 ให้ผู้ใช้ปิด EB valve ตามทิศทางแสดงในหัวข้อ 6.5.1.4 และรอไฟสถานะของ Chamber เปลี่ยนเป็นสีเขียวจึงเริ่มทำงานใน inspection mode ได้
- 7.5.3 ขั้นตอนการถ่ายภาพ
- 7.5.3.1 เมื่อได้ภาพที่คมชัดแล้วให้กด  ที่ Tool Bar หรือกด F2 เครื่องจะทำการ scan ภาพอย่างละเอียด เลือก Save as ที่ File menu
- 7.5.3.2 ใส่ชื่อ file และกด SAVE

## 7.6 การวัดขนาด



- 7.6.1 เปิดโปรแกรมการวัด โดย double click ที่ XT document icon 
- 7.6.2 ที่ microscope เมื่อผู้ใช้ปรับความคมชัดของภาพที่เรียบร้อยแล้วให้ click 

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	6 of 19	PI-91166B	F



## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

- 7.6.3 ที่ XT document ให้ดึงภาพจาก SEM โดยการ click ที่ Snap short  ภาพจะถูกดึงเข้าสู่ mode การวัดขนาด
- 7.6.4 เลือกรูปแบบการบอกขนาดได้ที่ Measure (pull down menu)
- 7.6.5 เลือก File และ Save เพื่อบันทึกภาพ
- 7.7 การใช้งานใน mode EDX
- 7.7.1 Double click EDX Digital Control SW 
- 7.7.2 ค่า CPS และ DT ทำการปรับ Spot size กับ Hi vac เพื่อให้ได้ค่า DT อยู่ระหว่าง 30-35 และ CPS อยู่ระหว่าง 2000-10000 โดยใช้ Alt+Tab เพื่อเลือก mode การใช้ระหว่าง Microscope กับ EDX
- 7.7.3 เข้า Menu peak id panel แล้ว Click delete all จากนั้นทำการ Clear spectrum
- 7.7.4 ทำการ Start EDX Collection รอ count จนเสร็จ (50 sec) แล้ว Click Auto
- 7.7.5 กราฟที่ได้จะประกอบด้วย Peak element กับ Possible element ทำการ Delete element ที่ไม่ต้องการออก
- 7.7.6 Click ที่ Peak fit ในกรณีที่ต้องการทราบอัตราส่วนแต่ละ Element(ธาตุ) ให้ click ที่ Quantify Spectrum
- 7.7.7 Click save as เพื่อทำการเก็บภาพ
8. ข้อกำหนดและวิธีปฏิบัติงาน FEI Nova NanoSEM 400



### 8.1 การเปิด เครื่อง

- 8.1.1 เปิด Cooling water รอจนกระทั่งอุณหภูมิอยู่ที่ 17 องศา C

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	7 of 19	PI-91166B	F

ภาพ ง-7 เครื่องมือ SEM และการใช้งาน หน้า 7 โดยบริษัทไมโครชิพ เทคโนโลยี ไทยแลนด์

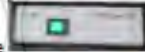
## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

### คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

- 8.1.2 เปิด EDX CPU, Support CPU และ Microscope CPU ตามลำดับ กระทั่ง log on Windows system  
เรียกหา User name และ Password

Username: Supervisor

Password: Supervisor



- 8.1.3 กด power on ที่ microscope

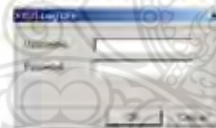
- 8.1.4 Double click ที่ xT microscope server เพื่อเปิด Software ในระหว่างนี้ Monitor จะแสดงสถานะการทำงาน ให้รอนกระทั่งไฟสถานะเปลี่ยนเป็นสีเขียว ทุก Step (1)

- 8.1.5 Click "Start" (2) จากนั้น Click "Start UI" (3)



รูปที่ 10

- 8.1.6 เครื่องจะเข้าสู่ XTUI log on และค้นหา Username และ Password อีกครั้ง



Username: Supervisor

Password: Supervisor

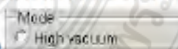
รูปที่ 11

- 8.1.7 ขณะนี้ระบบพร้อมใช้งาน

## 8.2 การเปิด เครื่อง

- 8.2.1 ปิด HV ที่ Start up page (ห้ามตั้งขึ้นจนตัวอย่างไร้ใน Chamber)

- 8.2.2 เปลี่ยน Vacuum mode เป็น High Vacuum



- 8.2.3 ที่ File เลือก Exit

- 8.2.4 ที่ Windows ให้ Double click ที่ xT microscope server และ click ที่ "Shut down" (1)

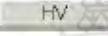
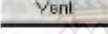
THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	8 of 19	PI-91166B	F

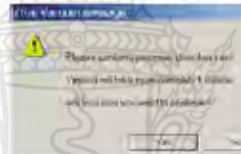
## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน





รูปที่ 12

- 8.2.5 ปิด EDX CPU, Support CPU และ Microscope CPU ตามลำดับ
- 8.2.6 ปิดระบบ Cooling Water
- 8.3 การ ใส่และการนำชิ้นงานตัวอย่าง ออกจาก chamber
  - 8.3.1 Click HV off 
  - 8.3.2 Click "Vent"  ที่ Start up page จากนั้น Click " Yes " ที่ dialog box .



