

การปรับปรุงคุณภาพความหนาทองแดงในรู  
ของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์โดยประยุกต์วิธีซิกซ์ ซิกมา

นาย ชีรยุทธ มัดจูปะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4881-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

QUALITY IMPROVEMENT FOR COPPER-IN-HOLE THICKNESS IN PRINTED CIRCUIT  
BOARD PRODUCTION PROCESS BY SIX SIGMA APPROACH

Mr. Theerayuth Madjupa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4881-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงคุณภาพความหนาของแดงในรูปของกระบวนการผลิต  
แผ่นวงจรพิมพ์โดยประยุกต์วิธีซิกซ์ ซิกมา

โดย

นาย ธีรยุทธ มัดจูปะ


สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. นภัตสวงศ์ ไอสถศิลป์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัญศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. นภัตสวงศ์ ไอสถศิลป์)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)

ธีรยุทธ มัดจูปะ : การปรับปรุงคุณภาพความหนาทองแดงในรูของกระบวนการผลิต  
แผ่นวงจรพิมพ์โดยประยุกต์วิธีซิกซ์ ซิกมา. (QUALITY IMPROVEMENT FOR  
COPPER-IN-HOLE THICKNESS IN PRINTED CIRCUIT BOARD PRODUCTION  
PROCESS BY SIX SIGMA APPROACH) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. นภัสสวงศ์ ไอสถศิศิลป์  
, 289 หน้า. ISBN 974-17-4881-7.

การวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากค่าความหนาทองแดง  
ในรู (Copper-in-Hole thickness) ของแผ่นวงจรพิมพ์ออกนอกข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของ  
ลูกค้า โดยนำวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามวิธีซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาหา  
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของความหนาทองแดงในรู และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัย  
ดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ค่าความหนาทองแดงในรูมีค่าเฉลี่ยเข้าสู่ค่าเป้าหมายและของเสีย  
ลดลงได้ โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นใน  
หน่วย Part Per Million (PPM) ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ  
14,872 PPM

ขั้นตอนการวิจัยจะดำเนินตามวิธีซิกซ์ ซิกมาทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการนิยามปัญหา  
, การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา, การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยเมื่อผ่านขั้นตอนนี้  
แล้ว พบว่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญคือ เวลาที่ใช้ในการชุบ, กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ,  
อุณหภูมิของสารละลาย, ความเข้มข้นของคลอไรด์ อีออน และความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก ซึ่ง  
เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า จากนั้นจึงนำปัจจัยทั้งห้านี้มา  
ทำการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ซึ่งผลลัพธ์ของค่าที่  
เหมาะสมในการใช้งานที่ได้เป็นดังนี้ เวลาที่ใช้ในการชุบ 59 นาที 39 วินาที, กระแสไฟฟ้าที่ใช้ใน  
การชุบ 29 แอมแปร์ต่อตารางฟุต, อุณหภูมิของสารละลาย 25 องศาเซลเซียส, ความเข้มข้นของ  
คลอไรด์ อีออน 52 PPM และความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 255 กรัมต่อลิตร จากนั้นจึงนำไป  
ทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต และทำการกำหนดระบบควบคุม  
แก่ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งห้าในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีปริมาณของเสียเกิดขึ้นประมาณ 77  
PPM ซึ่งคิดเป็น 99.5 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียที่ลดได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต  
และสามารถที่จะลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน 839,837 บาทต่อปี โดยประมาณการจาก  
ปริมาณยอดสั่งซื้อที่พยากรณ์ไว้ของบริษัทจากเดือนมกราคม 2547 ถึงเดือนธันวาคม 2547

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4571424721: MAJOR INDUSTRY ENGINEERING

KEY WORD: SIX SIGMA / COPPER-IN-HOLE THICKNESS IN PRINTED CIRCUIT BOARD / PART PER MILLION / DEFINE PHASE / MEASURE PHASE / ANALYZE PHASE / IMPROVE PHASE / CONTROL PHASE

THEERAYUTH MADJUPA: QUALITY IMPROVEMENT FOR COPPER-IN-HOLE THICKNESS IN PRINTED CIRCUIT BOARD PRODUCTION PROCESS BY SIX SIGMA APPROACH. THESIS ADVISOR: DR. NAPASSAVONG OSOTHSILP, 289 pp. ISBN 974-17-4881-7

The objective of this research is to reduce a number of printed circuit boards defect which have Copper-in-Hole thickness out of product specification limit by applying Six Sigma methodology to study factors that influence Copper-in-Hole thickness mean to target and identify appropriate operative conditions in order to shift its mean and reduce number of defects. The measure of improvement is the number of defects in PPM unit, and the current process has 14,872 defects Part Per Million (PPM).

