การปรับปรุงระบบการวัดในสายการผลิตซีลของการผลิตวงจรรวม

นางสาว วินิตา เพชรรุ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN: 974-17-5752-2
ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MEASUREMENT SYSTEM IMPROVEMENT IN THE SEAL PROCESS OF INTEGRATED CIRCUIT MANUFACTURING

MISS. WINITA PETCHRUNG

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN: 974-17-5752-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงระบบการวัดในสายการผลิตซีลของการผลิตวงจรรวม

โดย นางสาววินิตา เพชรรุ่ง

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ อัครประถมพงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วินิตา เพชรรุ่ง : การปรับปรุงระบบการวัดในสายการผลิตซีลของการผลิตวงจรรวม (MEASUREMENT SYSTEM IMPROVEMENT IN THE SEAL PROCESS OF INTEGRATED CIRCUIT MANUFACTURING) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย, 224 หน้า. ISBN: 974-17-5752-2

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ถึงความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงและถูกต้องตามข้อกำหนดของระบบการบริหารคุณภาพ QS9000 ขอบเขตของการวิเคราะห์จะศึกษาวิจัยเครื่องมือวัดที่ใช้ภายในสายการผลิตซีลของบริษัทกรณีศึกษาที่เป็นอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวมเท่านั้น ความถูกต้องของเครื่องมือวัดทุกชนิดก่อนว่าถูกต้องตามเกณฑ์ของระบบQS9000 ขั้นตอนต่อไปจะศึกษาความแม่นยำของระบบการวัด โดยแบ่งการศึกษาตามลักษณะของข้อมูลในการวัด คือข้อมูลแบบข้อมูลวัด และข้อมูลแบบข้อมูลนับ

ผลของการวิจัยในครั้งนี้พบว่าความแปรปรวนของระบบการวัดแบบข้อมูลวัด เนื่องมาจากเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำต่ำเป็นสาเหตุหลัก และสาเหตุอื่นๆที่เกิดจากพนักงานผู้วัดมีความรู้และทักษะไม่เพียงพอ

การเพิ่มความแม่นยำของเครื่องมือวัด โดยส่งเสริมการเพิ่มความรู้และทักษะให้กับพนักงานผู้วัด เพื่อขจัดความแปรปรวนของระบบการวัดแบบข้อมูลวัด แต่สำหรับการศึกษาระบบการวัดแบบข้อมูลนับพบว่าความแปรปรวนของระบบการวัดไม่เป็นนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามได้จัดทำคู่มือสำหรับการปฏิบัติงานขึ้นมาเพื่อให้พนักงานใช้อ้างอิง หลังจากที่ดำเนินการปรับปรุงตามบทสรุปข้างต้นแล้ว พบว่าค่า % GR&R ของระบบการวัดมีค่าลดลง ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลได้ดังนี้

เครื่องมือวัด	%GR%R ก่อนปรับปรุง	%GR&R หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1	%GR&R หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2
กล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป	88.48	29.35	6.07
เครื่องเอกซเรย์	30.72	15.24	1.04
นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล	32.61	3.31	-
เครื่องสมาร์สโคป	14.94	3.60	-
เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล	70.98	8.17	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต วินิตา เพชรรุ่ง

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4471474021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD : MEASUREMENT SYSTEM IMPROVEMENT/ MSA

WINITA PETCGRUNG: MEASUREMENT SYSTEM IMPROVEMENT IN THE SEAL PROCESS OF INTEGRATED CIRCUIT MANUFACTURING. THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. DAMRONG THAVEESAENGSKULTHAI. 224 pp.

ISBN: 974-17-5752-2

The objective of this research is to analyze the accuracy and precision of the measurement system. In order to improve and meet the requirements of QS9000 pertaining the measurement system (MSA). The scope and focused of this case study is only the measurement equipment in seal process of Integrated Circuit (IC) manufacturing company.

The first step on this study is to determine the accuracy of all measuring equipment meet the QS9000 requirement. The next step is to study and determine the precision of the measurement system that the measuring data is either the variable or attribute characteristics.

The result of this research found that the variation of variable characteristics of measurement system is mainly caused low precision equipment. Another factor is the insufficient skill and knowledge of the measuring operators. Increasing the precision of measuring equipment plus the enhancement of operator' knowledge and skills eliminate the variation on variable characteristic. On the other hand, no variation found on variable characteristics. However, manual of procedure was provided to operators for reference. With the above actions, the percent GR&R has been reduced by below table for reference.