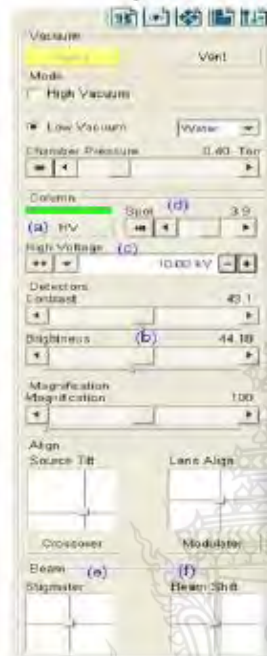
รูปที่ 13

- 8.3.3 ขณะนี้เครื่องจะทำการ Vent ให้รอนกระทั้ง ไฟสถานะ ของ Chamber เปลี่ยนเป็นสีเทา 
- 8.3.4 เปิดฝา Chamber และ ใส่งาน (จะต้องสวมถุงมือปลอดฝุ่นทุกครั้ง)
- 8.3.5 ปิดฝา Chamber และ Click "Pump"
- 8.3.6 ขณะนี้เครื่องจะทำการ Vent ให้รอนกระทั้ง ไฟสถานะ ของ Chamber เปลี่ยนเป็นสีเขียว   
หมายถึงสถานะพร้อมใช้งาน
- 8.4 การ inspection และการปรับความคมชัดของภาพ
  - 8.4.1 ผู้ใช้สามารถปรับคุณภาพของภาพขั้นพื้นฐาน โดยใช้คำสั่งที่ Main Menu หรือ ใช้ Manual User Interface (MUI)

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED: It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-35001-001 Rev. B	9 of 19	PI-91166B	F

**OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)**

**คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน**



- Main Menu
- Click HV on (อนุบหัว) จะเปลี่ยนเป็น (อิเล็กตรอน)
  - ปรับ Contrast และ Brightness
  - เพิ่มหรือลด Voltage
  - เพิ่มหรือลด Spot size
  - ปรับ Stigmator เพื่อแก้ไขความบิดเบี้ยวของภาพ ฝึกทำเมื่อใช้กำลังของมากกว่า 3000 เท่า (อ่านเพิ่มเติมที่ Use manual)
  - ปรับ Basec สลัก เพื่อเทียบตำแหน่งตัว electron กระจก พบกับชิ้นงาน
- ตัวอย่าง
- ใช้ปุ่มการปรับ Focus ของภาพโดยการ กด menu ที่ด้านขวาตั้งไว้ แล้วคลิก coarse ไปด้าน ขวา หรือ ด้าน ขวา ได้ภาพที่ชัดที่สุด
- Note หากมีจาก ใช้รวม จะ ต้องปิด HV ก่อนและห้ามทิ้งชิ้นงานใน Chamber

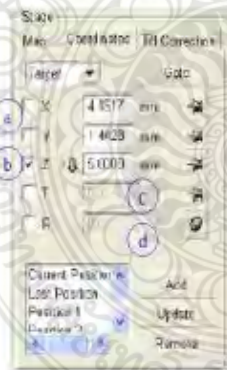


รูปที่ 14

**8.4.2 การปรับตำแหน่งชิ้นงาน การปรับตำแหน่งชิ้นงานใน Chamber สามารถปรับได้**

จากการ

ใส่ค่าที่ Stage control Menu



- ปรับน้อย ส่วนบนล่าง ซ้าย หรือขวา โดยภาพ ใสค่าที่ X หรือ Y
  - ปรับความ สูง/ต่ำของ Stage โดยกดที่ค่าที่ "Z" \*\*\* หากต้องการ Set ระยะ น้อยกว่า 5 mm ต้องระ วังชิ้นงานชนกับ เลนส์
  - ปรับเอียง stage โดยการ ใสค่าที่ "T"
- \*\*\* หากต้องการตั้งชิ้นงานบนตัวปรับระดับชิ้นงาน ให้ยึดตัวกว่าเลนส์มาก ก่อน
- หมุนชิ้นงาน โดยกดที่ค่าที่ "R"

รูปที่ 15

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.	Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	10 of 19	PI-91166B F


## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)


คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

### 8.5 การใช้งานใน mode "High" และ "Low" Vacuum

ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนสภาพ Vacuum โดยการ Vent Chamber และเปลี่ยนสถานะ Vacuum ไปที่ Low หรือ High ตามขั้นตอนดังนี้

8.5.1 เพื่อความปลอดภัยของ COLUMN ให้ vent ระบบ VACUUM โดยการปิด "HV" จากนั้นเลือก "VENT"


8.5.2 ไฟสถานะ ของ Chamber เปลี่ยนเป็นสีเทา 

8.5.3 Click ที่ Low หรือ High vacuum (a) Click ที่ Pump (b) และรอนจนกระทั่งไฟสถานะเป็นสีเขียว 



รูปที่ 16

### 8.6 ขั้นตอนการถ่ายภาพ


8.6.1 เมื่อได้ภาพที่คมชัดแล้วให้กด  ที่ Tool Bar หรือกด F2 เครื่องจะทำการ scan ภาพอย่างละเอียด


8.6.2 เลือก Save as ที่ File menu

8.6.3 ใส่ชื่อ file และกด SAVE

### 8.7 การวัดขนาด โดยใช้ Scandium software

8.7.1 Double click ที่  เพื่อเปิด Software

8.7.2 ที่ Microscope เมื่อปรับความคมชัดของภาพเรียบร้อยแล้วให้ Click 

8.7.3 ที่ "Scandium" ให้ Click ที่ Snapshot  เพื่อ load ภาพจาก Microscope

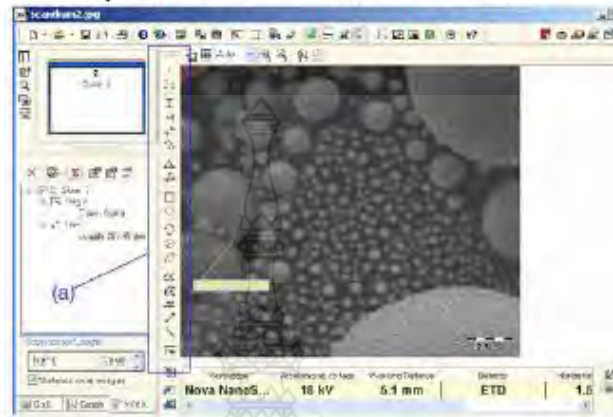
8.7.4 เลือกรูปแบบในการบอกขนาดโดย Click ที่ Menu ด้านซ้าย (a)

8.7.5 หากต้องการ Save รูปพร้อมการบอกขนาด ให้ save เป็น File .jpg เท่านั้น

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	11 of 19	PI-91166B	F

## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

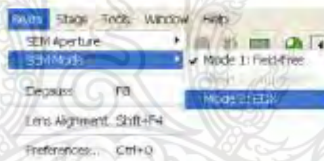
คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน




รูปที่ 17

8.8 การใช้งานใน mode EDX แบบที่ต้องเติม Liquid Nitrogen หรือ ไนโตรเจนเหลว

8.8.1 เปลี่ยน Detector ที่ Microscope โดยการเลือก SEM Mode ใน Beam menu และ เลือก Mode 3: EDX



รูปที่ 18

8.8.2 เปิด Software EDX ที่ Windows โดย Double Click ที่ 

8.8.3 Click Collect image (a) เพื่อดึงภาพจาก Microscope สามารถปรับแต่งภาพโดย Click Auto LUT (b).

8.8.4 เลือกการวิเคราะห์แบบ พื้นที่หรือแบบจุดโดยเลือกที่ c

8.8.5 Click รูปนาฬิกา(d)เพื่อเริ่มการวิเคราะห์หรือหยุด โดยต้องตรวจสอบค่า CPS และ DT (e)จะต้องอยู่ที่ 30-35 (DT) และ CPS อยู่ระหว่าง 2000-10000 หากค่าไม่ได้ให้ทำการปรับแต่งที่ Amp Time หรือ Spot Size (ที่ Microscope)

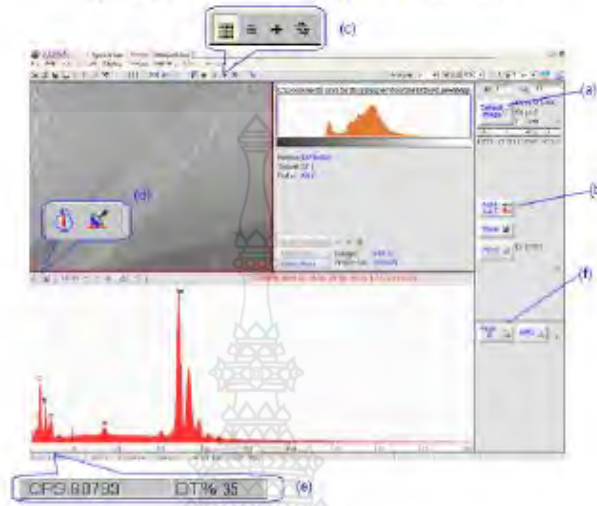
8.8.6 Click "Peak ID" เพื่อ ใส่ชื่อ Element (f)