The step of study will follow five-phase of Six Sigma methodology which begins with define phase, measure phase, analyze phase. After finishing analyze phase, it was found that Acid Copper Plating bath in Electro Copper Plating process has significant impact to the problem and contains five key process input variables (KPIVs) which are Dipping time, Current density, Temperature, Chloride ion concentration and Sulfuric concentration. Then an experiment of these KPIVs was performed in improvement phase and from the experiment, the appropriate operating condition are Dipping time 59 minute and 39 seconds, Current density 29 amperes per square inch, Temperature 25 Celsius, Chloride ion concentration 52 PPM and Sulfuric concentration 255 grams per liter. After that pre-running using the chosen levels of factors was performed in order to confirm the result. Finally, set the control system for these KPIVs in control phase.

After process improvement, the data show Copper-in-Hole thickness defects of 77 PPM that is equal to 99.5% of amount of defect before process improvement. And it could reduce cost by 839,837 baht per year estimated from forecast order after improvement from January 2004 to December 2004.

Department Industrial Engineering  
Field of study Industrial Engineering  
Academic year 2003

Student's signature .....  
Advisor's signature .....  
Co-advisor's signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ อาจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสถิลปี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้คำชี้แนะและ ข้อคิดเห็นต่างๆ ในงานวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา และรอง ศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง ไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณ อนวัช จรปัญญานนท์ ที่ได้ให้คำแนะนำและ เทคนิคต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณสมาชิกทุกท่านที่ได้ให้ข้อมูลและเข้าร่วมการ ระดมความคิดเห็นในการทำการวิจัย ตลอดจนพนักงาน ในโรงงานตัวอย่างที่ให้ความร่วมมือใน การทำการทดลองเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ พี่น้อง เพื่อนนิสิต และท่านที่มีได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัย เสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ฅ

## บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 โรงงานกรณีศึกษาและกระบวนการผลิต.....	2
1.3 สภาพของปัญหาและความสำคัญของปัญหา.....	3
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยและการวัดผล.....	7
1.5 ขอบเขตการศึกษาวิจัย.....	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	8
1.8 สรุปเนื้อหาโดยสังเขป.....	10

## บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาตัวอย่างวิธีการประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมา จากบทความหรืองานวิจัย.....	12
2.2 การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์.....	15

## บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ความหมายและประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา.....	16
3.2 ตัววัดระดับของคุณภาพ.....	17
3.3 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา.....	18
3.4 ทฤษฎีการซุ่มทองแดง.....	52

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

### บทที่ 4 การนิยามปัญหา

4.1 บทนำ.....	58
4.2 ที่มาของปัญหา.....	58
4.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	59
4.4 หน่วยวัดผล.....	59
4.5 ขอบเขตในการดำเนินการ.....	59
4.6 ระยะเวลาในการดำเนินการ.....	59
4.7 กำหนดสมาชิก.....	60

### บทที่ 5 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

5.1 การศึกษากระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์.....	61
5.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด.....	72
5.3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการ.....	86
5.4 การวิเคราะห์สาเหตุด้วย Cause and Effect Matrix.....	99
5.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA).....	111
5.6 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	119

### บทที่ 6 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

6.1 บทนำ.....	120
6.2 การทดสอบสมมติฐาน.....	120
6.3 สรุปผลขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	157

### บทที่ 7 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

7.1 บทนำ.....	158
7.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	158
7.3 ตัวแปรตอบสนอง.....	159
7.4 แบบการทดลอง.....	159
7.5 การเตรียมการทดลอง.....	167
7.6 ขั้นตอนในการทดลอง.....	168
7.7 ดำเนินการทดลอง.....	168