Equipment	%GR%R Before	%GR&R First Improvement	%GR&R Second Improvement
Low Power Microscope	88.48	29.35	6.07
X-Ray Machine	30.72	15.24	1.04
Digital Stop Watch	32.61	3.31	-
Smart Scope Machine	14.94	3.60	-
Digital Thermometer	70.98	8.17	-

Department Industrial Engineering Student's signature .....

Field of study Industrial Engineering Advisor's signature .....

Academic year 2003 Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ของ รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาสละเวลาให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางและการปรับปรุงที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยมาด้วยดีมาตลอด

และกราบขอบพระคุณท่านคณาจารย์ที่ร่วมเป็นประธานกรรมการ และกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่การสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ ในการให้ข้อแนะนำ เพื่อแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความเรียบร้อยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ อัครประถมพงศ์ และอาจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์

สุดท้ายนี้ที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา คุณพ่อสุวิทย์ คุณแม่นิตยา เพชรรุ่ง คุณตาเล่งเพียว เตียวกุล คุณณัฐธร ฤทธิเนตร และครอบครัวของผู้เขียนทุกทุกคนที่ให้ได้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาตลอด และขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามที่ได้ให้ความช่วยเหลือตลอดงานวิจัยนี้ มา ณ ที่นี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 7
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 7
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 12
1.5 แผนงานการดำเนินการวิจัย..... 13
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา..... 14
1.7 ทฤษฎีและงานสำรวจวรรณกรรม..... 14

บทที่ 2 แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 23
2.1 การวัด(Measurement)..... 23
2.2 ความคลาดเคลื่อนในการวัด..... 23
2.3 โครงการลดความผิดพลาด..... 26
2.4 การควบคุมรักษาเครื่องมือวัด..... 26
2.5 ความผิดพลาดจากการวัด..... 27
2.6 เทคนิคในการวัด..... 28
2.7 ความผันแปรในระบบการวัด..... 29
2.8 แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด..... 35
2.9 การวิเคราะห์ระบบการวัด : วิธีการและการตีความหมาย..... 38
2.9.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด..... 39
2.9.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด..... 47
2.10 การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลนับ..... 52
2.11 ความผันแปรของระบบการวัดในการศึกษาความสามารถของกระบวนการ..... 54

หน้า

บทที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัทกรณีศึกษาและระบบการผลิต..... 56
3.1 ข้อมูลจำเพาะของบริษัทกรณีศึกษา..... 56
3.2 โครงสร้างองค์กรของบริษัทกรณีศึกษา..... 57
3.3 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต..... 58
3.4 กรรมวิธีการผลิต..... 59
3.5 ขั้นตอนการผลิตวงจรรวม..... 59
3.6 ขั้นตอนการผลิตของกระบวนการซีล..... 63

บทที่ 4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการศึกษาวิจัย..... 66
4.1 เครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด..... 66
4.1.1 กล้องโลเพาเวอร์สโคปแบบมีสเกลวัด..... 66
4.1.2 เครื่องเอกซเรย์..... 69
4.1.3 นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล..... 72
4.1.4 เครื่องสมาร์ทสโคป..... 73
4.1.5 เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล..... 76
4.2 เครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับ..... 77
4.2.1 กล้องโลเพาเวอร์สโคปแบบมีสเกลวัด..... 78

บทที่ 5 การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด..... 80
5.1 การวิเคราะห์ค่าเอนเอียง..... 80
5.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงเส้นตรง..... 85
5.3 การวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูล..... 99

บทที่ 6 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด..... 109
6.1 การประเมินค่าGR&R สำหรับเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด..... 110
6.1.1 การวิเคราะห์ผล Gage Repeatability and Reproducibility ของกล้องโลเพาเวอร์สโคปแบบมีสเกลวัด..... 127
6.1.2 การวิเคราะห์ผล Gage Repeatability and Reproducibility ของเครื่องเอกซเรย์..... 130
6.1.3 การวิเคราะห์ผล Gage Repeatability and Reproducibility ของนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล..... 134

หน้า

6.1.4 การวิเคราะห์ผล Gage Repeatability and Reproducibility ของเครื่องสมาร์ทสโคป..... 137
6.1.5 การวิเคราะห์ผล Gage Repeatability and Reproducibility ของเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล.....139
6.2 การวิเคราะห์ระบบการวัดเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับ..... 141