8.8.7 Click save as ที่ File menu เพื่อทำการเก็บภาพ

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	12 of 19	PI-91166B	F

**OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)**

คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

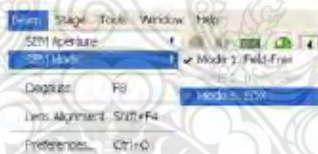


รูปที่ 19

8.9 การใช้งานใน mode EDX แบบที่ไม่ต้องเติม Liquid Nitrogen หรือ ไนโตรเจนเหลว

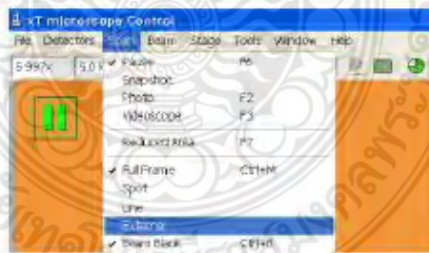
8.9.1 เปลี่ยน Detector ที่ Microscope โดยการเลือก SEM Mode ใน Beam menu และ เลือก Mode 3:

EDX



รูปที่ 20

8.9.2 เลือกโหมด External



รูปที่ 21

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-35001-001 Rev. B	13 of 19	PI-91166B	F

## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

### คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

#### 8.9.3 เปิดโปรแกรม Team



รูปที่ 22

#### 8.9.4 รอจนกว่าโปรแกรมจะเปิดเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 23

#### 8.9.5 จากนั้นใส่ username และ password



รูปที่ 24

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referring to this document.	Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	14 of 19	PI-91166B F



## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

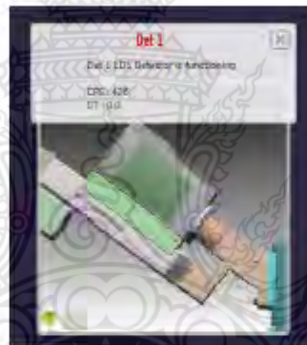
คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

8.9.6 เลือก Project ที่ต้องการ หรือสามารถสร้าง Project ใหม่ได้



รูปที่ 25

8.9.6 รอนจนกว่า software จะพร้อมใช้งาน



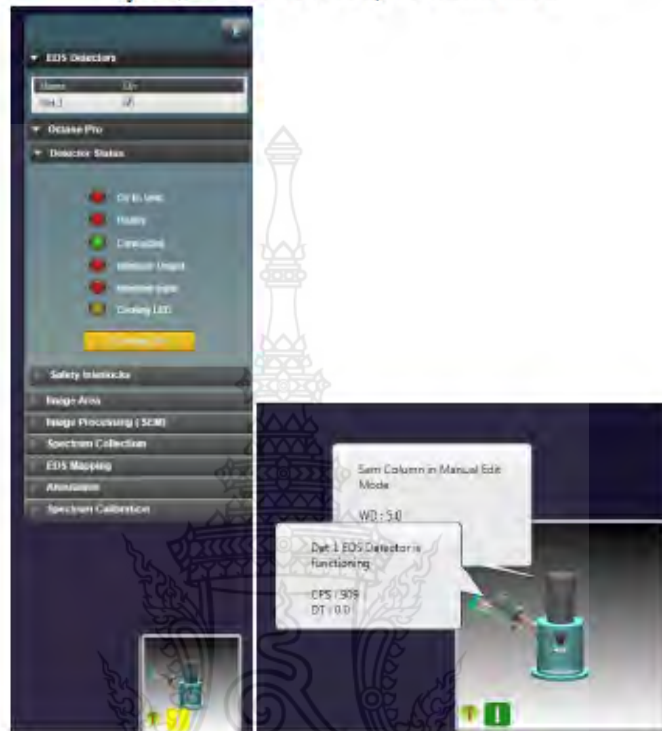
รูปที่ 26

8.9.7 Software และ Detector พร้อมใช้งาน (ถ้าสถานะของ Detector ไม่แสดงไฟสีเขียว ไม่สามารถทำการ เก็บ spectrum ได้ จะต้องทำการ click ที่รูปโปรทให้สถานะแสดงเป็นสีเขียว)

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	15 of 19	PI-91166B	F

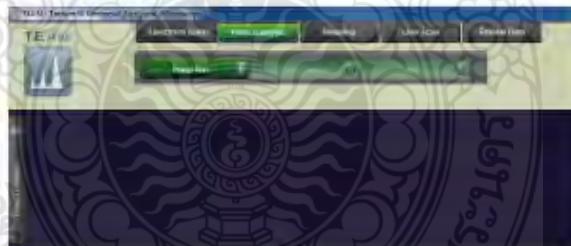
## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 27