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	170
7.9 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง.....	175
7.10 การวิเคราะห์ผลการทดลองการออกแบบส่วนประสมกลาง.....	175
7.11 การตรวจสอบความเพียงพอของตัวแบบ.....	178
7.12 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	182
7.13 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	187
<b>บทที่ 8 การทดสอบยืนยันผล</b>	
8.1 บทนำ.....	188
8.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล.....	188
8.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	190
8.4 สรุปผลขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล.....	191
<b>บทที่ 9 การควบคุมกระบวนการผลิต</b>	
9.1 บทนำ.....	192
9.2 แผนการควบคุม.....	192
9.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	208
9.4 สรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต.....	214
<b>บทที่ 10 บทสรุปและข้อเสนอแนะ</b>	
10.1 บทนำ.....	216
10.2 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	216
10.3 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	218
10.4 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	219
10.5 บทสรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต.....	220
10.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย.....	222
10.7 ข้อเสนอแนะ.....	222
10.8 ประโยชน์ในทางประยุกต์ผลวิจัยที่ได้.....	224
10.9 บทเรียนและอุปสรรคจากการทำวิจัย.....	224
10.10 ประโยชน์จากการนำวิธีซิกซ์ ซิกมา มาใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	225

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง.....	227
ภาคผนวก.....	229
ภาคผนวก ก การคำนวณความสามารถของกระบวนการผลิตในระดับซิกซ์ ซิกมา..	230
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาระบบการวัด.....	232
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการ.....	236
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบสมมติฐาน.....	237
ภาคผนวก จ ผลการทดลองการปรับปรุงกระบวนการ.....	245
ภาคผนวก ฉ ผลการทดสอบยืนยันผล.....	252
ภาคผนวก ช ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	254
ภาคผนวก ซ ข้อมูลแนวโน้มของปัจจัยนำเข้า.....	259
ภาคผนวก ฌ แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์.....	267
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	273

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	แสดงจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma quality level..... 17
3.2	ตัวอย่างตาราง Cause and Effect Matrix..... 23
3.3	แสดงเกณฑ์การให้คะแนนความร้ายแรง (Severity Score).....29
3.4	ตาราง ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด ..... 34
3.5	ตาราง One-way ANOVA.....39
4.1	ระยะเวลาในการดำเนินการ.....59
5.1	ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Cu-Scope..... 74
5.2	ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Cu-Scope.....74
5.3	ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Micro Scope ..... 78
5.4	ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Micro Scope .....78
5.4	ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน (ของการทดสอบค่าวัดความหนาทองแดงในรูระหว่างเครื่อง Cu-Scope และ Micro Scope).....81
5.6	ผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าวัดที่ได้จาก Cu-Scope และ Micro Scope ...84
5.7	ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จาก Cu-Scope และ Micro Scope .....84
5.8	ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน (ของการจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการ).....87
5.9	แสดงผลการทดสอบการแจกแจงปกติด้วยวิธี Anderson-Daring Normality Test .. 93
5.10	ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการชุบด้วยกระแสไฟฟ้า และหลังการกัดกรด..... 94
5.11	ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการกัดกรด และหลังการตรวจสอบขั้นสุดท้าย..... 95
5.12	ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการชุบด้วยกระแสไฟฟ้า และหลังกระบวนการกัดกรด..... 96
5.13	ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการกัดกรด และหลังกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย..... 97