บทที่ 7 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดหลังดำเนินการปรับปรุงแก้ไข..... 160
7.1 เครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด.....160
7.1.1 การวิเคราะห์ผล Gage Repeatability and Reproducibility หลังการปรับปรุงครั้งที่ 1 ของกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป แบบมีสเกลวัด..... 175
7.1.2 การวิเคราะห์ผล Gage Repeatability and Reproducibility หลังการปรับปรุงครั้งที่ 1 ของเครื่องเอกซเรย์.....177
7.1.3 การวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดในการตรวจจับความผันแปรของสิ่งตัวอย่าง..... 186

บทที่ 8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 192
8.1 การวิเคราะห์ผลการวิจัย..... 192
8.2 สรุปผลการดำเนินงาน..... 195
8.2.1 การวิเคราะห์ผลความถูกต้องของระบบการวัด.....195
8.2.2 การวิเคราะห์ผลความแม่นยำของระบบการวัด.....199
8.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย..... 202
8.4 ประโยชน์ในทางประยุกต์ของผลวิจัยที่ได้..... 203
8.5 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย..... 204
รายการอ้างอิง.....207
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ตารางค่าที่ใช้ในการคำนวณ..... 209
ภาคผนวก ข. คู่มือการปฏิบัติงานของพนักงานในสายการผลิตซีล.....210
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 224

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 สรุปสาเหตุการเล็ดลอดของของเสียที่สุ่มตรวจพบโดยคิวซี จากรายงานการวิเคราะห์ ปัญหาคุณภาพภายใน (Internal 8D Report) ปี 2546 เดือนมกราคมถึงเดือนกรกฎาคม..... 3

1.2 แสดงจำนวนพนักงานใหม่ที่เข้ามาทำงานในปี 2545 ในแต่ละ กะ การผลิต..... 4

1.3 แสดงรายการเครื่องมือวัดที่ใช้ภายในสายการผลิตซีล และสถานะการทำ GR&R (Measurement List in Operation and GR&R list status) 8

2.1 แสดงสาเหตุแห่งความผิดพลาดในการวัดด้วยเครื่องมือวัดเชิงกล..... 34

2.2 แสดงประเภทความผันแปรในระบบการวัด..... 34

3.1 แสดงกลุ่มของกระบวนการผลิตหลักของบริษัทกรณีศึกษา..... 59

4.1 แสดงความถี่และวิธีการบำรุงรักษากล้องไมโครสโคป..... 75

5.1 แสดงสรุปผลการประเมินค่าเปอร์เซ็นต์ความเอนเอียง(% Bias) จากการศึกษา..... 84

5.2 แสดงค่าที่ได้การศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัดและย่านการวัดที่สามารถใช้งานได้ของเครื่องมือแบบข้อมูลวัด..... 98

5.3 แสดงเปอร์เซนต์ความมีเสถียรภาพและค่าพิกัดควบคุมจากการศึกษาความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัดทั้ง 5 เครื่องที่ใช้ในสายการผลิตซีล..... 107

6.1 สรุปผลการประเมินความแม่นยำของเครื่องมือวัดด้วยวิธี GR&R..... 126

6.2 แสดงการประเมินค่า Gage Repeatability and Reproducibility จากเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับด้วยกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป ของกะ A..... 143

6.3 แสดงการประเมินค่าประสิทธิผล (Effective) ของระบบการตรวจสอบแบบข้อมูลนับด้วยกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป ของกะ A..... 144

6.4 แสดงการประเมินค่า Gage Repeatability and Reproducibility ด้วยเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับด้วยกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป ของกะ B.....147

6.5 แสดงการประเมินค่าประสิทธิผล (Effective) ของระบบการตรวจสอบแบบข้อมูลนับด้วยกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป ของกะ B..... 148

6.6 แสดงการประเมินค่า Gage Repeatability and Reproducibility ด้วยเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับด้วยกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป ของกะ C..... 151

6.7 แสดงการประเมินค่าประสิทธิผล (Effective) ของระบบการตรวจสอบแบบข้อมูลนับด้วยกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป ของกะ C..... 152

6.8 แสดงการประเมินค่า Gage Repeatability and Reproducibility ด้วยเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับด้วยกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป ของกะ D..... 155