### 8.9.8 Selected Point Analysis



รูปที่ 28

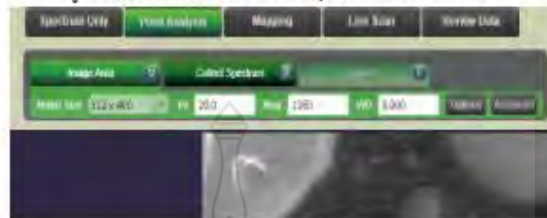
### 8.9.9 Selected Image Area เพื่อดึงภาพ

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or re-releasing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	16 of 19	PI-91166B	F

ภาพ ง-16 เครื่องมือ SEM และการใช้งาน หน้า 16 โดยบริษัทไมโครชิพ เทคโนโลยี ไทยแลนด์

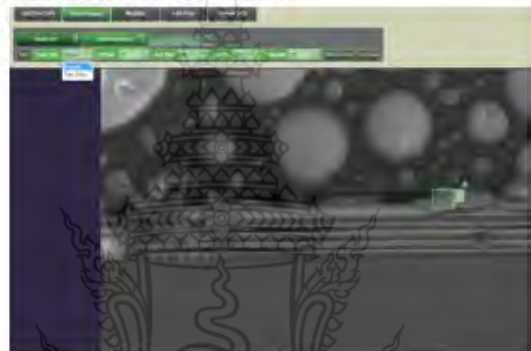
## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 29

8.9.10 เลือกตำแหน่งที่ต้องการในการวิเคราะห์



รูปที่ 30

8.9.11 Selected Collect Spectrum เพื่อทำการเก็บ spectrum จะแสดง spectrum ที่ตำแหน่งที่สนใจ



รูปที่ 31

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.	Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	17 of 19	PI-91166B F

## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

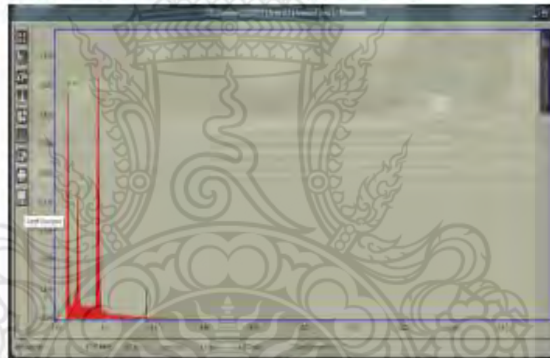
คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

- 8.9.12 เมื่อทำการเก็บ spectrum เสร็จ ให้ทำการตรวจสอบ spectrum ที่ได้ โดยการ click ขวา ที่ peak จากนั้นจะปรากฏ element ขึ้นมาให้เลือก ให้พิจารณาจากระดับพลังงานของธาตุนั้นๆ