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.14	แสดงตาราง Cause and Effect Matrix..... 102
5.15	แสดงปัจจัยนำเข้าสำคัญที่ได้จาก Cause and Effect Matrix..... 110
5.16	ผลการวิเคราะห์ FMEA ..... 113
6.1	แสดงค่าการปรับในแต่ละระดับของปัจจัย..... 122
6.2	ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน..... 127
6.3	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าอุณหภูมิ สารละลายในถัง Electroless Copper 85..... 138
6.4	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าอุณหภูมิสารละลาย ในถัง Electroless Copper 85..... 138
6.5	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าเวลาที่ใช้ ในการจุ่มในสารละลายในถัง Electroless Copper 85..... 141
6.6	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่ม ในสารละลายในถัง Electroless Copper 85..... 141
6.7	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าเวลาที่ใช้ ในการจุ่มในสารละลายในถัง Acid Copper Plating ..... 144
6.8	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่ม ในสารละลายในถัง Acid Copper Plating ..... 144
6.9	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่ากระแส ไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating ..... 147
6.10	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating ..... 147
6.11	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าอุณหภูมิ สารละลายที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ..... 150
6.11	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าอุณหภูมิสารละลาย ที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ..... 150
6.12	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าความเข้มข้นของ Chloride ion ที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating ..... 153
6.14	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าความเข้มข้นของ Chloride ion ที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating ..... 153

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.15	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating ..... 156
6.16	แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating ..... 156
7.1	แสดงค่าระดับของปัจจัยในการทดลอง..... 159
7.2	แสดงการคำนวณจำนวนการทำซ้ำด้วยโปรแกรม Minitab..... 162
7.3	แสดงการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab..... 163
7.4	ตาราง Design Matrix ของการทดลอง..... 164
7.5	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units)..... 173
7.6	ตาราง Design Matrix ของการออกแบบ CCD (ส่วนที่ทดลองเพิ่มจากการออกแบบ $2^k$ )..... 175
7.7	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง..... 176
7.8	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code units) ของตัวแบบลดรูปของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง..... 177
7.9	แสดงผลค่าประมาณสัมประสิทธิ์ (Uncode units) ของตัวแบบลดรูปของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง..... 178
7.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความไม่สมรูปของตัวแบบกับข้อมูล (ลดรูป)..... 183
7.11	ผลการทดลองที่เรียงข้อมูลการเกิดรอยไหม้สำหรับวิเคราะห์ผลของ Attribute Experiment โดยมีจำนวนการเกิดจุดรอยไหม้เป็นตัวแปรผลตอบ..... 185
9.1	การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ..... 197
9.2	แสดงการวิเคราะห์ทางการเงินหลังจากการดำเนินการวิธีซิกซ์ ซิกมา..... 213

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงตัวอย่างแผ่น PCB.....	3
1.2	แสดงรูป Plated Through Hole ของ PCB.....	3
1.3	แสดงโครงสร้างภาคตัดขวางของรูป Plated Through Hole ของ PCB.....	4
1.4	แสดงรูปถ่ายโครงสร้างภาคตัดขวางของรูและทองแดงที่ชุบภายในรู.....	4
1.5	แสดงลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นกับทองแดงที่ชุบภายในรู.....	5
1.6	ความสามารถของกระบวนการ Copper-In-Hole thickness ที่ระดับข้อกำหนด 1.5 +/-0.5 mils.....	6
3.1	Five-phase improvement cycle.....	18
3.2	ตัวอย่างแผนภูมิอิชิกาวาของปัญหาการรอยเคาะเพียงรักษาของคนไข้ในโรง พยาบาล.....	21
3.3	แผนภูมิพาเรโตแสดงข้อบกพร่องในการใช้ยา.....	23
3.4	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร.....	40
3.5	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเหลือและลำดับของข้อมูล.....	43
3.6	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเหลือและลำดับของข้อมูล.....	44
3.7	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเหลือและค่า Fitted value.....	45
3.8	แผนภาพแสดงปัจจัยร่วมในการทดลอง.....	46
3.9	แผนภาพแสดง Treatment Combination ใน $2^k$ Factorial Design .....	47
3.10	รูปแบบทั่วไปของแผนภูมิควบคุม.....	49
3.11	แสดงปฏิกิริยาอิเล็กทรอนิกส์ของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต.....	54
3.12	แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้า และเวลาที่ใช้ของปฏิกิริยาอิเล็กทรอนิกส์ ต่อปริมาณโลหะที่เกิดขึ้นตามกฎของฟาราเดย์.....	55
5.1	แสดงชิ้นส่วนประกอบของแผ่น PCB โมเดล 2712M04026.....	61
5.2	แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์.....	62
5.3	แสดง PCB Manufacturing step ของผลิตภัณฑ์รุ่น 2712M04026.....	71
5.4	แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ความ หนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Cu-Scope .....	75
5.5	แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ความ หนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Micro Scope .....	79
5.6	แผนภูมิ Normal Probability Plot ของค่าวัดความหนาทองแดงในรูด้วยเครื่อง Cu Scope .....	83

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7	แผนภูมิ Normal Probability Plot ของค่าวัดความหนาทองแดงในรูด้วยเครื่อง Micro Scope ..... 83
5.8	แผนภาพแสดงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อแผ่นวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในถังชุบ..... 88
5.9	แผนภาพขั้นตอนการทดลอง.....89
5.10	แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า..... 90
5.11	แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการกัดกรด..... 91
5.12	แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย.....92
5.13	แสดงแผนภูมิสาเหตุและผลของปัญหา Copper-In-Hole thickness ไม่ได้ตาม ข้อกำหนด..... 100
5.14	แสดงแผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ จากการวิเคราะห์ ด้วย Cause and Effect Matrix ..... 109
5.15	แสดงแผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับตามคะแนน RPN ..... 118
6.1	แผนภาพแสดงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อแผ่นวงจรที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในถังชุบ.....128
6.2	ขั้นตอนการทดลองสำหรับอุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85... 129
6.3	ขั้นตอนการทดลองสำหรับเวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85...130
6.4	ขั้นตอนการทดลองสำหรับเวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating ..... 131
6.5	ขั้นตอนการทดลองสำหรับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating . 132
6.6	ขั้นตอนการทดลองสำหรับอุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating ..... 133
6.7	ขั้นตอนการทดลองสำหรับความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating ..... 134
6.8	ขั้นตอนการทดลองสำหรับความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในถัง Acid Copper Plating.....135
6.9	กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู..... 137
6.10	กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู..... 140
6.11	กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู..... 143
6.12	กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู..... 146
6.13	กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู..... 149
6.14	กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู..... 152

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.15	กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู..... 155
7.1	แผนภาพแสดงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อแผ่นวงจรที่ตำแหน่งต่างๆ ในถังชุบ..... 168
7.2	ขั้นตอนการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต..... 169
7.3	รูปแสดงผลหลัก..... 174
7.4	กราฟแสดงการกระจายของส่วนตักค้าง..... 179
7.5	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตักค้างกับลำดับของข้อมูล..... 180
7.6	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตักค้างกับค่า Fitted value..... 181
7.7	ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เข้ารหัส (Coded unit).. 186
8.1	ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล..... 189
8.2	แผนภาพการกระจายของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของการทดสอบยืนยันผล.. 190
8.3	ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรู ของการทดสอบยืนยันผล..... 191
9.1	ใบตรวจสอบ Parameter สำหรับเครื่อง Acid Copper Plating..... 194
9.2	ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อเวลาที่ใช้ในการจุ่มออกนอกค่าที่กำหนด..... 196
9.3	ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการจุ่มออกนอกค่าที่กำหนดต่อการชุบ ครั้งละ 6 พาเนล..... 198
9.4	ขั้นตอนการแก้ไขเมื่ออุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบออกนอกค่าที่กำหนด.... 200
9.5	ลักษณะของข้อมูลที่ออกนอกการควบคุม..... 203
9.6	ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อความเข้มข้นของคลอไรด์ อีออนในสารละลายที่ใช้ในการชุบ ออกนอกค่าที่กำหนด..... 204
9.7	ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในสารละลายที่ใช้ในการชุบ ออกนอกค่าที่กำหนด..... 207
9.8	แผนภูมิควบคุม ImR สำหรับความเข้มข้นของคลอไรด์ อีออน..... 208
9.9	แผนภูมิควบคุม ImR สำหรับความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก..... 209
9.10	การกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู..... 210
9.11	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง..... 211
9.12	กราฟเส้นแสดงค่าสัดส่วนของเสียที่เกิดจากค่าความหนาทองแดงในรูไม่ได้ตาม ข้อกำหนดของแผ่นวงจรพิมพ์รุ่น 2712M04026 ของกระบวนการก่อนและหลัง การปรับปรุง..... 211