6.9 แสดงการประเมินค่าประสิทธิผล (Effective) ของระบบการตรวจสอบแบบข้อมูลนับด้วยกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป ของกะ D..... 156

บทที่ หน้า

6.10 สรุปผลการประเมินความแม่นยำของเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับจาก 4 กะ การผลิต.159

7.1 สรุปผลการประเมินค่า %GR&R ของเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด หลังดำเนินการ ปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1.....174

7.2 สรุปผลการประเมินค่า %GR&R ของเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด หลังดำเนินการ ปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2.....184

7.3 ตารางสรุปผลการประเมินความแม่นยำของเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด หลังดำเนินการปรับปรุงแก้ไข..... 185

8.1 สรุปผลการประเมินค่าความเอนเอียงของเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัดที่ใช้ ในสายการผลิตซีล ของบริษัทกรณีศึกษา..... 196

8.2 สรุปผลการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด และย่านการวัด ที่สามารถใช้งานได้ของเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด.....197

8.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความมีเสถียรภาพจากการศึกษาความมีเสถียรภาพของ เครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัดทั้ง 5 ชนิดที่ใช้ในสายการผลิตซีล..... 198

8.4 การเปรียบเทียบ %GR&R ก่อนดำเนินการปรับปรุง และหลังดำเนินการปรับปรุง สำหรับเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด.....200

8.5 สรุปผลการประเมินความแม่นยำของเครื่องมือแบบข้อมูลนับจาก 4 กะ การผลิต.... 201

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

1.1 แสดงรูปตัวอย่างวงจรชนิด 14L SOMT (PPF FRAME) หนึ่งสินค้าของโรงงานตัวอย่าง....1

1.2 แสดงกราฟของสาเหตุการเล็ดลอดของปัญญาที่สุ่มตรวจพบโดยคิวซี จากรายงานการวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพภายใน (Internal 8D Report) ปี 2546 เดือนมกราคมถึงเดือน กรกฎาคม....3

1.3 แสดงสัดส่วนของพนักงานเก่า และพนักงานเข้าใหม่ ในปี 2546....5

1.4 แสดงขั้นตอนกระบวนการผลิตรวม (Flow Chart of Integrated Circuit Manufacturing) 6

1.5 แสดงรูปของเครื่องมือวัดที่มีในสายการผลิตซีล (Seal's Measurement Pictures).. 10

2.1 แสดงความเที่ยงตรง และความแม่นยำของระบบการวัด.... 28

2.2 แสดงกระบวนการวัดที่เสถียร.... 30

2.3 แสดงกระบวนการวัดที่ไม่เสถียร....31

2.4 แผนภูมิก้างปลาของสาเหตุของความผันแปรของระบบการวัด.... 32

2.5 แสดงการจำแนกความคลาดเคลื่อนจากการวัดออกเป็นแหล่งต่าง ๆ 35

2.6 แสดงโครงสร้างของการสอบเทียบได้สำหรับมาตรฐานการสอบเทียบ....36

2.7 แสดงแนวความคิดในการประเมินความผันแปร.... 38

2.8 แสดงความหมายของคุณสมบัติด้านความเอนเอียงของระบบการวัด.... 40

2.9 แสดงความหมายของคุณสมบัติด้านความเสถียรภาพของระบบการวัด.... 42

2.10 แสดงลักษณะคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด.... 45

2.11 แสดงลักษณะความผันแปรแบบรีพีททะบิลิตี้....48

2.12 แสดงลักษณะความผันแปรแบบรีโปรดิวซิบิลิตี้.... 48

2.13 แสดงความผันแปรจากรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้....49

2.14 แสดงสภาวะของกระบวนการ.... 55

3.1 แสดงผังโครงสร้างองค์กรของบริษัทกรณีศึกษา.... 57

3.2 แสดงตัวอย่างของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวงจรรวม.... 58

3.3 แสดงการไหลของกระบวนการผลิตวงจรรวม(Integrated Circuit: IC).... 62

3.4 แสดงตัวอย่างเครื่องฉีดพลาสติกแบบอัตโนมัติที่ใช้ในกระบวนการซีล....63

3.5 แสดงรูปตัวอย่างแม่พิมพ์ที่ใช้ในกระบวนการซีล.... 64

3.6 แสดงแผงวงจรรวมที่ออกจากเครื่องฉีดพลาสติกจากกระบวนการซีล.... 64

3.7 แสดงวิธีการจัดวางของแผงวงจรรวมลงแมกกาซีน เพื่อส่งไปขั้นตอนการผลิตลำดับต่อไปเมื่อผ่านกระบวนการซีลแล้ว.... 65