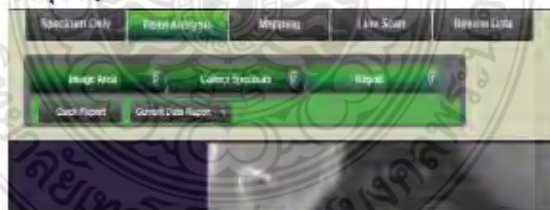
รูปที่ 32

- 8.9.13 ทำการกด save หลังจากการตรวจสอบ spectrum แล้ว



รูปที่ 33

- 8.9.14 กดที่ปุ่ม Report



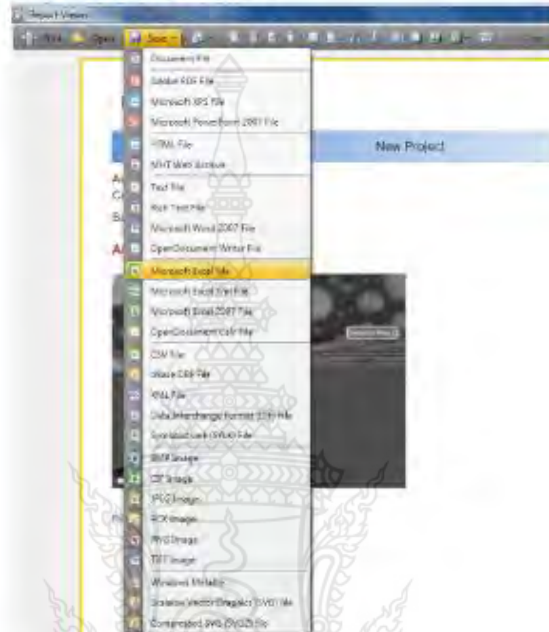
รูปที่ 34

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	18 of 19	PI-91166B	F

## OPERATING PROCEDURE FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

### คู่มือปฏิบัติงานสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

#### 8.9.15 ทำการ save report ได้ตามต้องการ



รูปที่ 35

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	19 of 19	PI-91166B	F



## OPERATING PROCEDURE FOR CROSS SECTIONING MACHINE

### คู่มือปฏิบัติงานสำหรับเครื่องตัดชิ้นงาน

1. จุดประสงค์
  - 1.1 ใช้สำหรับตัดชิ้นงานที่มีความหนาในระดับมิลลิเมตร
2. ขอบเขต
  - 2.1 เอกสารชุดนี้ใช้อ้างอิงการปฏิบัติงานของเครื่องตัดชิ้นงาน
3. เอกสารอ้างอิง
  - 3.1 Operation and maintenance instruction for Isomet
4. แบบฟอร์ม
  - 4.1 N/A
5. เครื่องมือที่ใช้และวัสดุ
  - 5.1 เครื่อง Isomet Low Speed Saw
  - 5.2 เครื่อง Leica EM TXP
  - 5.3 DI water / DI water pan
  - 5.4 Diamond wafering blade 4 inch diameter
  - 5.5 Chuck (สำหรับจับชิ้นงาน)
6. วิธีดำเนินการและข้อกำหนด
  - 6.1 เครื่อง Isomet Low Speed Saw
    - 6.1.1 ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องมือ
      - 6.1.1.1 ต่อกสายไฟที่ด้านหลังเครื่องเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 220 Volts
      - 6.1.1.2 ใส่ Diamond Blade เข้ากับแกนหมุน (drive shaft)
      - 6.1.1.3 ใส่ DI water ลงใน DI water pan โดยให้ 1.4 ของ Diamond blade จุ่มลงใน DI water
      - 6.1.1.4 ใส่ Weight น้ำหนัก 25 และ 50 กรัมเข้าที่ Weight Shaft
    - 6.1.2 ขั้นตอนในการตัดชิ้นงาน
      - 6.1.2.1 เลือก Chuck ที่เหมาะสมจับชิ้นงานให้แน่นแล้วใช้ Trumb screw ยึด Chuck เข้ากับ Supporting Arm
      - 6.1.2.2 วาง Supporting Arm ลงบน Diamond Bade ปรับเลื่อนตำแหน่งที่ต้องการตัดโดยใช้ micrometer
      - 6.1.2.3 Set ตำแหน่ง Cut Off Switch เพื่อให้ใบตัดหยุดที่ตำแหน่งที่ต้องการ

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.	Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev.B	2 of 7	PI-91063B D

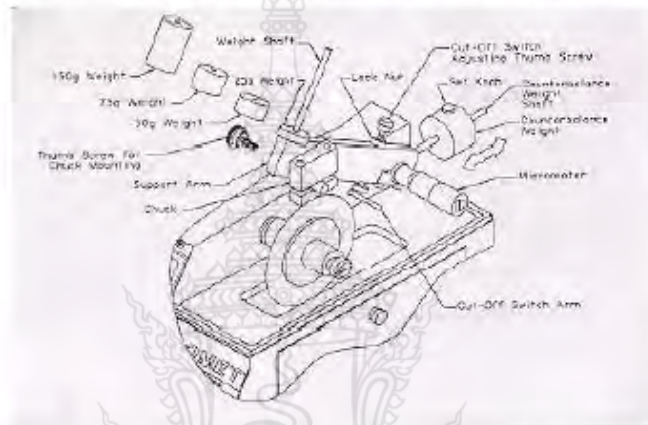
ภาค ง-21 เครื่องมือ Cross section และการใช้งาน หน้า 2 โดยบริษัทไมโครชิพ เทคโนโลยี ไทย

แลนด์

## OPERATING PROCEDURE FOR CROSS SECTIONING MACHINE

### คู่มือปฏิบัติงานสำหรับเครื่องตัดชิ้นงาน

- 6.1.2.4 Switch On ที่ด้านหลังเครื่อง กดปุ่ม Start จากนั้นปรับ Speed มาที่ตำแหน่ง 5-7 ซึ่งมี ความเร็วรอบประมาณ 200 rpm
- 6.1.2.5 เลื่อน Blade Wiper เข้ามาเพื่อปิดส่วนของใบตัดขณะที่ยกหมุน
- 6.1.2.6 เมื่อตัดเสร็จส่วนของ Cut Off Switch จะทำงานทำให้ใบตัดหยุดหมุน ให้ปรับ Speed มาที่ตำแหน่ง 0 จากนั้นยก Supporting Arm ขึ้น
- 6.1.2.7 ปลดล็อก Trump Screw เพื่อเอาส่วนของงานที่ยึดอยู่ออกจาก Chuck



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของ Supporting Arm

## 6.2 เครื่อง Leica EM TXP

### 6.2.1 ส่วนประกอบของเครื่อง



THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev.B	3 of 7	PI-91063B	D



## OPERATING PROCEDURE FOR CROSS SECTIONING MACHINE

### คู่มือปฏิบัติงานสำหรับเครื่องตัดชิ้นงาน

1. กล้องตรวจสอบชิ้นงานระหว่างการตัดและขัด
  2. ปุ่มปรับระยะการเขยิบของใบตัด/ขัดเข้าหาชิ้นงาน
  3. แคนโยกแทนจับงาน
  4. แป้นควบคุม
  5. ไฟส่องสว่าง
  6. ฟาครอบนิรภัย
  7. ก้านโยกแทนตัด/ขัด
    - 7.1 ก้านโยกระบบอัตโนมัติ
  8. ขวดน้ำ DI
  9. แคนหมุนแทนจับงาน
  10. กล้องน้ำทิ้ง
  11. Switch เปิด/ปิด
- 6.2.2 ข้อควรระวังระหว่างการใช้เครื่อง
- 6.2.2.1 ระวังการจับใบตัดระหว่างทำการเปลี่ยน รอยต่อกับก้านมีความบอบบาง
  - 6.2.2.2 ระวังการดึงความเร็วรอบในการตัด อาจทำความเสียหายให้ชิ้นงานได้
  - 6.2.2.3 ระวังความเร็วในการโยกก้านโยกแทนตัด/ขัด หากโยกไวอาจทำให้เกิดความเสียหายได้
  - 6.2.2.4 หมั่นตรวจสอบระดับน้ำในกล้องน้ำทิ้ง ควรเททิ้งทุกครั้งที่เติมน้ำ DI
- 6.2.3 วิธีการใช้เครื่อง
- 6.2.3.1 ลักษณะใบตัด ใบขัด และหัวเจาะ ชนิดต่างๆ
    - 6.2.3.1.1 ใบตัดใช้ตัดชิ้นงาน IC สามารถลับให้คมด้วยหินขัดตามอายุงาน
    - 6.2.3.1.2 หัวเจาะชิ้นงาน มีข้อจำกัดกับรายละเอียดของขอบรอยตัด

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev.B	4 of 7	PI-91063B	D

ภาพ ง-23 เครื่องมือ Cross section และการใช้งาน หน้า 4 โดยบริษัทไมโครชิพ เทคโนโลยี ไทยแลนด์

## OPERATING PROCEDURE FOR CROSS SECTIONING MACHINE

### คู่มือปฏิบัติงานสำหรับเครื่องตัดชิ้นงาน

6.2.3.1.3 หัวจับชิ้นงานตามรูปร่างและขนาดชิ้นงาน

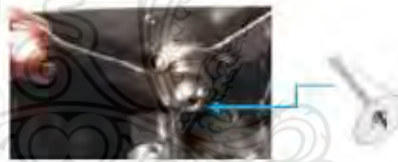


6.2.3.1.4 แท่นขัด (รูปซ้าย) และแผ่นขัดขนาดต่างๆ



6.2.3.2 วิธีการติดตั้งใบตัด/ขัด และชิ้นงานกับตัวเครื่อง

6.2.3.2.1 ติดตั้งใบตัด/ขัดโดยการ ถอดฝาครอบนิรภัยและคลายเกลียวแท่นจับ โดยการใช้ เครื่องมือในทิศทางดังภาพ และใส่แท่นขัดหรือใบตัด จากนั้นหมุนเกลียวกลับไปตำแหน่ง lock



6.2.3.2.2 การติดตั้งชิ้นงานลงแท่นจับ ให้ใส่ชิ้นงานลงแท่นจับในตำแหน่งที่เหมาะสมคือ ไม่มีการ โอ๊กคลอน และ ใส่ลงในตัวเครื่องตามรูปภาพ



6.2.3.3 วิธีการปรับที่แหง ความคม

6.2.3.3.1 ปิดฝาครอบนิรภัย (เครื่องจะไม่ทำงานหากข้ามขั้นตอนนี้)

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev.B	5 of 7	PI-91063B	D



## OPERATING PROCEDURE FOR CROSS SECTIONING MACHINE

### คู่มือปฏิบัติงานสำหรับเครื่องตัดชิ้นงาน

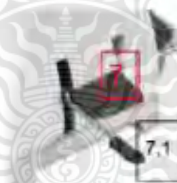
- 6.2.3.3.3 ตรวจสอบตำแหน่งงานผ่านกล้อง และปรับเพิ่มเติม โดยเทียบเคียงจากเส้นบรรทัดอ้างอิงในตัวกล้อง



- 6.2.3.3.4 ป้อนค่าต่างๆ ผ่านแท่งควบคุมตามข้อ 6.2.3.3 และเริ่มทำการตัดและขัดเพื่อหาตำแหน่ง ที่ต้องการวิเคราะห์



- 6.2.3.4 การเปิดใช้งานระบบ auto mode ให้ตั้งการก้านโยกเพื่อเปิดระบบ (7.1) และทำการป้อนค่าที่ต้องการผ่านแท่งควบคุม การใช้งานระบบนี้เหมาะสำหรับการทำงานละเอียด



THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the users responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev.B	7 of 7	PI-91063B	D

ภาพ ง-26 เครื่องมือ Cross section และการใช้งาน หน้า 7 โดยบริษัทไมโครชิพ เทคโนโลยี ไทยแลนด์



## OPERATING PROCEDURE FOR MEMMERT BAKE OVEN

- 1 วัตถุประสงค์
  - 1.1 เพื่อใช้ปฏิบัติงานในการทดลองของตัว IC
- 2 ขอบเขต
  - 2.1 ใช้อ้างอิงการปฏิบัติงานของตู้อบ (Bake Oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น 100
- 3 เอกสารอ้างอิง
  - 3.1 วิธีการใช้ตู้อบ Memmert
- 4 แบบฟอร์ม
  - 4.1 N/A
- 5 วัสดุและอุปกรณ์
  - 5.1 ตู้อบ (Bake Oven)
  - 5.2 ตัวงาน IC
- 6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน
  - 6.1 เครื่องใช้ไฟ 220 โวลต์ 50-60 Hz ก่อนเสียบสายไปให้ดูไฟฟ้าก่อน
  - 6.2 เปิด Switch ที่ปุ่มเครื่องหมาย I แล้วหลอดไฟสีเขียวจะติด
  - 6.3 ตั้งอุณหภูมิที่งานหมุนตามความต้องการที่ใช้ ในกรณีที่ใช้งานในอุณหภูมิสูง ควรค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของชุดหลอด
  - 6.4 เมื่อตั้งอุณหภูมิแล้วไฟสีเขียวจะติด เมื่อถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ไฟสีเขียวจะดับ
  - 6.5 ในกรณีที่ต้องการตั้งเวลาให้หมุน Switch เปิด-ปิด มาที่เครื่องหมาย L แล้วตั้งเวลาที่ต้องการ โดยหมุนนาฬิกา เมื่อหมดเวลา เครื่องจะปิดเองโดยอัตโนมัติ
  - 6.6 ส่วนที่เลื่อนขึ้น-ลง ใช้ในการล็อคชิ้นต่าง ๆ ในตู้อบ เมื่อเปิดแล้ว ควรจะเลื่อนมาที่เครื่องหมาย 0 เพื่อป้องกันความร้อนออก
  - 6.7 ปุ่มสีแดง เป็นปุ่มที่ใช้ RESET ใช้เมื่อระบบความปลอดภัยทำงาน เนื่องจากระบบควบคุมอุณหภูมิขัดข้อง
  - 6.8 เมื่อเลิกใช้ควรถอดปลั๊ก

THIS DOCUMENT IS UNCONTROLLED UNLESS OTHERWISE STAMPED. It is the user's responsibility to ensure this is the latest revision prior to using or referencing this document.		Page	Spec. No.	Rev.
Microchip Technology (Thailand) Proprietary and confidential	FRM-95001-001 Rev. B	2 of 2	PI-91206B	C

ภาพ ง-28 เครื่องมือ Bake Oven และการใช้งาน หน้า 2 โดยบริษัทไมโครชิพ เทคโนโลยี ไทยแลนด์

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นายอภิรัตน์ มีมุข  
 วัน เดือน ปีเกิด 09 ตุลาคม 2526  
 ภูมิลำเนา 289/5 รามอินทรา กม 14, มีนบุรี, กทม. 10510  
 ที่อยู่ปัจจุบัน 289/5 รามอินทรา กม 14, มีนบุรี, กทม. 10510  
 โทรศัพท์มือถือ 081-6130430  
 E-mail apiratmeemoosor@gmail.com

### ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
มัธยมศึกษาปีที่ 1-6 (Math - Science)	โรงเรียนอำนวยการศิลป์พระนคร	2544
ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2548
ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	กำลังศึกษา

### ประวัติการทำงาน

ปีพุทธศักราช	ตำแหน่ง	บริษัท/ลักษณะงาน
ธันวาคม 2558 - พฤศจิกายน 2561	Sr. Engineer	Microchip Technology Thailand
ธันวาคม 2561 - ปัจจุบัน	Manager	Microchip Technology Thailand

### ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

Microchip Technology (Thailand) Co., Ltd. 17/2 Moo 18 Suwintawong Road,  
 Saladang, Bangnumpriew Chachoengsao, Thailand 24000