หน้า

4.1 แสดงภาพและส่วนประกอบของกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป แบบมีสเกลวัด..... 67
4.2 แสดงภาพและส่วนประกอบของเครื่องเอกซ์เรย์..... 69
4.3 แสดงภาพและส่วนประกอบของนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล..... 72
4.4 แสดงภาพและส่วนประกอบของเครื่องสมาร์ทสโคป..... 73
4.5 แสดงภาพและส่วนประกอบของเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล..... 76
4.6 แสดงภาพและส่วนประกอบของโลเพาเวอร์ไมโครสโคป.....78
5.1 แสดงการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าความเอนเอียงของกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคปแบบมีสเกล..... 81
5.2 แสดงการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าความเอนเอียงของเครื่องเอกซ์เรย์..... 82
5.3 แสดงการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าความเอนเอียงของนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล..... 82
5.4 แสดงการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าความเอนเอียงของเครื่องสมาร์ทสโคป..... 83
5.5 แสดงการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าความเอนเอียงของเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล.....83
5.6 แสดงการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคปแบบมีสเกล..... 87
5.7 แสดงตาราง Anova เพื่อการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอยในการประเมินค่าคุณสมบัติเชิงเส้งตรงของกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคปแบบมีสเกล..... 88
5.8 แสดงการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องเอกซ์เรย์.....89
5.9 แสดงตาราง Anova เพื่อการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอยในการประเมินค่าคุณสมบัติเชิงเส้งตรงของเครื่องเอกซ์เรย์.....90
5.10 แสดงการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล.....91
5.11 แสดงตาราง Anova เพื่อการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอยในการประเมินค่าคุณสมบัติเชิงเส้งตรงของนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล..... 92
5.12 แสดงการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรงเครื่องสมาร์ทสโคป..... 93
5.13 แสดงตาราง Anova เพื่อการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอยในการประเมินค่าคุณสมบัติเชิงเส้งตรงของเครื่องสมาร์ทสโคป..... 94
5.14 แสดงการวิเคราะห์ผลการประเมินค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล..... 95

หน้า

5.15 แสดงตาราง Anova เพื่อการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย ในการประเมินค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล..... 96
5.16 แสดงขั้นตอนของการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพ..... 101
5.17 แสดงการวิเคราะห์การประเมินคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของกล้อง โลเพาเวอร์ไมโครสโคปแบบมีสเกล..... 102
5.18 แสดงการวิเคราะห์การประเมินคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของ เครื่องเอกซ์เรย์ 103
5.19 แสดงการวิเคราะห์การประเมินคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของ นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล 104
5.20 แสดงการวิเคราะห์การประเมินคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของ เครื่องสมาร์ทสโคป 105
5.21 แสดงการวิเคราะห์การประเมินคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของ เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล 106
6.1 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ความแม่นยำด้วยวิธี Gage Repeatability and Reproducibility 112
6.2 แสดงการคำนวณค่า GR&R ของกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป โดยวิธี Anova โดยการใช้โปรแกรม Minitab และ โปรแกรม Excel..... 113
6.3 แสดงการคำนวณค่า GR&R ของเครื่องเอ็กซ์เรย์ โดยวิธี Anova โดยการใช้ โปรแกรม Minitab และ โปรแกรม Excel..... 115
6.4 แสดงการคำนวณค่า GR&R ของนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล โดยวิธี Anova โดยการใช้โปรแกรม Minitab และ โปรแกรม Excel..... 117
6.5 แสดงการคำนวณค่า GR&R ของเครื่องสมาร์ทสโคป โดยวิธี Anova โดยการใช้ โปรแกรม Minitab และ โปรแกรม Excel..... 120
6.6 แสดงการคำนวณค่า GR&R ของเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล โดยวิธี Anova โดยการใช้โปรแกรม Minitab และ โปรแกรม Excel..... 123
6.7 แสดงตัวอย่างของสเกลที่พนักงานสามารถปัดค่าที่อ่านได้แตกต่างกัน..... 128
6.8 แสดงความแตกต่างของภาพ เมื่อพนักงานปรับตั้งค่ากำลังขยายของกล้อง โลเพาเวอร์ไมโครสโคปไม่เท่ากัน..... 128
6.9 แสดงความหลากหลายของจุดอ้างอิงของการวัดที่พนักงานใช้ในการวัด..... 129
6.10 แสดงความแตกต่างของภาพที่เกิดจากการปรับความละเอียดของภาพ..... 129
6.11 แสดงความหลากหลายของแผงเฟรม..... 130

หน้า

6.12 แสดงการไม่กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นอ้างอิงให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งเริ่มต้นและสิ้นสุดที่แท้จริงของเส้นลวด..... 132
6.13 แสดงความไม่ถูกต้องในการกำหนดจุดสูงสุดในการเบี่ยงเบนของเส้นลวดของพนักงานวัด..... 133
6.14 แสดงความแตกต่างของภาพในการปรับแต่งขนาดสเกลที่ขยายภาพที่แตกต่างกัน.. 133
6.15 แสดงถึงจุดอ้างอิงในการวัดระยะเวลาการอบแพคเกจในแม่พิมพ์ ของเครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อไดอิชิและยี่ห้อฟิโก้..... 136
6.16 แสดงความแตกต่างของสีแผงเฟรมทองแดง เมื่อผ่านความร้อน..... 138
6.17 แสดงเศษหรือคราบของพลาสติกที่เกิดจากกระบวนการไล่อากาศออกมาจากภายในของแม่พิมพ์ที่แผงเฟรม.....139
7.1 แสดงการประเมินค่า %GR&R ของกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป หลังการปรับปรุงครั้งที่ 1 โดยวิธี Anova ด้วยโปรแกรม MiniTap และโปรแกรม Excel 161
7.2 แสดงการประเมินค่า% GR&R ของเครื่องเอกซ์เรย์ หลังการปรับปรุงครั้งที่ 1 โดยวิธี Anova ด้วยโปรแกรม MiniTap และโปรแกรม Excel 163
7.3 แสดงการประเมินค่า% GR&R ของนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล หลังการปรับปรุงครั้งที่ 1 โดยวิธี Anova ด้วยโปรแกรม MiniTap และโปรแกรม Excel..... 165
7.4 แสดงการประเมินค่า% GR&R ของเครื่องสมาร์ทสโคป หลังการปรับปรุงครั้งที่ 1 โดยวิธี Anova ด้วยโปรแกรม MiniTap และโปรแกรม Excel 168
7.5 แสดงการประเมินค่า% GR&R ของเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล หลังการปรับปรุงครั้งที่ 1 โดยวิธี Anova ด้วยโปรแกรม MiniTap และโปรแกรม Excel..... 171
7.6 แสดงความหลากหลายของจุดอ้างอิงของการวัดที่พนักงานใช้ในการวัด..... 176
7.7 แสดงความหลายหลายของแผงเฟรม..... 177
7.8 แสดงการไม่กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นอ้างอิงให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งเริ่มต้นและสิ้นสุดที่แท้จริงของเส้นลวด.....178
7.9 แสดงความไม่ถูกต้องในการกำหนดจุดสูงสุดในการเบี่ยงเบนของเส้นลวดของพนักงานวัด 179
7.10 แสดงการประเมินค่า% GR&R ของกล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป หลังการปรับปรุงครั้งที่ 2 ด้วยโปรแกรม Minitap และโปรแกรม Excel.....180
7.11 แสดงการประเมินค่า % GR&R ของเครื่องเอกซเรย์หลังการปรับปรุงครั้งที่ 2 โดยวิธี ANOVA ด้วยโปรแกรม Mini Tap และโปรแกรม Excel..... 182

หน้า

7.12 แสดงแผนภูมิควบคุม Xbar ของพนักงานที่ใช้กล้องโลเพาเวอร์ไมโครสโคป แบบมีสเกล..... 186
7.13 แสดงแผนภูมิควบคุม Xbar ของพนักงานที่ใช้เครื่องเอกซเรย์..... 187
7.14 แสดงแผนภูมิควบคุม Xbar ของพนักงานที่ใช้นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล..... 188
7.15 แสดงแผนภูมิควบคุม Xbar ของพนักงานที่ใช้เครื่องสมาร์สโคป.....189
7.16 แสดงแผนภูมิควบคุม Xbar ของพนักงานที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล..... 190

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย