

การระบุตำแหน่งและชนิดของข้อบกพร่องของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย
วิธีการเบนช์เทสในโหมดพลังงานต่ำ

IDENTIFICATION OF THE LOCATION AND TYPE OF DEFECTS OF
MICROCONTROLLERS BY USING BENCH TEST IN LOW POWER MODE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-043-142

การระบุตำแหน่งและชนิดของข้อบกพร่องของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย
วิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ

IDENTIFICATION OF THE LOCATION AND TYPE OF DEFECTS OF
MICROCONTROLLER ICs BY USING BENCH TEST IN LOW POWER MODE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-043-142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IDENTIFICATION OF THE LOCATION AND TYPE OF DEFECTS OF
MICROCONTROLLER ICS BY USING BENCH TEST IN LOW POWER MODE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MICROELECTRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

KMITL-2019-EN-M-043-142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การระบุตำแหน่งและชนิดของข้อบกพร่องของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ
นักศึกษา	นายปรินทร์ เดชขมิ
รหัสประจำตัว	59601182
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอกระบวนการเบนซ์เทสเพื่อวัดค่ากระแสรั่วไหล นำไปสู่การตรวจสอบตำแหน่งและชนิดของข้อผิดพลาดในไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโหมดพลังงานต่ำ เพื่อประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบข้อผิดพลาดไอซีในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ ในกรณีที่กระแสรั่วไหลต่ำเกินกว่าเครื่องโอวีเคิร์ฟเทรเซอร์ จะตรวจจับได้ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ PxCxxxx และ DSPxCxxxx จำนวน 38 ตัว ซึ่งพบความผิดปกติในการใช้งานและไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่องโอวีเคิร์ฟเทรเซอร์ กระบวนการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำใช้การเขียนโปรแกรมผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ การเขียนโปรแกรมโดยอ้างอิงใบแสดงข้อมูลการใช้งานอุปกรณ์ (Datasheet) ของอุปกรณ์แต่ละกลุ่มตัวอย่าง และการวัดค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าจำลองการใช้งานอุปกรณ์เสมือนการใช้งานจริง การวัดค่ากระแสไฟฟ้ารั่วไหล จากกลุ่มตัวอย่าง 38 ตัว สามารถตรวจจับได้ 34 ตัว คิดเป็น 89.47% ซึ่งอ่านค่าได้สูงกว่าค่าที่อ้างอิง (0.95 V – 1.80 V) การตรวจวิเคราะห์ตำแหน่งข้อผิดพลาดด้วยเครื่อง Light Emission Microscope ผ่านกระบวนการเบนซ์เทส พบว่าไอซีตรวจสอบได้ว่ามีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลสามารถระบุตำแหน่งขององค์ประกอบที่ผิดปกติในวงจร ได้ 31 ตัว คิดเป็น 81.57% ในพื้นที่แบบสุ่ม โดยพบชนิดของข้อผิดพลาดทั้งหมด 11 ประเภท ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ก่อให้เกิดการลัดวงจรได้ทั้งสิ้น ในงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งข้อผิดพลาด เมื่อตรวจกระแสรั่วไหลได้จากทั้ง เครื่องโอวีเคิร์ฟเทรเซอร์ และ เบนซ์เทสโหมดพลังงานต่ำ พบว่าการระบุตำแหน่งของความผิดปกติขององค์ประกอบวงจรด้วยวิธีการเบนซ์เทสได้และวิธีการเครื่องโอวีเคิร์ฟเทรเซอร์ระบุตำแหน่งได้ในตำแหน่งเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Identification of the location and type of defects of Microcontroller ICs by using Bench Test in low power mode.
Student	Mr. Parin Dechmune
Student ID.	59601182
Degree	Master of Engineering
Program	Microelectronics Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Narin Atiwongsangthong

ABSTRACT

This thesis presents a Bench test process for measuring the leakage current leading to the identification of location and type of defect in the IC microcontroller with low power mode. To be used for IC failure verifying in the semiconductor industry. In case that the leakage current is lower than the IV curve tracer specification. The sample group used in the study was 38 microcontrollers in type PxCxxxx and DSPxCxxxx which found abnormalities in process and could not be detected with IV curve tracer. The Bench test process in low power mode uses C+ programming through the interface between the computer and the microcontroller IC by programming based on the datasheet of the device in each sample group. And measuring electrical current in circuits by simulating the use of devices as if in actual use. Measuring the leakage current which is higher than the reference value in data sheet can detect 34 (89.47%) from 38 samples. Which can be read higher than the reference value (0.95 V - 1.80 V). The defect location identification by Light Emission Microscope with bench test configuration showed that 31 samples (81.57%) found the failure location in a random area. There is a total of 11 defect types, which are short-circuit faults. The researcher compared the failure location when detecting the leakage current from both the IV curve tracer and the low power bench test. The result showed same suspect location for the both method.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการสนับสนุนจาก ผศ.ดร.นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวการดำเนินงานวิจัย และวิธีแก้ไขปัญหา ระหว่างการดำเนินงาน รวมไปถึงการอบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง สำหรับการถ่ายทอดความรู้ที่มีส่วนที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี ช่วยเหลือให้คำปรึกษาทางวิชาการและติดต่อประสานงาน ตลอดการดำเนินการวิจัย ตลอดจนปลูกฝังคุณธรรมสั่งและให้ประสบการณ์ที่ดีงาม

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ ดร.รังสรรค์ เมืองเหลือ และ คณาจารย์ทุกท่าน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่อบรมให้วิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณผู้อุปการะคุณทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมให้ดำเนินงานวิจัย ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้บรรลุตามเป้าหมายอย่างสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จทุกท่านที่ให้ความสนับสนุนด้านการศึกษา การดูแลในด้านต่างๆ รวมทั้งกำลังใจที่นำมาโดยตลอด ส่งผลให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณประโยชน์อันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบให้แก่คณาจารย์ที่เคารพทุกท่าน และ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งให้ความอนุเคราะห์จัดวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จทุกประการ

ปรินทร์ เดชมนี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อ.....	XIII
รายการคำศัพท์เทคนิค.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.7 คำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	6
2.1.1 ประเภทของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	7
2.1.2 ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC12F609.....	9
2.1.3 การทดสอบไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์.....	11
2.1.4 ไอซีที่มีความผิดปกติ.....	12
2.2 ความรู้เบื้องต้นการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์.....	12
2.3 หลักการเบนซ์เทส.....	14
2.3.1 ความรู้พื้นฐานของเบนซ์เทส (Bench test)	14
2.3.2 การเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ.....	15
2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิเคราะห์ข้อผิดพลาดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	16
2.4.1 กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงและต่ำ (High and Low Power Microscope)	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 เครื่องเอกซเรย์.....	18
2.4.2.1 โครงสร้างของหลอดเอ็กซเรย์.....	18
2.4.2.2 การระบายความร้อนในหลอดเอ็กซเรย์.....	20
2.4.2.3 แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า (Generator).....	20
2.4.3 ไอวีเคิร์ฟ (IV curve tracer).....	21
2.4.4 หลักการทำ Optical Beam Induced Resistance Change (OBIRCH) และ Ion Emission ด้วยเครื่อง Light Emission Microscope (LEM)	24
2.4.4.1 หลักการทำ Optical Beam Induced Resistance Change (OBIRCH).....	24
2.4.4.2 กระบวนการระบุตำแหน่งด้วยวิธีกระจายไอออน.....	26
2.4.5 มัลติมิเตอร์.....	27
2.5 อุปกรณ์เชื่อมต่อสำหรับเขียนโปรแกรมคำสั่งให้อุปกรณ์.....	37
2.6 รูปแบบของข้อบกพร่องบนไอซี.....	38
2.6.1 Particle defect	38
2.6.2 Fabrication defect.....	38
2.6.3 Electrical Over stress	38
2.6.4 Electrical Static Discharge damages.....	39
2.6.5 Poly defect	40
2.6.6 Scratch die	40
2.6.7 Cracked die	40
2.6.8 Interconnection.....	41
2.6.9 Oxide defect.....	41
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	42
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	46
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย.....	46
3.1.1 ประชากรในงานวิจัย	46
3.1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย	46
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	46
3.2.1 การเชื่อมต่อไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมคำสั่ง.....	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลสำหรับไอซีด้วยวิธีเบนซ์เทส.....	47
3.2.3 การวัดกระแสรั่วไหลด้วยเครื่องไอวีเคิร์ฟ (IV curve tracer).....	49
3.2.4 การระบุตำแหน่งข้อบกพร่องบนหน้าได้ด้วยเครื่อง LEM.....	50
3.2.5 การวิเคราะห์และระบุชนิดข้อผิดพลาดของไอซี.....	52
3.3 การโปรแกรมคำสั่งเบนซ์เทสพลังงานต่ำสำหรับไอซี.....	53
3.4 การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีเบนซ์เทส.....	54
3.5 การวิเคราะห์ตำแหน่งและระบุชนิดข้อผิดพลาด.....	58
3.5.1 การวิเคราะห์ตำแหน่งข้อผิดพลาด.....	58
3.5.2 การลบเลเยอร์ (de - layering)	60
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	64
4.1 ผลการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล.....	64
4.1.1 การวัดกระแสไฟฟ้า PxC1xxxx.....	66
4.1.2 การวัดกระแสไฟฟ้า ทรานซิสเตอร์ PxC18xxxx.....	69
4.2 ผลการระบุตำแหน่งและชนิดของข้อบกพร่อง.....	70
4.2.1 การระบุตำแหน่งที่มาของกระแสไฟฟ้ารั่วไหล.....	71
4.2.2 การชนิดของข้อบกพร่องจากตำแหน่งกระแสไฟฟ้ารั่วไหล.....	72
4.3 การเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งข้อผิดพลาดระหว่างวิธีเบนซ์เทสและวิธีไอวีเคิร์ฟ (IV curve tracer)	77
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	80
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	80
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	81
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	82

สารบัญ (ต่อ)

เอกสารอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก ผลงานทางวิชาการของงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	84
ประวัติผู้เขียน	91



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงการเชื่อมต่อขางานเข้ากับบอร์ดทดลอง.....	55
4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าของไอซี PxC12xxx no.1.....	65
4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าของไอซีจากการเบนซ์เทส.....	66
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของขั้วบกกพร่องกับช่วงกระแสไฟฟ้า.....	75
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอุปกรณ์กับแรงดันไฟฟ้าที่รั่วไหล.....	76
4.5 แสดงผลของการวัดกระแสไฟฟ้าระหว่างไอซีปกติและผิดปกติ.....	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่อข้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
2.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	7
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Z-80.....	7
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	8
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC.....	8
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR.....	9
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino.....	9
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC12F609.....	10
2.8 การทดสอบ Opens / Shorts Test : VSS Diode.....	11
2.9 กระบวนการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์.....	13
2.10 การวัดกระแสไฟฟ้าวไหลของไอซีในกระบวนการเบนซ์เทส.....	14
2.11 กราฟคุณลักษณะเชิงไฟฟ้าที่ผิดปกติ.....	15
2.12 ตัวอย่างโปรแกรมคำสั่งตั้งค่าสำหรับโหมดพลังงานต่ำ.....	15
2.13 การเชื่อมต่ออุปกรณ์โปรแกรมคำสั่ง.....	16
2.14 ส่วนประกอบของกล่องจูลทรศน์ (ก) กล่องจูลทรศน์กำลังขยายต่ำ (ข) กล่อง จูลทรศน์กำลังขยายสูง.....	16
2.15 เครื่องเอ็กซ์เรย์สำหรับใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	18
2.16 แสดงโครงสร้างหลอดเอกซเรย์ชนิด Stationary Anode.....	19
2.17 แสดงโครงสร้างหลอดเอกซเรย์ชนิด Rotating Anode.....	19
2.18 ลักษณะของหลอดเอ็กซ์เรย์ (ก) Stationary anode และ (ข) Rotating anode	20
2.19 IV curve tracers.....	21
2.20 ผลการทดสอบ IV curve tracers.....	22
2.21 โครงสร้างไดโอด P-N.....	22
2.22 ไดโอดในทางอุดมคติ (Ideal Diode)	23
2.23 กราฟคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของไดโอด.....	24
2.24 เครื่อง Light Emission Microscope.....	25
2.25 ผลการระบุตำแหน่งข้อผิดพลาดด้วย Light Emission Microscope (ก) การตรวจ กระแสรั่วไหลด้วยวิธีกระจายไอออน (Ion Emission) (ข) OBIRCH.....	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 การติดตั้งอุปกรณ์ OBIRCH และ Ion Emission.....	26
2.27 ผลการระบุตำแหน่งจากเครื่อง LEM (ก) ผลจากวิธีการกระจายไอออน (Ion Emission) (ข) ผลจากวิธีการ OBIRCH.....	27
2.28 ดิจิตอลมิเตอร์.....	27
2.29 ค่าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์แบบ True RMS และ MEAN.....	29
2.30 Hioki Model: DT-4282.....	29
2.31 การวัดแรงดันไฟฟ้า AC Hioki Model: DT-4282.....	30
2.32 การวัดแรงดันไฟฟ้า DC Hioki Model: DT-4282.....	30
2.33 การใช้ฟังก์ชันต่อเนื่อง Hioki Model: DT-4282.....	31
2.34 ฟังก์ชันการเช็คไดโอด Hioki Model: DT-4282.....	31
2.35 ฟังก์ชันการวัดความต้านทาน Hioki Model: DT-4282.....	32
2.36 การวัดอุณหภูมิ Hioki Model: DT-4282.....	32
2.37 การวัดค่าความจุไฟฟ้า Hioki Model: DT-4282.....	33
2.38 การวัดกระแส DC Hioki Model: DT-4282.....	33
2.39 ฟังก์ชัน SHIFT ในการวัดกระแส DC Hioki Model: DT-4282.....	34
2.40 การวัดกระแส DC (mA) Hioki Model: DT-4282.....	34
2.41 ฟังก์ชัน SHIFT ในการวัดกระแส DC Hioki Model: DT-4282.....	35
2.42 การวัดกระแส AC Hioki Model: DT-4282.....	35
2.43 Auto Hold function.....	36
2.44 ฟังก์ชันการตั้งค่าศูนย์ Hioki Model: DT-4282.....	37
2.45 อุปกรณ์เชื่อมต่อโปรแกรมคำสั่ง ICD3.....	37
2.46 particle defect บนชั้นโลหะ.....	38
2.47 Fabrication defect บนชั้นโลหะ.....	38
2.48 Electrical over stress defect.....	39
2.49 ESD damages.....	39
2.50 Poly defect.....	40
2.51 Die scratch.....	40
2.52 Cracked die.....	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.53 Interconnection.....	41
2.54 Gate oxide defect.....	42
3.1 โครงสร้างการเชื่อมต่อเพื่อเขียนโปรแกรมให้ไอซี (ก) โครงสร้างการเชื่อมต่อเพื่อเขียนโปรแกรมให้ไอซี (ข) การติดตั้งเครื่องมือสำหรับการเขียนโปรแกรม.....	47
3.2 ระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส.....	48
3.3 โครงสร้างการติดตั้งและวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีไอวีเคิฟ (ก) องค์ประกอบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีไอวีเคิฟ (ข) การเชื่อมต่ออุปกรณ์การไอวีเคิฟ.....	49
3.4 กราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากเครื่อง IV curve tracer.....	50
3.5 Light Emission Microscope.....	50
3.6 การติดตั้งบอร์ดภายในเครื่อง LEM.....	51
3.7 การแสดงผลความผิดปกติหน้าได้จากเครื่อง LEM.....	51
3.8 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หลายวงจร.....	52
3.9 ซิลิกาเหลว.....	53
3.10 ชุดโปรแกรมคำสั่งภาษาซีในโหมดพลังงานต่ำ PIC12F609.....	53
3.11 ขั้นตอนการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส.....	54
3.12 ตัวอย่างการเชื่อมต่อขางานของไอซีกับบอร์ดทดลอง.....	56
3.13 การเชื่อมต่อขางานลงบนบอร์ดทดลอง.....	56
3.14 การติดตั้งการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส (ก) การเชื่อมต่อบนบอร์ดทดลอง (ข) การเชื่อมต่อบอร์ดทดลอง กับอุปกรณ์ภายนอก.....	57
3.15 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งและข้อผิดพลาดของไอซี.....	58
3.16 การแสดงผลตำแหน่งผิดปกติจากเครื่อง LEM.....	59
3.17 หน้าได้ที่ตรวจสอบจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง.....	60
3.18 การตัดหน้าได้ด้วยสารซิลิกา.....	61
3.19 หน้าได้หลังจากผ่านกระบวนการตัดผิว.....	61
3.20 Passive voltage contrast.....	62
3.21 การลบวงจรบนไอซีด้วยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก.....	63
3.22 ข้อบกพร่องผลึกที่เกิดบนพื้นผิวซิลิกอน.....	63
4.1 การวัดกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบที่แรงดันไฟฟ้า 1.8 โวลต์.....	64
4.2 การวัดกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบที่แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์.....	65
4.3 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งที่เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล.....	71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ตัวอย่างข้อบกพร่องชนิด Particle defect.....	72
4.5 ตัวอย่างความเสียหายจากไฟฟ้าสถิตย์.....	72
4.6 ตัวอย่างความเสียหายจากกระแสไฟฟ้าแรงสูง.....	72
4.7 ตัวอย่างข้อบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการแพบริเคชัน.....	73
4.8 แสดงตำแหน่งการเกิดข้อบกพร่องระหว่างรอยต่อ.....	73
4.9 ตัวอย่างข้อบกพร่องที่เกิดบนชั้นโพลีซิลิกอน.....	73
4.10 ตัวอย่างข้อบกพร่องที่จากชั้นออกไซด์ผิดปกติ.....	74
4.11 ตัวอย่างรอยแตกร้าวบนหน้าใด.....	74
4.12 ตัวอย่างความเสียหายที่เกิดจากแรงกระแทก.....	74
4.13 ตัวอย่างความเสียหายที่เกิดจากการขีดข่วน.....	75
4.14 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ชนิดข้อผิดพลาดกับจำนวนอุปกรณ์ผิดปกติ.....	76
4.15 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนไอซีผิดปกติกับแรงดันไฟฟ้า.....	77
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้า.....	77
4.17 กราฟแสดงการระบุตำแหน่งด้วยเครื่อง LEM (ก) วิธีการไอวีเคิร์ฟ (ข) วิธีการเบนซ์ เทส.....	78

รายการคำย่อ

อักษรย่อ	คำเต็มภาษาอังกฤษ	คำเต็มภาษาไทย
SAM	Scanning Acoustic Microscope	เครื่องตรวจสอบบูรพูนวัสดุ
LEM	Light Emission Microscope	เครื่องตรวจสอบตำแหน่งผิดปกติ
OBIRCH	Optical Beam Induced Resistance Change	เทคนิคตรวจสอบตำแหน่งผิดปกติผ่านค่าความต้านทาน
SEM	Scanning Electron Microscope	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
MCU	Microcontroller	ไมโครคอนโทรลเลอร์
ATE	Auto metric Test Equipment	เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าไอซี
IC	Integrated Circuit	วงจรรวม
CPU	Central Processing Unit	หน่วยประมวลผลกลาง
RAM	Random Access Memory	หน่วยความจำชั่วคราว
ROM	Read Only Memory	หน่วยความจำถาวร
Ipd	Power down current	โหมดพลังงานต่ำ
Is	Saturation Current	กระแสไฟฟ้าอิ่มตัว
Vz	Zener Breakdown Voltage	แรงดันพังทลายซีเนอร์
EDX	Energy Dispersive X-ray Spectrometer.	การตรวจสอบคุณสมบัติวัสดุเชิงสเปกตรัม
PVC	Passive Voltage Contrast	เทคนิคการตรวจบริเวณที่มีแรงดันไฟฟ้าวงจรผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำศัพท์เทคนิค

ภาษาไทย	ภาษาอังกฤษ
การเชื่อมลวดทองคำ	Wire bonding
การตัดแบ่งไอซี	Saw bridging
การเชื่อมลวดไม่สมบูรณ์	Non-stick on pad
ความเสียหายเชิงกล	Mechanical Damage
รอยกดบนวงจร	Puncher Damage
ความเสียหายจากไฟฟ้าแรงสูง	Electrical over stress damages
ความเสียหายจากไฟฟ้าสถิตย์	Electro Static discharge damages
การทดสอบด้วยการจำลองใช้งาน	Bench test
กระบวนการเปิดหน้าวงจรไอซี	Decapsulation
การวิเคราะห์หาข้อผิดพลาด	Failure analysis
แรงดันพังทลาย	Breakdown Voltage
การวิเคราะห์ลายวงจร	Layout analysis
การลบชั้นลายวงจร	De-processing / De-layering
สารขัดผิวซิลิกาเหลวสีฟ้า	Blue Silica
ข้อบกพร่องเนื่องจากสารแปลกปลอม	Particle defect
ความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าสถิต	ESD damages
ความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าแรงสูง	EOS damages
ข้อบกพร่องเนื่องจากกระบวนการแพabriเคชั่น	Fab defect
ข้อบกพร่องบนจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้น	Interconnection
ข้อบกพร่องบนชั้นโพลีซิลิกอน	Poly defect
ข้อบกพร่องเนื่องจากชั้นออกไซด์	Oxide defect
รอยแตกกร้าวบนวงจรถ	Cracked die
ความเสียหายเนื่องจากแรงกระแทก	Mechanical damage
รอยขีดข่วนบนลายวงจร	Scratch die

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในยุคสมัยปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของเรา เนื่องจากว่าต่างก็ใช้ชีวิตอยู่กับเครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับการอำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตมากยิ่งขึ้น อาทิเช่น โทรศัพท์มือถือ โทรทัศน์ ตู้เย็น คอมพิวเตอร์ สิ่งเหล่านี้ล้วนอยู่ในชีวิตประจำวันและการทำงานของเรานี้ทั้งสิ้นและมีแนวโน้มที่จะมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้อุตสาหกรรมทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้กระทั่งอุตสาหกรรมยานยนต์นั้นเติบโตอย่างรวดเร็วในยุคสมัยนี้ และในปัจจุบันเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมเหล่านี้ก็ได้นำระบบอัตโนมัติเข้ามาทำงานมากขึ้น โดยอุปกรณ์ซึ่งถือได้ว่าเป็นกลไกสำคัญหรือกล่าวได้ว่าเป็นสมองของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นก็คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller ICs : MCU) โดยสิ่งนี้คือวงจรรวมที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ทำงานตามคำสั่งที่ต้องการ ซึ่งดังที่กล่าวข้างต้นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เปรียบได้เหมือนสมองของอุปกรณ์ ซึ่งหากอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้เกิดการชำรุดหรือเสียหาย ก็ทำให้ระบบการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์นั้นๆ เกิดความเสียหายได้ เช่น โทรศัพท์มือถือหากอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เสียหายก็เรียกได้ว่าโทรศัพท์มือถือนั้นชำรุดหรืออาจใช้งานใดๆ ไม่ได้เลย หรืออุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สำหรับควบคุมเซนเซอร์ภายในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ หากเสียหายก็จะนำไปสู่การสูญเสียเป็นมูลค่ามาก เป็นต้น ซึ่งกรณีข้างต้นจะเห็นว่าถ้าอุปกรณ์ควบคุมที่มีคุณภาพก็จะช่วยให้อุปกรณ์ทำงานได้เป็นปกติและรักษาไม่ให้เกิดการสูญเสียได้ ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ในอุตสาหกรรมประเภทนี้จึงถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญมากในกระบวนการผลิต ถึงกระทั่งถือได้ว่ามาตรฐานของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัทนั้นมีมาตรฐานมากแค่ไหนก็วัดได้จากระบบคุณภาพและวิเคราะห์สาเหตุของข้อผิดพลาดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นทุกโรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้จะต้องมีระบบวิเคราะห์ข้อผิดพลาดสำหรับแก้ไขข้อบกพร่องไม่ให้เกิดในกระบวนการผลิตต่อไป

การวิเคราะห์ข้อผิดพลาดเชิงผลึกของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถแบ่งชนิดของข้อผิดพลาดตามกระบวนการผลิตได้ 2 ประเภท ได้แก่ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการประกอบไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการเชื่อมลวดทองคำ (Wire bonding), กระบวนการตัดแบ่งไอซี (Saw bridging) หรือกระบวนการโมลปิดหน้าไดท์ เป็นต้น โดยข้อผิดพลาดที่เกิดจากกระบวนการนี้มักจะเป็นข้อผิดพลาดขนาดใหญ่ เช่นความเสียหายที่เกี่ยวกับการเชื่อมสายไฟฟ้า เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมลวดบนวงจรมิสมบูร์น (Non-stick on pad) หรือลวดกับขางาน (Non-stick on lead) เป็นต้น หรือจะเป็นความเสียหายเชิงกล (Mechanical Damage) ได้แก่ แผ่นใดแตกหัก (Chipped crack die), รอยกดบนวงจร (Puncher Damage) เป็นต้น นอกจากนี้ อาจเกิดจากกระบวนการทดสอบหลังประกอบเสร็จซึ่งเป็นการทดสอบทางไฟฟ้า เช่น ความเสียหายที่เกิดจากอุปกรณ์รับกระแสไฟฟ้ามากเกินไปที่จะรับหรือมีการต่อผิดขั้ว (Electrical over stress damages), ความเสียหายจากไฟฟ้าสถิตย์ (Electro Static discharge damages) โดยข้อผิดพลาดที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นล้วนเป็นข้อผิดพลาดขนาดใหญ่และรุนแรงซึ่งปกติแล้วจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แสดงออกถึงความผิดพลาดอย่างชัดเจนหรืออาจเห็นจากการสังเกตภายนอกด้วยซ้ำไป นั่นจึงเป็นสาเหตุที่กล่าวได้ว่าเป็นข้อผิดพลาดที่ตรวจพบได้ง่าย แต่ยังมีอีกข้อผิดพลาดหนึ่งที่ต้องใช้กระบวนการวิเคราะห์ที่ลึกซึ้งกว่า นั่นก็คือข้อผิดพลาดที่เกิดกับกระบวนการขึ้นลายวงจร และกระบวนการแพบริเคชัน (Fabrication defect) ซึ่งมักจะเป็นข้อผิดพลาดขนาดเล็กมากขนาดไมโครเมตร หรือนาโนเมตร โดยกระบวนการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดไอซีดังกล่าวนี้ ก็แบ่งเป็นกระบวนการตรวจสอบ 2 ระดับ คือ กระบวนการตรวจสอบพื้นฐานได้แก่ การใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ (Low power microscope) สำหรับการสังเกตองค์ประกอบภายนอกของไอซี, กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง (High power microscope) ใช้ตรวจสอบความผิดปกติของหน้าใด, IV curve tracer (James Beall และ David Wilson :1991.) สำหรับตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า, SAM (Scanning Acoustic microscope) สำหรับตรวจสอบความสมบูรณ์ของการโมลแพ็คเกจ การใช้อุปกรณ์ข้างต้นคือการตรวจสอบความผิดปกติโดยพื้นฐาน แต่ในหลายครั้งเราจะพบว่าความเสียหายของไอซีนี้นั้นเล็กมาก เราจึงต้องนำกระบวนการเชิงลึกมาช่วยไม่ว่าจะเป็นการใช้ Light Emission Microscope โดยกระบวนการ OBIRCH (Optical Beam Induced Resistance Change) สำหรับการระบุตำแหน่งของข้อผิดพลาดบนหน้าใด ซึ่งอาจไม่ได้อยู่ในชั้นบนสุดของใด การขัดงานด้วยซิลิกา และแม้กระทั่งการใช้ SEM สำหรับวิเคราะห์เชิงลึก จึงจะระบุชนิดของข้อผิดพลาดนั้นๆได้

การที่จะขัดวงจรด้วยซิลิกา จำเป็นต้องระบุตำแหน่งของข้อบกพร่องให้ได้เสียก่อนเพราะไอซีมีชั้นโลหะหลายชั้น เราไม่ทราบได้ว่าข้อบกพร่องอยู่ชั้นใดหากไม่ทราบตำแหน่งก็จะยากต่อการตรวจสอบ ซึ่งการตรวจสอบด้วยเครื่อง Light Emission Microscope เครื่องจะตรวจสอบจากกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลผิดปกติจากวงจร ซึ่งหากพบความผิดปกติที่กระแสไฟฟ้าตั้งแต่เครื่อง IV curve tracer เราสามารถเข้ากระบวนการต่อดังกล่าวได้เลย แต่ถ้ากรณีข้อบกพร่องขนาดเล็กมากกระแสรั่วไหลส่วนนี้จะน้อยมาก หรือมีการรั่วไหลเพียงบางฟังก์ชันการทำของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่ง IV curve tracer ตรวจสอบกระแสไฟฟ้านั้นๆไม่ได้ ส่งผลทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์กระบวนการต่อไปได้ จากปัญหาดังกล่าวของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ Noorsy ได้นำเสนอวิธีการเบนซ์เทส (Bench test) เพื่อหาข้อผิดพลาดของไอซีที่เกิดจากอุณหภูมิในปี ค.ศ. 2013 ผู้วิจัยจึงสนใจการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทสในรูปแบบพลังงานต่ำ โดยการใช้โปรแกรม

ภาษาซีและนำไปสู่การระบุตำแหน่งและชนิดของข้อบกพร่องไอซีต่อไป
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อทดสอบคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลของการเบนซ์เทสเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปกติ
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลระหว่างไอซีที่ปกติและผิดปกติ
- 1.2.3 เพื่อระบุชนิดข้อผิดพลาดของไอซีในตำแหน่งที่มีกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 สามารถวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสสามารถใช้แทนการใช้เครื่อง IV curve tracer ได้
- 1.3.2 กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ผ่านกระบวนการเบนซ์เทสมีความผิดปกติระหว่างไอซีปกติและผิดปกติ
- 1.3.3 พบข้อบกพร่องอันเป็นสาเหตุของกระแสไฟฟ้ารั่วไหลรูปแบบที่แตกต่างกันมากกว่า 5 แบบ

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซีด้วยวิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำนั้น ผู้วิจัยได้ใช้ขั้นตอนการวิจัยของ Meisi และ Noorsyuhada Hat (2015 และ 2013) สำหรับการอ้างอิง แสดงตามแผนผังดังรูปที่ 1.1 ซึ่งสรุปขั้นตอนโดยย่อดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบองค์ประกอบพื้นฐาน

- 1.1 ตรวจสอบความผิดปกติภายนอก (External Inspection) สังเกตโครงสร้างและองค์ประกอบของไอซี
- 1.2 เอ็กซเรย์(X-ray) สังเกตองค์ประกอบการเชื่อมต่อระหว่างขานกับได
- 1.3 การวัดคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าผ่านเครื่องไอวีเคิร์ฟ (IV curve tracer) ด้วยกราฟคุณสมบัติ IV
- 1.4 ตรวจสอบการประกบระหว่างการโมลปิดหน้าไดเพื่อดูช่องว่างภายในแพ็คเกจด้วยเครื่อง Scanning Acoustics microscope (SAM)

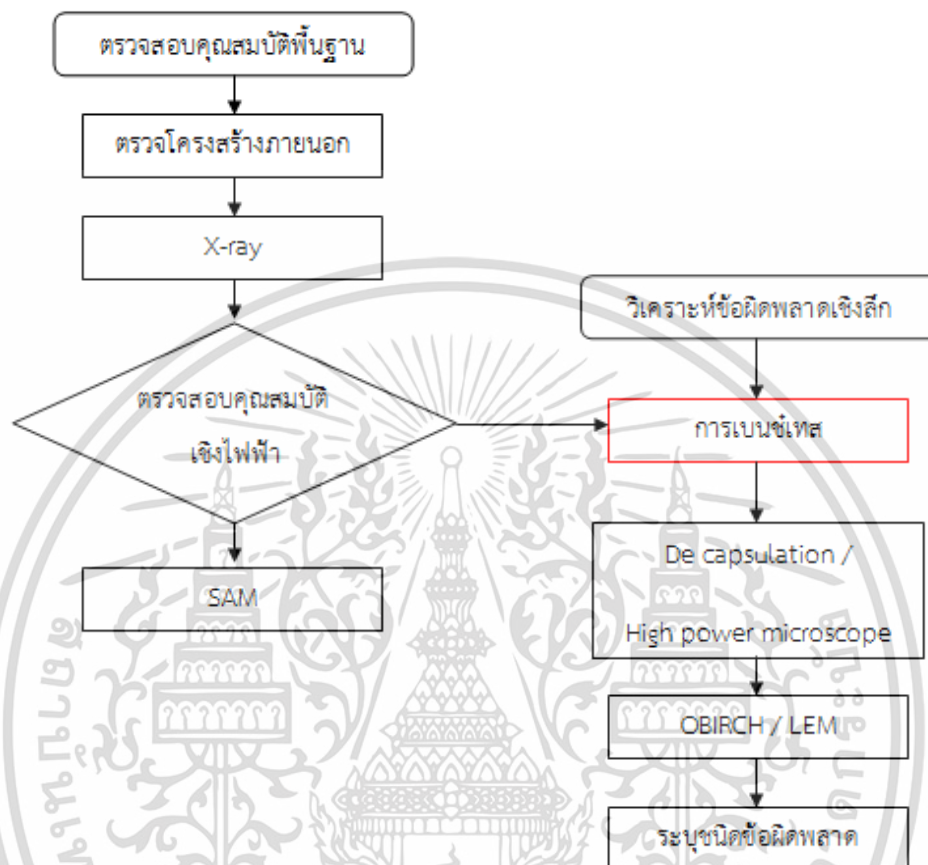
ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์เชิงลึก

- 2.1 การเบนซ์เทส (Bench test) ในโหมดพลังงานต่ำ ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาซีติดต่อกับตัวงาน และทำการวัดกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างงานปกติและผิดปกติ
- 2.2 เปิดหน้าได (De-capsulation) เพื่อตรวจสอบความผิดปกติบนหน้าไดผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง (High power microscope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การระบุตำแหน่งข้อผิดพลาด ด้วยกระบวนการ OBIRCH หรือ Ion Emission ผ่านเครื่อง Light emission microscope

2.4 การระบุชนิดข้อผิดพลาดของไอซี



รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีขอบเขต ดังนี้

1.5.1 ประชากร

ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCU8 MCU16 ในตระกูล PxC1xxxx ซึ่งเป็นตระกูลที่พบปัญหาที่ไอวีเคิร์ฟตรวจจับค่าไม่ได้มากที่สุด และผ่านการทดสอบหลังเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตและพบสิ่งผิดปกติจากบริษัทผลิตและผู้ใช้อีซีไมโครคอนโทรลเลอร์ในประเทศไทย

1.5.2 กลุ่มตัวอย่าง

เลือกตัวอย่างไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ จำนวน 4 ตระกูล โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจงไอซีผิดปกติจำนวน 30 ตัว จากไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่พบความผิดปกติแล้วจากบริษัทผู้ผลิตและผู้ใช้อีซีในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย

ตัวแปรต้น คือ การหาค่ากระแสไฟฟ้ารั่วไหลของไอซี จากการเบนซ์เทส

ตัวแปรตาม คือ คุณภาพ การเบนซ์เทสเปรียบเทียบกับวิธีการปกติ โดยวัดจากผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้ารั่วไหลไอซีที่ปกติกับไอซีที่ผิดปกติ และการระบุชนิดของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.6.1 ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์จะมาจากกระบวนการผลิตของบริษัทผู้ผลิตและผู้ใช้ในประเทศไทย โดยผ่านกระบวนการทดสอบ ATE: Auto metric Test Equipment จะเป็นไอซีที่ใช้สำหรับวิจัย

1.7 คำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในงานวิจัย

1.7.1 การเบนซ์เทส หมายถึง การจำลองสภาวะการทำงานเสมือนจริง ในฟังก์ชันการทำงานต่างๆของ อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยการเขียนโปรแกรมคำสั่งภาษาซี และตั้งค่าขางานใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลจากไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

1.7.2 ไอซี หมายถึง อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำ มีฟังก์ชันการทำงาน โดยมีหน่วยรับข้อมูลและโปรแกรม หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยแสดงผล โครงสร้างใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์

1.7.3 กระแสรั่วไหล (Leakage current) หมายถึง กระแสไฟฟ้าที่เกินกว่ากระแสปกติที่ถูกระบุไว้ในใบรายละเอียดการใช้งานไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

วิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำนั้นเป็นกระบวนการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ผิดปกติสำหรับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนของการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องไอซีในระบบคุณภาพของงานการผลิตไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องทราบความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไอซี กระบวนการวิเคราะห์ เครื่องมือและหลักการใช้ เพื่อให้สะดวกและเข้าใจหลักการของการวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้วยวิธีการเบนซ์เทสที่แท้จริง

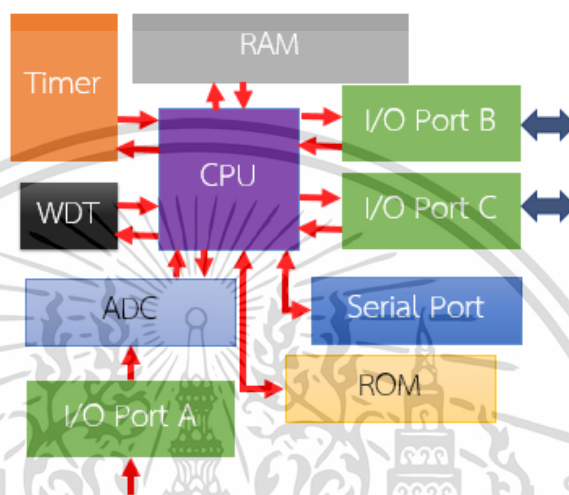
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (อังกฤษ: Microcontroller มักย่อว่า μC , uC หรือ MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียูหน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกันเป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ, ส่วนอินพุท/เอาต์พุท บางส่วนเข้าไปในตัว ไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา, วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เป็นต้น เรียกได้ว่า $\text{Microcontroller} = \text{Microprocessor} + \text{Memory} + \text{I/O}$ ไมโครคอนโทรลเลอร์ถ้าแปลความหมายแบบตรงตัวก็คือ ระบบคอนโทรลขนาดเล็กเรียกอีกอย่างหนึ่งคือเป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยผ่านการออกแบบวงจรให้เหมาะกับงานต่างๆ และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขา Input / Output เพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้อีกด้วย ซึ่งก็นับว่าเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ทั้งทางด้าน Digital และ Analog ยกตัวอย่างเช่น ระบบสัญญาณตอบรับอัตโนมัติ, ระบบบัตรคิว, ระบบตอกบัตรพนักงาน และอื่นๆ ยิ่งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อกับระบบ Network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบไปด้วย

- หน่วยประมวลผล
- หน่วยความจำชั่วคราว (RAM)
- หน่วยความจำถาวร (ROM)
- พอร์ตอินพุต,เอาต์พุต



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

(ที่มา www.Chokelive.com/blog/2013/07/Micro-Controller-Application.html)

2.1.1 ประเภทของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นิยมในปัจจุบันก็มีหลากหลายตระกูลที่ถูกนำมาใช้งาน มีตัวอย่างดังต่อไปนี้

2.1.1.1 Z-80 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นิยมใช้กันเริ่มตั้งแต่ตัวแรกที่เป็นลักษณะของ CPU ไม่ถึงขั้นเรียกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็คือ ตระกูล Z80 เป็นลักษณะของ CPU เล็กๆ



รูปที่ 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Z-80

(ที่มา www.Chokelive.com/blog/2013/07/Micro-Controller-Application.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 MCS-51 บริษัทที่สร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นบริษัทแรกคือบริษัท Intel ตระกูล MCS-51 เป็นตระกูลที่พัฒนาต่อจาก Z80



รูปที่ 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

(ที่มา www.Chokelive.com/blog/2013/07/Micro-Controller-Application.html)

2.1.1.3 PxC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ยุคต่อมาที่ได้รับความนิยมสูงอีกตระกูลหนึ่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คำว่า PIC ย่อมาจากคำว่า (Peripheral Interface Controller) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ มีการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นในทุกด้าน ทำให้ได้รับความนิยมกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ยุคเก่า เพราะในเรื่องของอุปกรณ์ต่อพ่วงที่มีน้อย ประกอบกับมีหน่วยความจำ EEPROM ในตัว



รูปที่ 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PxC

(ที่มา www.Chokelive.com/blog/2013/07/Micro-Controller-Application.html)

2.1.1.4 AVR เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นต่อมาที่มีการพัฒนาต่อมาจาก MCS-51 โดยบริษัท ATMEL



รูปที่ 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

(ที่มา www.Chokelive.com/blog/2013/07/Micro-Controller-Application.html)

2.1.1.5 Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดแบบสำเร็จรูปในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกสร้างมาจาก Microcontroller ตระกูล Advanced RISC Machine (ARM) ของ ATMEL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของ Open Source ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่างๆ ได้และความสามารถในการเพิ่ม Boot Loader เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้การ Upload Code เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้น



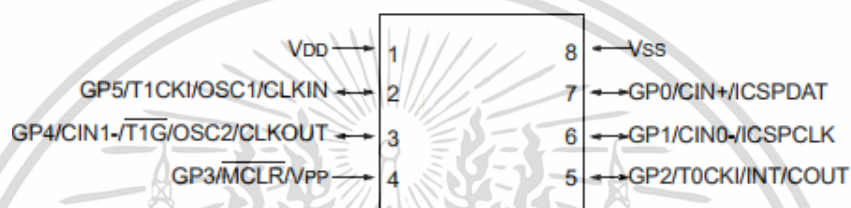
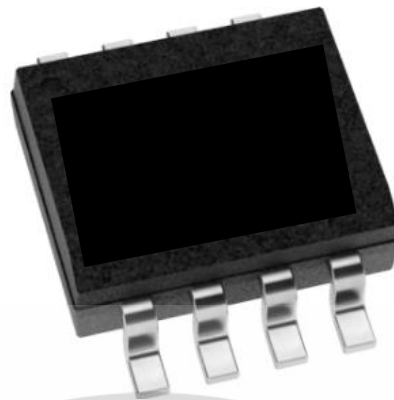
รูปที่ 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

(ที่มา www.Chokelive.com/blog/2013/07/Micro-Controller-Application.html)

2.1.2 ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PxC1xxxx

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PxC1xxxx เป็นไอซีที่นำมาทดสอบระบบการวัดกระแสรั่วไหล โดยใช้วิธีเบนซ์เทสที่พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับกรวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีไอวีเคิฟ และตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 2.7 เพื่อให้ทราบการนำแต่ละขาไปใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PxC1xxxx

โดยคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PxC1xxxx มีดังนี้

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PxC1xxxx ในตระกูล PxC1x
2. ความกว้างของบัสข้อมูล 8 bit
3. ทำงานที่ความถี่ 4 - 8 MHz
4. หน่วยความจำแฟลช 128 กิโลไบต์
5. ขนาดข้อมูลใน RAM 32 KB
6. แรงดันที่ใช้งาน 2V - 5.5 V
7. ค่าสูงสุดของอุณหภูมิในการใช้งาน +125 องศาเซลเซียส
8. ขนาดบิตอนาล็อก/ดิจิทัล 8บิต
9. ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิในการใช้งาน -40 องศาเซลเซียส

จะเห็นได้ว่า PxC1xxxx เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ สะดวกต่อการใช้งาน ความกว้างของบัสข้อมูล 8 bit สามารถใช้งานที่ความถี่ 4-8 MHz มีขนาดหน่วยความจำของโปรแกรม 128 KB และหน่วยความจำใช้งานแบบ RAM 32 KB ทำงานระหว่างอุณหภูมิ -40, 125 องศาเซลเซียส ได้อีกด้วย ถือว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีทรัพยากรพื้นฐานครบถ้วน เหมาะสำหรับมาใช้งานในหลายด้าน และนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและการประมวลผลต่างๆ เป็นอย่างดี

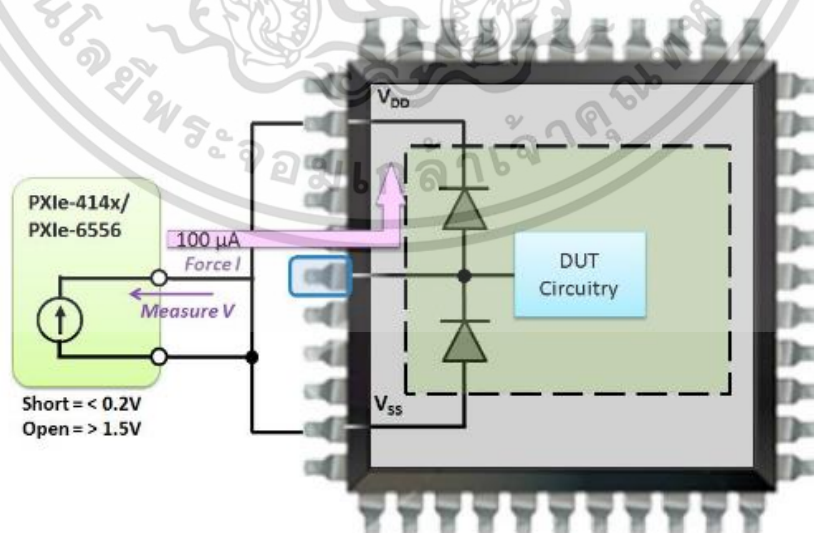
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การทดสอบไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

การทดสอบไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ เกิดหลังจากกระบวนการผลิตไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เสร็จสิ้น หรือเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับสินค้าของผู้ใช้งาน โดยในการทดสอบทางไฟฟ้า เป็นการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของไอซีว่าถูกต้องตามมาตรฐานของผู้ผลิตหรือไม่ หรือมีความผิดปกติเช่น การลัดวงจร หรือวงจรใดขาดหรือไม่ การทดสอบการลัดวงจรตรงนี้เรียกว่า Continuity test สำหรับการทดสอบขาอุปกรณ์ ทางด้านไฟฟ้าเราทดสอบได้ด้วยวิธี Probe Card, หรือทดสอบผ่านอุปกรณ์ใส่ไอซีเฉพาะที่เรียกว่า (Socket) ตรวจสอบเพื่อสังเกตว่ามีการต่อขาเข้ากับวงจรได้ถูกต้องหรือไม่ มีการหลุดของสายเชื่อมต่อหรือไม่ หรือแม้กระทั่งเกิดกระแสรั่วไหลที่กระแสไฟฟ้าหรือไม่

2.1.3.1 วิธีการในการทดสอบอุปกรณ์

การทดสอบการเปิดหรือการลัดวงจรที่ขาไอซีมีการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าได้ 2 วิธี ได้แก่การวัดกระแสไฟฟ้าขาเข้า (Input current) คือการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์เข้าขา I/O port ในขณะที่ขาอื่นมีแรงดันไฟฟ้า 0 V เพื่อตรวจสอบกระแสไฟฟ้าขาเข้าของวงจร โดยหากบ่อนกระแสบวกเข้าไปไดโอดตัวที่ต่อกับ VDD จะได้รับไบแอสตรง (Forward Bias)ซึ่งกระแสที่จ่ายเข้าไปมีค่าอยู่ระหว่าง 100 μ A ถึง 500 μ A ไดโอดที่ได้รับไบแอสตรงจะมีแรงดันตกคร่อมประมาณ 0.65 V และอีกวิธีคือการวัดกระแสไฟฟ้าขาออก (Output current) คือการให้แรงดันไฟฟ้าจากภายในไอซี 5 โวลต์ เชื่อมต่อลงสู่กราวด์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าขาออกของไอซี ซึ่งแรงดันนี้สามารถใช้เป็นค่าในการตรวจสอบได้ ไม่ว่าจะเกิดการเปิดหรือลัดวงจรของขาอุปกรณ์ที่ทดสอบข้อดีของการทดสอบการเปิดและลัดวงจรนี้ คือ เมื่ออุปกรณ์ชำระค่าค่าแรงดันจริงที่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเกิดการลัดหรือเปิดวงจรได้ทันที แต่วิธีการนี้จะเสียเวลาเนื่องจากถ้าไอซีมี I/O port จำนวนมากต้องทำทีละขาจะทำให้งานเสร็จช้าลง



รูปที่ 2.8 การทดสอบ Opens / Shorts Test : VSS Diode

ที่มา : <http://www.ni.com/white-paper/6980/en/>

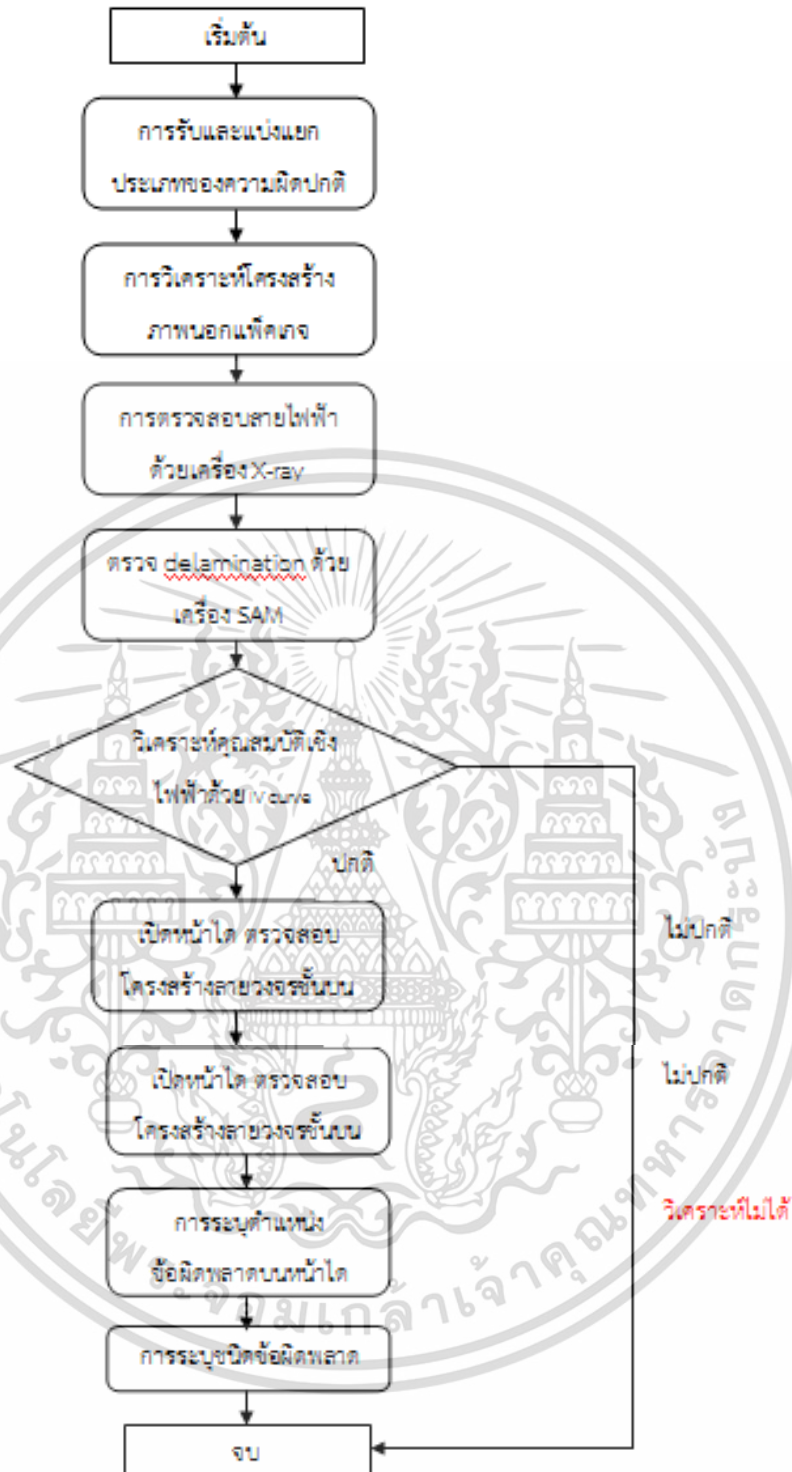
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ไอซีที่มีความผิดปกติ

โดยปกติแล้วไอซีที่พบความผิดปกติจะสามารถพบได้ 2 ที่ คือจากการกระบวนการผลิต หลังจากกระบวนการผลิตไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนทดสอบหลังผลิต หรือผ่านกระบวนการทดลองใช้งาน (Reliability test) ซึ่งเรียกว่า Final test แล้วนำไปทำสอบ Auto testing: ATE แล้วแสดงผล datalog เป็นผลการทดสอบแล้วแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่เกินกว่าปกติ หรือไอซีซึ่งเป็นสินค้าที่ถูกขายไปให้ลูกค้าแล้วมีข้อผิดพลาดเมื่อลูกค้านำไปใช้แล้ว ถูกส่งกลับให้ผู้ผลิตทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดตามกระบวนการ โดยในการกระบวนการทดสอบจะต้องเอาไอซีนั้นเปรียบเทียบกับไอซีที่ทดสอบมาจากกระบวนการเดียวกันทั้งหมดและผ่านการทดสอบคุณภาพแล้ว

2.2 ความรู้เบื้องต้นและขั้นตอนในการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในบริษัทผู้ผลิตไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์นอกจากจะต้องผลิตไอซีให้ได้ตามจำนวนและฟังก์ชันการทำงานที่ตอบโจทย์กับลูกค้าแล้ว ในกลุ่มงานคุณภาพถือว่ามีบทบาทและความสำคัญกับงานไอซีสารกึ่งตัวนำอย่างมาก เห็นได้จากการตกลงร่วมกันด้วยมาตรฐาน ISO 16945 หรือมาตรฐานอื่นๆ ยิ่งไปกว่านั้นถ้าเป็นอุตสาหกรรมกลุ่มธุรกิจยานยนต์ยิ่งให้ความสำคัญกับคุณภาพสินค้าเป็นอย่างมาก กลุ่มงานวิเคราะห์ข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ถือเป็นกลไกสำคัญในของงานกลุ่มตรวจสอบคุณภาพสินค้าบริษัทผลิตไอซี เปรียบเสมือนผู้ชี้ให้เห็นถึงต้นเหตุของความผิดปกติในกระบวนการผลิตและระบุว่ากระบวนการผลิตนั้นจะต้องปรับปรุงแก้ไขตรงส่วนไหนจึงจะถูกจุด โดยในการกระบวนการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง (Failure analysis) มีขั้นตอนในการวิเคราะห์อย่างละเอียดโดยสามารถแสดงเป็นแผนผังได้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กระบวนการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

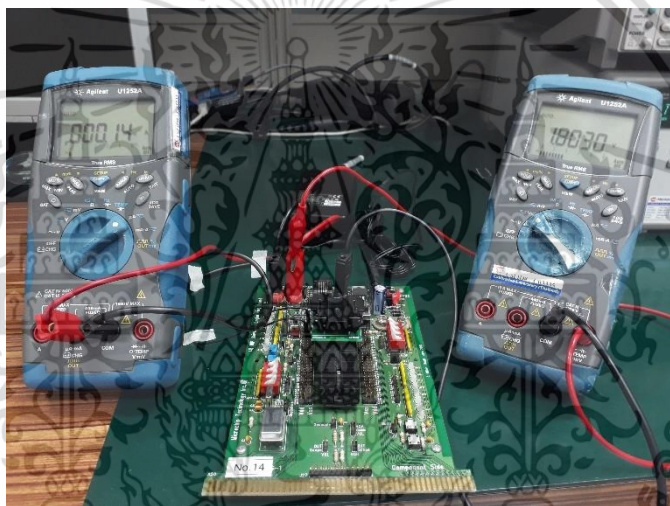
ขั้นตอนตามแผนภาพตามรูปที่ 1 คือขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดเชิงผลึกของไอซีที่ผิดปกติซึ่งได้รับมาจากการทดสอบ ATE และความผิดปกติที่ลูกค้าพบโดยถ้าจะวิเคราะห์ได้จำเป็นต้องมีไอซีที่ผ่านมาตรฐานหรือปกติในกระบวนการเดียวกันมากระทำเพื่อเปรียบเทียบ และต้องเปรียบเทียบตามมาตรฐานการผลิตคือ dataheetซึ่งในขั้นตอนการผลิตจะเห็นว่าจะมีปัญหาบางประการคือถ้าไม่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วย IV curve tracer ได้ก็จะไม่สามารถวิเคราะห์ต่อได้ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำกระบวนการเบนซ์เทสมาใช้ซึ่งจะอธิบายในขั้นตอนถัดไป

2.3 หลักการเบนซ์เทส

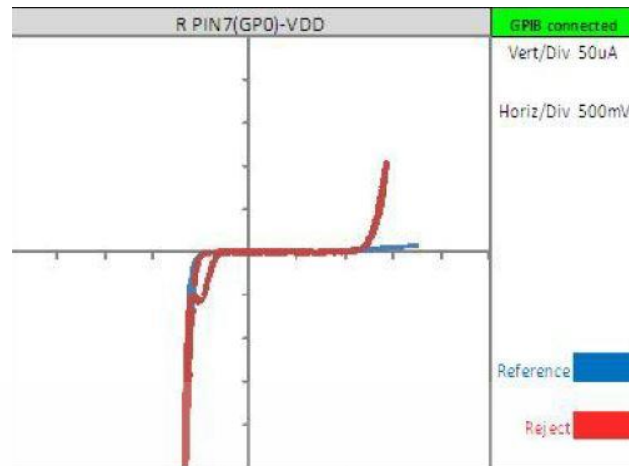
2.3.1 ความรู้พื้นฐานของเบนซ์เทส (Bench test)

ในพจนานุกรมทางวิศวกรรมระบุว่า การทดลองติดตั้งและใช้งานเสมือนจริงก่อนใช้งานจริง ในงานวิเคราะห์ข้อบกพร่องไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น เป็นกระบวนการทดสอบการใช้งานไอซีเช่นเดียวกัน แต่เป็นการทดสอบงานแต่ละฟังก์ชันการทำงาน แต่ในแง่ของคุณสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะใช้สำหรับการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าวัดไหลจากไอซีที่พบความผิดปกติในการใช้งานหรือไม่ผ่านมาตรฐานการทดลองก่อนส่งขายให้ผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.10 การวัดกระแสไฟฟ้าวัดไหลของไอซีในกระบวนการเบนซ์เทส

การติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับเบนซ์เทสดังรูปที่ 2.10 คือการติดตั้งสำหรับวัดกระแสไฟฟ้าวัดไหลจากไอซีที่ผิดปกติแล้ว โดยการติดตั้งขางานเข้าการบอร์ดทดลอง แล้วทำการจ่ายแรงดันให้ไอซีทำงาน และนำมัลติมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าในส่วนที่สงสัยว่าจะเกิดกระแสไฟฟ้าวัดไหล แต่ในงานเบนซ์เทสยังมีการใช้โปรแกรมคำสั่งสำหรับเบนซ์เทสในฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดการเขียนโปรแกรมหลากหลายมากขึ้นกับฟังก์ชันและตระกูลไอซีที่นำมาเข้ากระบวนการ ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจกับการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำในโหมดนี้ให้ความสนใจเรื่องการวัดกระแสไฟฟ้าวัดไหลพลังงานต่ำ เรียกว่า power down current (ipd) โดยในการเบนซ์เทสนี้จะถูกนำมาใช้ในกรณีที่เครื่องไอวีเคิร์ฟไม่สามารถตรวจสอบกระแสไฟฟ้าวัดไหลได้ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.11 กราฟคุณลักษณะเชิงไฟฟ้าที่ผิดปกติ

2.3.2 การเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ

การทดสอบไอซีด้วยวิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำยังคงเป็นการจำลองการทำงานเพื่อวัดกระแสไฟฟารวมของวงจร แต่จะเป็นการวัดกระแสในขณะที่ไอซีไม่ทำงานในฟังก์ชันใดๆเลย และอยู่ใน SLEEP mode ซึ่งในการที่จะทำให้วัดกระแสในโหมดดังกล่าวเราจะวัดกระแสรวม และต้องทำการเขียนโปรแกรมภาษาซี สำหรับสั่งการให้อยู่ในโหมดพลังงานต่ำ และปิดฟังก์ชันเลื่อนไชด้านความถี่ทั้งหมดตัวอย่างโปรแกรมคำสั่งแสดงดังรูป 2.12

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <xc.h>

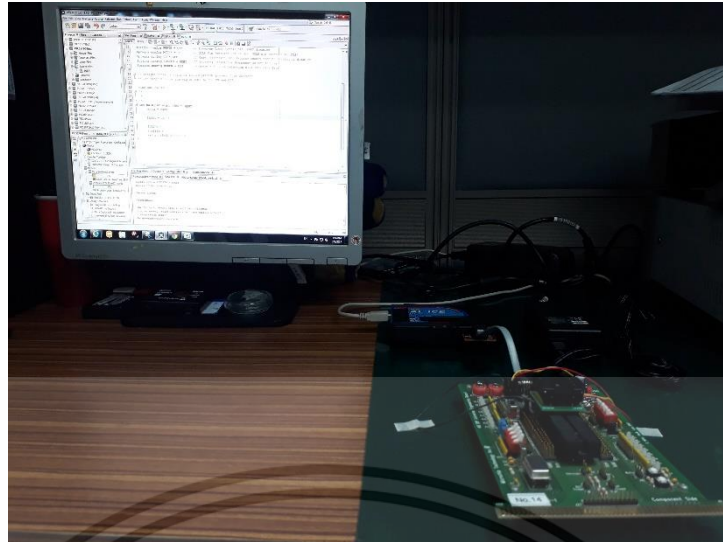
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <xc.h>

#pragma config FOSC = INTOSCIO
#pragma config WDTE = OFF
#pragma config PWRT = OFF
#pragma config MCLRE = ON
#pragma config CP = OFF
#pragma config IOSCF = 8MHZ
#pragma config BOREN = OFF

int main(int argc, char** argv) {
    SLEEP();
    while(1);
    return (EXIT_SUCCESS);
}
```

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโปรแกรมคำสั่งตั้งค่าสำหรับโหมดพลังงานต่ำ

โดยการใส่โปรแกรมให้กับไอซีจะต้องทำการเขียนโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์ ผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อ และเข้าสู่บอร์ดทดลองโดยบอร์ดทดลองซึ่งตั้งค่าไอซีเรียบร้อยแล้วดังแสดงในรูป 2.13



รูปที่ 2.13 การเชื่อมต่ออุปกรณ์โปรแกรมคำสั่ง

2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิเคราะห์ข้อผิดพลาดไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.1 กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงและต่ำ (High and Low Power Microscope)

กล้องจุลทรรศน์ เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการช่วยให้เห็นในสิ่งที่เล็กมากๆ เป็นเครื่องมือขยายขอบเขตของประสาทสัมผัสทางตา ให้เห็นสิ่งที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ แสดงดังรูปที่ 2.14



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์

(ก) กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ

(ข) กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง

ที่มา: <http://www.microscope-microscope.org/bsic/buyers-guide.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ฐาน (BASE) บริเวณรองรับน้ำหนักอุปกรณ์ทั้งหมดและรองรับทุกๆ อุปกรณ์รวมไปถึงแสงที่จะส่องไปสู่ตัวชิ้นงาน
2. อาร์ม (ARM) สำหรับยึดเลนส์วัตถุและเลนส์ตาให้อยู่กับที่มีส่วนสลับเลนส์วัตถุ
3. ลำกล้อง (BODY TUBE) เป็นทรงกระบอกเชื่อมต่อระหว่างเลนส์ใกล้ตา กับจานหมุนที่เรียกว่า Revolving Nosepiece ซึ่งเป็นบริเวณที่ติดเลนส์ใกล้วัตถุทุกๆ ขนาดเอาไว้สำหรับกล้องกำลังขยายสูง ถ้ากล้องกำลังขยายต่ำจะมีเลนส์วัตถุเลนส์เดียวเท่านั้น
4. แท่นวางวัตถุ (STAGE เป็น) สำหรับรองรับงานที่ต้องการตรวจสอบ บางรุ่นมีส่วนสำหรับล็อกงานให้อยู่กับที่ สำหรับกล้องกำลังขยายสูงจะมีส่วนปรับเลื่อนแนวแกนทั้งสามของฐานด้วยมีลักษณะเป็นแท่นสี่เหลี่ยม มีรูให้แสงจากหลอดไฟส่องผ่านวัตถุ นอกจากนี้ยังมีสเกลบอกตำแหน่งของสไลด์บนแท่นวางวัตถุ ทำให้สามารถบอกตำแหน่งของภาพบนสไลด์ได้
5. เลนส์รวมแสง (CONDENSER) เป็นเลนส์รวมแสง สไลด์ สามารถเลื่อนขึ้นลงได้โดยมีปุ่มปรับ อยู่ระหว่างแท่นวางวัตถุกับหลอดไฟ
6. ไอริสไดอะแฟรม (IRIS DIAPHRAM) คืออยู่ที่เลนส์รวมแสงทำหน้าที่เป็นม่านปรับความเข้มแสง เพื่อส่งไปยังวัตถุที่ต้องการศึกษา
7. เลนส์ใกล้วัตถุ (OBJECTIVE LENS) จะติดอยู่เป็นชุดกับจานหมุน เป็นเลนส์ขยายภาพที่อยู่ใกล้วัตถุ มีกำลังขยายหลากหลายขนาดและทำให้ภาพที่ได้เป็นภาพจริงหัวกลับ
(Primary Real Image) โดยเลนส์ใกล้วัตถุจะมีกำลังขยายต่าง ๆ กัน ได้แก่
 - 7.1 เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่ำ (Lower Power) กำลังขยาย 5X, 10X
 - 7.2 เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายสูง (High Power) 50X
 - 7.3 เลนส์ใกล้วัตถุแบบ Oil Immersion ขนาด 100X
 - 7.4 เลนส์ใกล้วัตถุลักษณะพิเศษใช้ส่องเฉพาะแผ่นไค เท่านั้นขนาด 150X
8. เลนส์ใกล้ตา (EYEPIECE LENS หรือ OCULAR LENS) เลนส์นี้จะสวมอยู่กับลำกล้อง มีตัวเลขแสดงกำลังขยายอยู่ด้านบน เช่น 5X, 10X หรือ 15X เป็นต้น ทำให้ภาพใหญ่ขึ้นได้ภาพเสมือนหัวกลับ
9. REVOLVING NOSEPIECE เป็นส่วนของกล้องที่ใช้สำหรับหมุน เพื่อเปลี่ยนกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ มีทั้งแบบทำด้วยมือและอัตโนมัติ
10. ปุ่มปรับภาพหยาบ (COARSE ADJUSTMENT KNOB) เป็นปุ่มขนาดใหญ่ใช้สำหรับปรับระยะภาพจากการปรับเลื่อนฐานรองชิ้นงานด้วยความละเอียดต่ำ ปรับขึ้นลงตามแนวแกน เมื่ออยู่ในระยะโฟกัส ก็จะมองเห็นภาพได้
11. ปุ่มปรับภาพละเอียด (FINE ADJUSTMENT KNOB) เป็นปุ่มขนาดเล็กติดกับปุ่มปรับภาพหยาบ ออกมาทางด้านนอกที่ตำแหน่งเดียวกัน เป็นการปรับความคมชัดหลังปรับแบบหยาบแล้ว
12. ที่หนีบสไลด์ (Stage clip) มี 1 คู่บนฐานรองชิ้นงานใช้สำหรับหนีบวัตถุหรือแผ่นสไลด์ที่ต้องการสังเกต มีเฉพาะบางรุ่น
13. กระจกเงา (Mirror) ทำหน้าที่สะท้อนแสงธรรมชาติจากภายนอกห้องที่เข้ามาบริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 เครื่องเอกซเรย์

เครื่องเอกซเรย์เป็นเครื่องมือสร้างรังสีเอ็กซ์จากพลังงานไฟฟ้า โดยเร่งอิเล็กตรอนจากไส้หลอดเอกซเรย์ที่ถูกเผาให้ร้อนแล้วให้อิเล็กตรอนเหล่านั้นไปชนเป้าโลหะที่มีเลขอะตอมสูงๆ เช่น ทังสเทน ทำให้เกิดการเปลี่ยนชั้นพลังงานของโลหะที่ใช้ทำเป้า และคายพลังงานออกมาในรูปรังสีเอ็กซ์โดยค่าที่ใช้ควบคุมพลังงานของรังสีเอ็กซ์คือค่าแรงดันสูง(High voltage)ที่ป้อนให้หลอดเอกซเรย์และปริมาณของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นจะกำหนดโดยค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดและเวลาปล่อยรังสี(Time) ซึ่งลักษณะของเครื่องเอกซเรย์และไอซีที่นำไปเอกซเรย์ แสดงดังรูปที่ 2.15



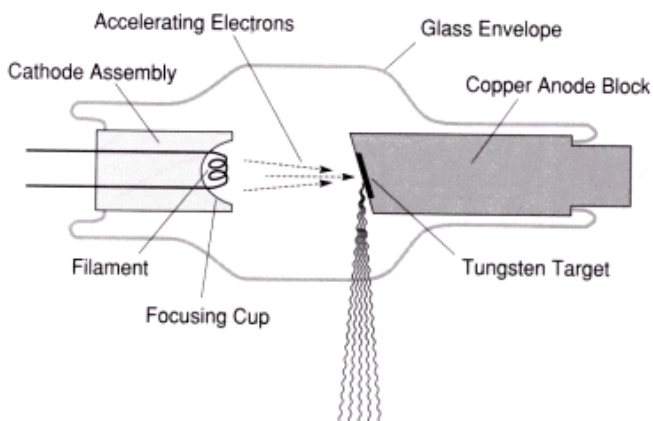
รูปที่ 2.15 เครื่องเอกซเรย์สำหรับใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ที่มา : www.xtekxray.com

2.4.2.1 โครงสร้างของหลอดเอกซเรย์

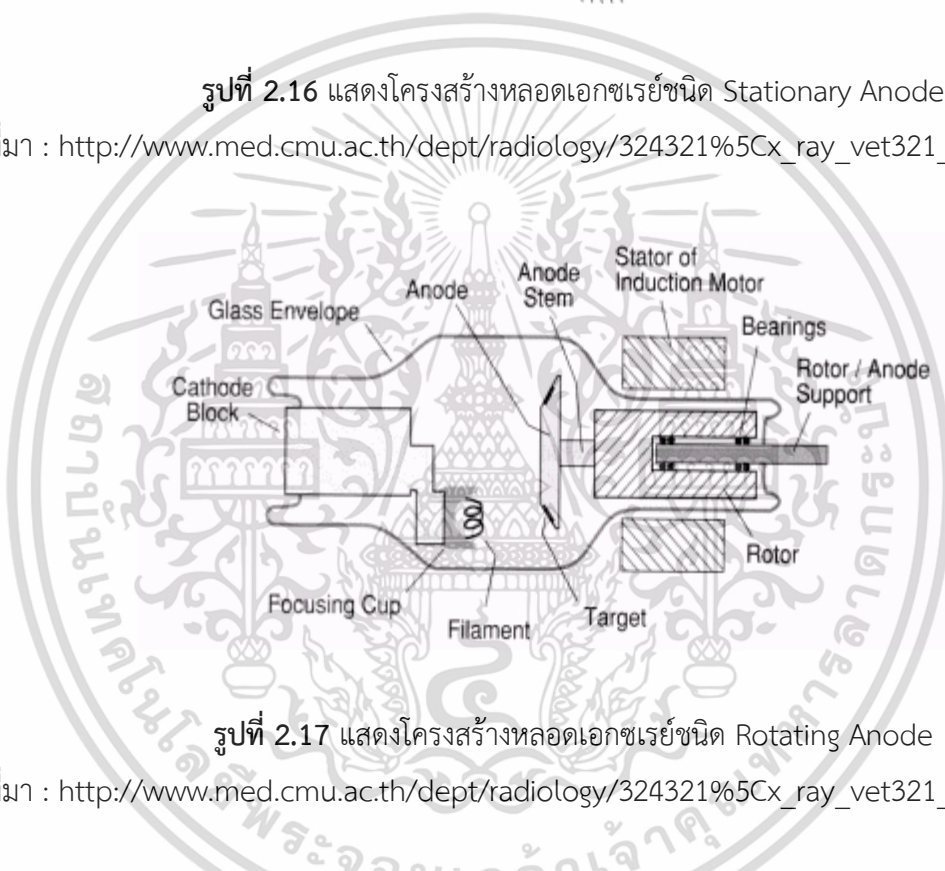
ส่วนประกอบของหลอดเอกซเรย์ทั้ง Stationary anode และ Rotating anode แสดงดังรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างหลอดเอกซเรย์ชนิด Stationary Anode

ที่มา : [http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55\[1\].pdf](http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55[1].pdf)



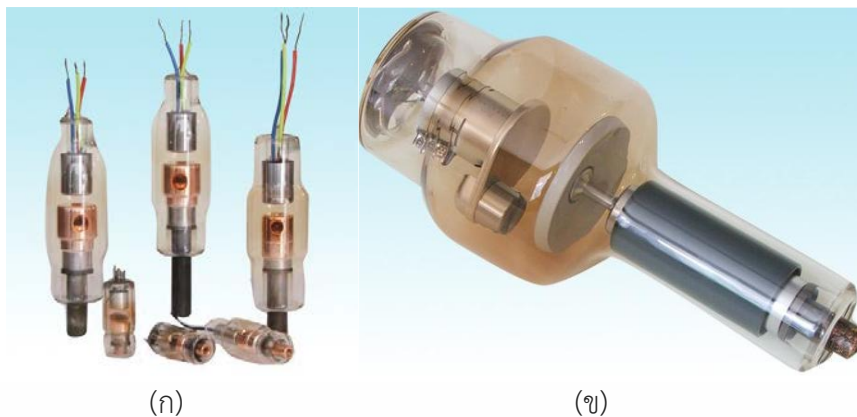
รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างหลอดเอกซเรย์ชนิด Rotating Anode

ที่มา : [http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55\[1\].pdf](http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55[1].pdf)

2.4.2.1.1 แอโนด (Anode)

แอโนดทำหน้าที่เป็นขั้วบวกบริเวณที่เป็นเป้าสำหรับให้อิเล็กตรอนวิ่งชนเพื่อทำให้เกิดรังสีเอ็กซ์บริเวณที่เป็นเป้าจะทำด้วยโลหะทังสแตนดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ลักษณะของหลอดเอ็กซเรย์ (ก) Stationary anode และ (ข) Rotating anode
ที่มา: http://www.med.cmu.ac.th/x_ray

2.4.2.1.2 แคโทดและฟิลาเมนต์

แคโทดทำหน้าที่เป็นขั้วลบของหลอดเอ็กซเรย์บริเวณปลายขั้วแคโทดมี Focusing cup (ทำหน้าที่ให้รวบรวมอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเป็นลำอิเล็กตรอนที่มีทิศทางตรงกับเป้า Anode) ภายในมีไส้หลอดเอ็กซเรย์ (Filament) ไส้หลอดจะได้รับกระแสไฟฟ้าทำให้ไส้หลอดเอ็กซเรย์ร้อนและมีอิเล็กตรอนมารอบๆ ไส้หลอดเรียกว่า Electron cloud และเมื่อทำให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วหลอดเอ็กซเรย์แอโนดกับแคโทดสูงมากเพียงพอกลุ่มอิเล็กตรอนจะถูกเร่งจากขั้วแคโทดวิ่งไปชนเป้า (Target) ซึ่งอยู่ที่บริเวณแอโนดก่อให้เกิดรังสีเอ็กซ์ออกมา

2.4.2.1.3 Filament

เป็นส่วนที่มีหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนอยู่บริเวณด้านแคโทดมีลักษณะเป็นขดลวดสปริงทำด้วยโลหะทั้งสแตนไดโดยทั่วไปแล้วจะมี 2 ขนาดคือ Large filament ใช้สำหรับการตั้งค่ากระแสผ่านหลอดเอ็กซเรย์ประมาณ 200-500 mA และจะให้ Focal spot size ที่มีขนาดใหญ่ ส่วนไส้หลอดอีกอันคือ Small filament จะทำให้เกิดขนาดของ Focal spot size ที่เล็กกว่าใช้สำหรับการตั้งค่ากระแสผ่านหลอดเอ็กซเรย์ประมาณ 50-150 mA เท่านั้น ซึ่งทำให้ภาพถ่ายรังสีที่ได้มี Resolution ที่สูงกว่าการใช้ไส้หลอดขนาดที่โตกว่าเพราะมี Penumbra หรือ ความเงามัวที่น้อยกว่า

2.4.2.2 การระบายความร้อนในหลอดเอ็กซเรย์

หลอดเอ็กซเรย์ขณะทำงานจะให้ความร้อนออกมามากถึง 99 % ของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดเอ็กซเรย์มีเพียง 1 % หรือน้อยกว่าที่เปลี่ยนเป็นพลังงานรังสีโดยทั่วไปแล้วหลอดเอ็กซเรย์จะมีน้ำมันภายในหลอดเป็นตัวระบายความร้อนเพื่อไม่ให้หลอดเอ็กซเรย์เสียหาย

2.4.2.3 แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า (Generator)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องให้กลายเป็น High voltage เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันให้แก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปแล้วจะมี 3 ระบบคือ

- 1.) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เฟส (Single phase generator) เป็นเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ไฟฟ้าเฟสเดียวแบบใช้ในบ้านทั่วไปมีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์
- 2.) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส (Three phase generator) เป็นเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบแรกใช้ไฟฟ้าแบบสามเฟสมีแรงดันประมาณ 380 โวลต์
- 3.) เครื่องกำเนิดความถี่สูง (High frequency generator) เป็นแบบที่นิยมมากในปัจจุบัน เพราะสามารถให้ประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเทียบกับ 2 แบบแรกในด้านปริมาณและคุณภาพรังสีเอ็กซ์ที่ออกมาต่อพลังงานที่ให้เข้าไปและมีขนาดเครื่องเล็กกลง

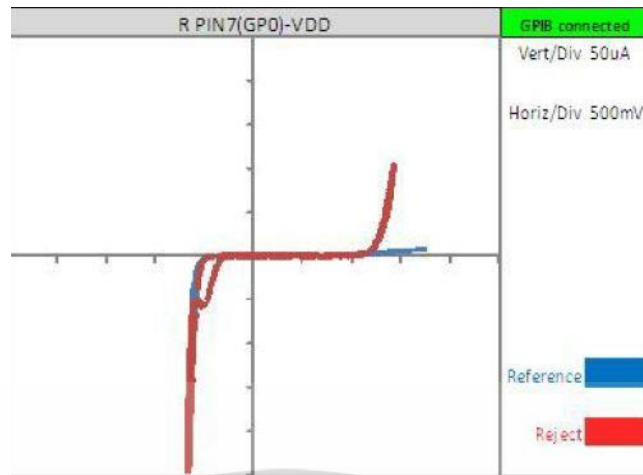
2.4.3 เครื่องไอวีเคิร์ฟ (IV curve tracer)

เครื่องเคิร์ฟเทรเซอร์มีใช้สำหรับตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่ตอบสนองตามแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำดังเช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ รวมถึงไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแสดงกราฟแกน y แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้า และแกน x แสดงแรงดันไฟฟ้า ซึ่งในงานวิเคราะห์หากระแสไฟฟ้ารั่วไหลด้วยการเปรียบเทียบกราฟระหว่างงานที่ปกติกับงานที่ผิดปกติ โดยสังเกตที่จุดแรงดันจุดทำงาน (Active voltage) ว่าตัวผิดปกติมีกระแสไฟฟ้ามากขึ้นในขณะที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่างานปกติถ้าเป็นเช่นนั้นสรุปได้ว่างานผิดปกติมีกระแสรั่วไหลเกิดขึ้น รูปเครื่องไอวีเคิร์ฟ แสดงดังรูปที่ 2.19 และกราฟที่แสดงความผิดปกติแสดงในรูป 2.20



รูปที่ 2.19 IV curve tracers

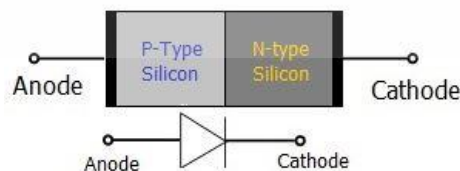
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ผลการทดสอบ IV curve tracers

ประโยชน์ของการทราบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลแล้วนั้นคือการระบุตำแหน่งของต้นตอซึ่งคาดการณ์ได้ว่าเป็นตำแหน่งที่มีข้อบกพร่องและนำไประบุชนิดได้ กราฟที่เกิดจากการเปรียบเทียบกับเครื่องโอวีเคิร์ฟจากเกิดกราฟ 5 ลักษณะหลักๆ คือกราฟปกติ(Normal) กราฟที่มีการซ้อนทับกันพอดีไม่มีกระแส ผิดปกติ กราฟกระแสต่ำผิดปกติ (Deviating) กราฟที่กระแสไฟฟ้างานผิดปกติมีแรงดันไฟฟ้าจุดทำงานช้ากว่างานปกติ กราฟกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Leakage) กราฟที่กระแสไฟฟ้างานผิดปกติมีแรงดันจุดทำงานต่ำกว่า หรือทำงานเร็วกว่างานปกติ รูปที่ 2.20 กราฟลัดวงจร (Short) กราฟที่กระแสไฟฟ้าเป็นอนันต์กราฟงานที่ผิดปกติจะทับเส้นแกน Y พอดี และกราฟวงจรขาด (Open) คือกราฟที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ในทุกๆค่าแรงดันไฟฟ้า กราฟงานผิดปกติลากทับแกน X

คุณลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของ ไดโอด (Diode) ไดโอด เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ p - n สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode ; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด p และ แคโทด (Cathode ; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด n ดังรูป รูปที่ 2.21

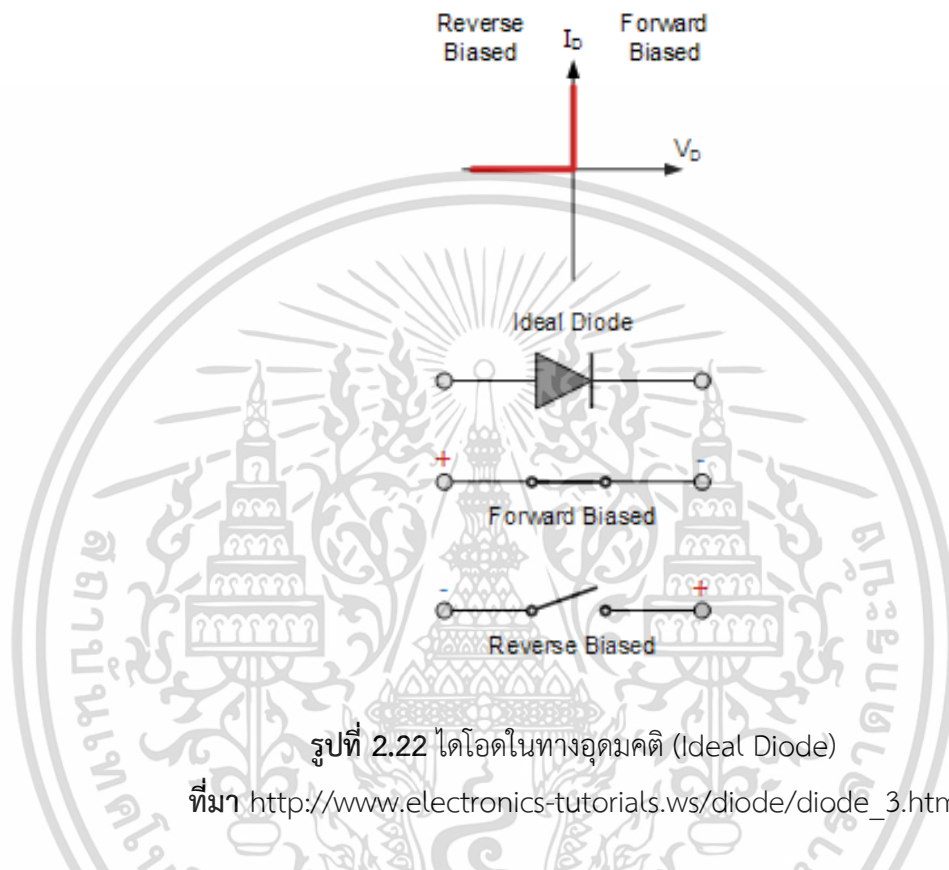


รูปที่ 2.21 โครงสร้างไดโอด P-N

ที่มา <http://www.rfwireless-world.com/ApplicationNotes/PN-junction-diode-application.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอดในทางอุดมคติ (Ideal Diode) ไดโอดในอุดมคติ (Ideal Diode) มีลักษณะเหมือนสวิตช์ที่สามารถนำกระแสไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่ให้เป็นแบบไบอัสตรงไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนกับสวิตช์ที่ปิด (Close Switch) หรือไดโอดลัดวงจร (Short Circuit) I_D ไหลผ่านไดโอดได้ แต่ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่แบบไบอัสกลับ ไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนสวิตช์เปิด (Open Switch) หรือเปิดวงจร (Open Circuit) ทำให้ I_D เท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.22 ไดโอดในทางอุดมคติ (Ideal Diode)

ที่มา http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_3.html

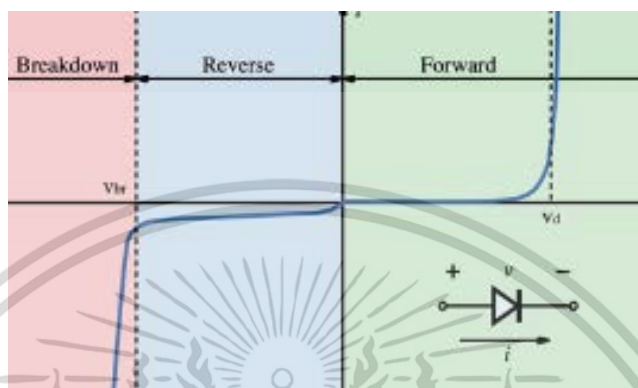
ไดโอดในทางปฏิบัติ

ไดโอดในทางปฏิบัติ (Practical Diode) มีการแพร่กระจายของพาหะส่วนน้อยที่บริเวณรอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง ดังนั้น ถ้าต่อไบอัสตรงให้กับไดโอดในทางปฏิบัติก็จะเกิด แรงดันเสมือน ($V_G \geq 0.3V$; $V_S \geq 0.7V$) ซึ่งต้านแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเพื่อการไบอัสตรง ขนาดของแรงดันเสมือนจึงเป็นตัวบ่งชี้การทำงาน ดังนั้น จึงเรียก "แรงดันเสมือน" อีกอย่างหนึ่งว่า "แรงดันในการเปิด" (Turn-on Voltage ; V_T)

กรณีไบอัสกลับ เราทราบว่า Depletion Region จะขยายกว้างขึ้น แต่ก็ยังมีพาหะข้างน้อยแพร่กระจายที่รอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก็ยังมีกระแสรั่วไหลอยู่จำนวนหนึ่ง เรียกว่า กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อย ๆ กระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ไดโอดนำกระแสเพิ่มขึ้นมาก ระดับกระแสที่จุดนี้ เรียกว่า "กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ" (Reverse Saturation Current ; I_S)

แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้ เรียกว่า แรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) และถ้าแรงดันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไบอัสสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ไดโอดทนได้ เราเรียกว่า "แรงดันพังทลายซีเนอร์" (Zener Breakdown Voltage ; V_z) ถ้าแรงดันไบอัสกลับสูงกว่า V_z จะเกิดความร้อนอย่างมากที่รอยต่อของไดโอด ส่งผลให้ไดโอดเสียหายหรือพังได้ แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้เราเรียกว่า แรงดันพังทลายอวาแลนซ์ (Avalanche Breakdown Voltage) ดังนั้น การนำไดโอดไปใช้งานจึงใช้กับการไบอัสตรงเท่านั้น



รูปที่ 2.23 กราฟคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของไดโอด

ที่มา <https://www.digikey.co.il/en/articles/techzone/2012/apr/structural-defects-undermine-led-luminosity>

ผลกระทบของอุณหภูมิ (Temperature Effects)

จากการทดลองพบว่า I_s ของ Si จะมีค่าเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่า ทุก ๆ ครั้งที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ขณะที่ Ge มีค่า I_s เป็น 1 หรือ 2 ไมโครแอมป์ ที่ 25 องศาเซลเซียส แต่ที่ 100 องศาเซลเซียสจะมีค่า I_s เพิ่มขึ้นเป็น 100 ไมโครแอมป์ ระดับกระแสไฟฟ้าขนาดนี้จะเป็นปัญหาต่อการเปิดวงจรเนื่องจากได้รับการไบอัสกลับ เพราะแทนที่ I_d จะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แต่กลับนำกระแสได้จำนวนหนึ่งตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

2.4.4 หลักการทำ Optical Beam Induced Resistance Change (OBIRCH) และ Ion Emission ด้วยเครื่อง Light Emission Microscope (LEM)

2.4.4.1 หลักการทำ Optical Beam Induced Resistance Change (OBIRCH)

กระบวนการจับความต้านทานและการกระจายของประจุเราสามารถทำได้โดยผ่านของกระบวนการคือ ทำ Optical Beam Induced Resistance Change (OBIRCH) หลักการของวิธีการ OBIRCH จะเป็นดังนี้ จะทำโดยการสแกนด้วยแสงเลเซอร์บนพื้นผิว IC บางส่วนของการใช้พลังงานเลเซอร์จะถูกดูดซึมโดย IC และเปลี่ยนเป็นความร้อนความร้อนในสถานที่ใกล้เคียงจะแตกต่างจากที่ในพื้นที่ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

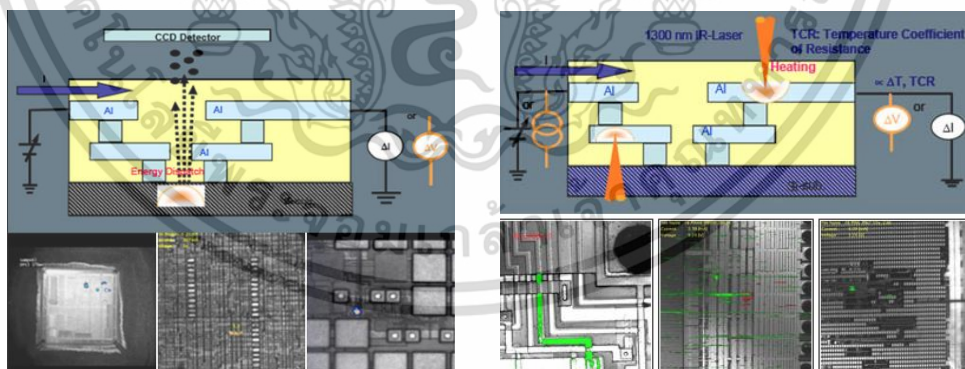
ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่แตกต่างกันในพื้นที่ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ΔR โหมดมิกในโลหะถ้ามีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ผ่านเข้าไปในไอซีกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปคำนวณได้จาก

$$\Delta I = (\Delta R / R) \quad (2.1)$$

โดยความเชื่อมโยงระหว่างกระแสไฟฟ้าที่มีผลจากความต้านทานดังกล่าวนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงความสว่างของพิกเซลในภาพและบันทึกตำแหน่งความสว่างของพิกเซลนั้นซ้อนทับกับภาพของไอซี ซึ่งแสดงถึงการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าภายในซึ่งในเครื่อง LEM สามารถใช้เทคนิค Ion Emission ซึ่งตรวจค่าความรั่วไหลได้แต่คนละวิธี



รูปที่ 2.24 เครื่อง Light Emission Microscope



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.25 ผลการระบุตำแหน่งข้อผิดพลาดด้วย Light Emission Microscope

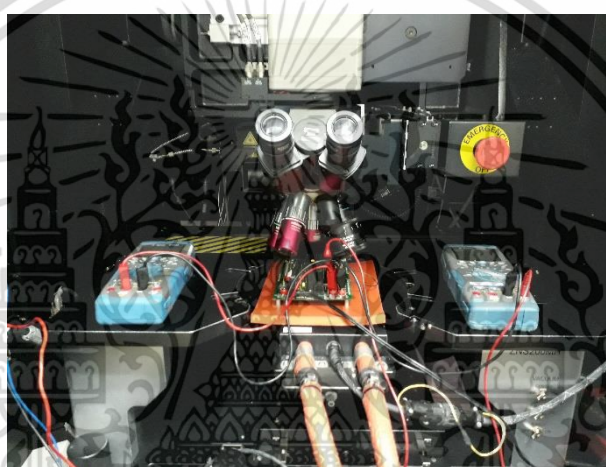
(ก) การตรวจกระแสรั่วไหลด้วยวิธีกระจายไอออน (Ion Emission)

(ข) การตรวจกระแสรั่วไหลด้วยวิธี OBIRCH

ที่มา : http://www.ma-tek.com/en-global/services/index/Pro_category_02/Pro_07
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบเซอร์viceขอคืนค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

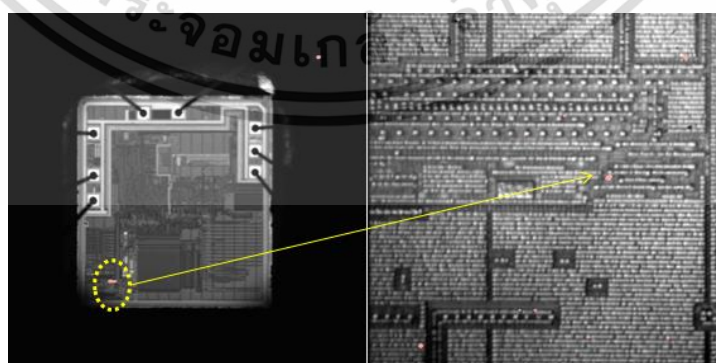
2.4.4.2 กระบวนการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการกระจายไอออน

การใช้เครื่อง LEM สำหรับตรวจกระแสไฟฟ้ารั่วไหลด้วยวิธีการกระจายไอออนกระบวนการเกิดเป็นไปตามรูปที่ 2.25 ก. โดยหลักการคือเครื่องจากตรวจจับประจุไอออนส่วนเกินที่กล้อง CCD detector โดยสิ่งที่แตกต่างระหว่างหลักการตรวจจับด้วยวิธีการกระจายไอออน และ OBIRCH คือ วิธีการกระจายไอออนจะในแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอก และเมื่อมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกให้กับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สนใจ ตำแหน่งที่มีข้อบกพร่องบนหน้าไวด์จะมีการปลดปล่อยประจุออกมาเป็นจำนวนมาก CCD detector จะตรวจจับประจุนั้นและแปลงค่าออกมาในรูปของแสงสีที่ปรากฏบนหน้าจอและเปรียบเทียบกับภาพหน้าไวด์ที่ถ่ายไว้ตอนแรก เมื่อวางประกบกันจะได้ตำแหน่งที่มีข้อบกพร่องจริงบนหน้าไวด์



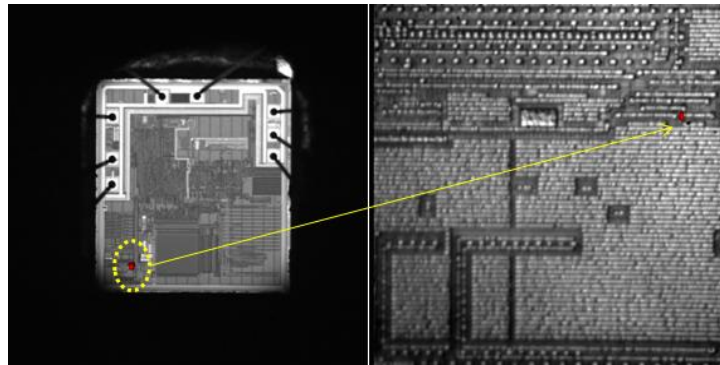
รูปที่ 2.26 การติดตั้งอุปกรณ์ OBIRCH และ Ion Emission

จากภาพ 2.27 เป็นการต่อเพื่อเข้ากระบวนการ Ion Emission และ OBIRCH มีการตั้งค่าเหมือนกัน แตกต่างแค่ OBIRCH จะใช้กระแสไฟฟ้าจากเครื่อง Light Emission Microscope โดยตรง



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 2.27 ผลการระบุตำแหน่งจากเครื่อง LEM

(ก) ผลจากวิธีการกระจายไอออน (Ion Emission)

(ข) ผลจากวิธีการ OBIRCH

2.4.5 มัลติมิเตอร์

ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้า วัดกระแสไฟฟ้าและวัดค่าความต้านทานเป็นต้น ดังรูปที่ 2.27 แต่เดิมเครื่องมือวัดนี้แยกชุดออกจากกัน เช่น สำหรับไฟ AC หรือไฟสลับก็เรียกว่า เอ ซี โวลต์มิเตอร์ (AC volt meter) หรือใช้วัดค่าความต้านทานก็เรียกว่า โอห์มมิเตอร์ (ohm meter) เป็นต้น ซึ่งเป็นการยุ่งยากที่จะต้องพกเครื่องมือประเภทนี้ไปหลายๆ อย่าง เพื่อเป็นการประหยัดและให้เกิดความคล่องตัวในการทำงาน จึงได้มีการพัฒนานำเอาเครื่องมือแต่ละชิ้นมารวมอยู่ในตัวเดียว เพื่อความสะดวกสบายจึงเรียกเครื่องมือนี้ว่ามัลติมิเตอร์ (multi meter) หมายถึงเอา มิเตอร์หลายๆ ชนิดมารวมอยู่ในตัวเดียวกัน



รูปที่ 2.28 ดิจิตอลมิเตอร์

ที่มา : <http://www.measuretronix.com/products/fluke-115->

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มัลติมิเตอร์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

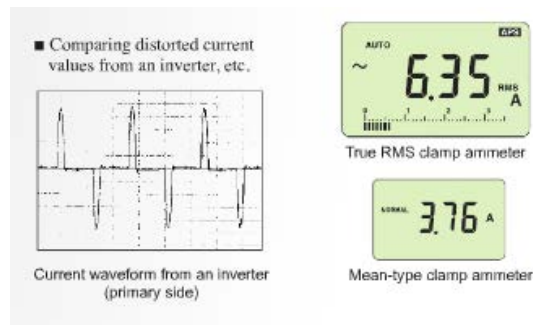
1. โอมมิเตอร์ เครื่องวัดค่าความต้านทาน
 2. โวลต์มิเตอร์ เครื่องวัดค่าแรงเคลื่อนหรือแรงดันไฟฟ้า
 3. มิเลียม มิเตอร์ เครื่องวัดค่ากระแสไฟตรง
- ทั้งหมดนี้รวมเรียกว่ามัลติมิเตอร์ หรือ (V.O.M. meter)

หลักการทำงานของมัลติมิเตอร์ (Multimeter)

หลักการทำงานของมัลติมิเตอร์ถูกพัฒนามาจาก กัลวาโนมิเตอร์ (galvanometer) มีหลักการทำงานคือ เมื่อป้อนกระแสไฟเข้าไปจะทำให้ขดลวดเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเกิดอำนาจแม่เหล็กนี้จะส่งผลไปยังเข็มที่ยึดติดอยู่เกิดการเคลื่อนที่ ในปัจจุบันมีการพัฒนาจนกลายเป็นมัลติมิเตอร์ในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นมัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multimeter) และมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multimeter) เป็นต้น

ความแตกต่างของการทำงานของมัลติมิเตอร์แบบเข็มและดิจิตอลมัลติมิเตอร์นั้นคือ เมื่อมีปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการวัดไหลเข้าสู่วงจร ถ้าเป็นมัลติมิเตอร์แบบเข็มจะเปลี่ยนปริมาณไฟฟ้าที่วัดเป็นปริมาณทางกลและขับไปยังเข็มที่ยึดติดไว้ทำให้เข็มนั้นเคลื่อนที่ไปยังค่าที่วัดได้ ส่วนดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะเปลี่ยนปริมาณทางไฟฟ้านั้นส่งผ่านไปยังวงจรสัญญาณดิจิตอลและส่งต่อไปยังหน้าจอเพื่อแสดงผลเป็นตัวเลขแสดงดังรูปที่ 2.29

มัลติมิเตอร์สามารถวัดได้ทั้งไฟกระแสตรง (DC) และไฟกระแสสลับ (AC) ในบางครั้งที่วัดสัญญาณ AC ซึ่งสัญญาณเป็น Sine wave นั้นอาจมีความถี่อื่นรวมอยู่ด้วย ซึ่งเรียกความถี่นั้นว่า Harmonic หากนำมัลติมิเตอร์แบบที่ไม่สามารถวัดค่าความถี่รวมนี้ได้ (มัลติมิเตอร์แบบ MEAN) ไปวัดค่าอาจทำให้ค่าที่ได้ไม่แม่นยำนัก ดังนั้นควรใช้มัลติมิเตอร์แบบ TRUE RMS ดีกว่า เพราะมัลติมิเตอร์แบบ TRUE RMS สามารถวัดค่าสัญญาณที่มีฮาร์โมนิรวมอยู่ได้ ทำให้ค่าที่ออกมามีความแม่นยำกว่ามัลติมิเตอร์แบบ MEAN แสดงดังรูปที่ 2.29 ซึ่งมัลติมิเตอร์ประเภทนี้เหมาะสำหรับวัดอุปกรณ์ประเภท Inverter Control เพราะอุปกรณ์ประเภทนี้จะมี Thyristor, Inverter และอุปกรณ์ประหยัดพลังงานต่างๆ ส่งผลให้เกิด Harmonic ปะปนในสัญญาณ

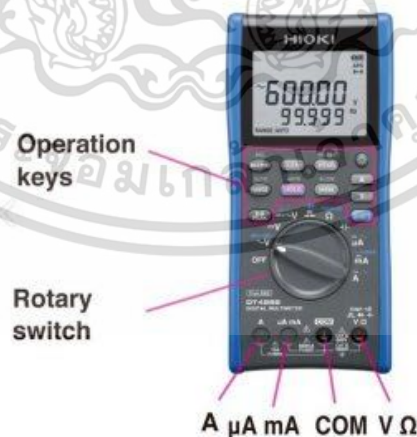


รูปที่ 2.29 ค่าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์แบบ True RMS และ MEAN

ที่มา :www.google.com

ชื่อเรียกของส่วนต่างๆบนดิจิตอลมัลติมิเตอร์

สวิตช์ปรับแบบหมุน (Rotary switch) เป็นสวิตช์ที่ถูกใช้เพื่อให้ผู้ใช้เปลี่ยนฟังก์ชันการวัด เช่น แรงดัน AC, แรงดัน DC, ฟังก์ชันเช็คความต่อเนื่อง, เช็คความต้านทาน, เช็คค่าความจุไฟฟ้า, เช็คกระแส และอื่นๆ โดยจะเป็นฟังก์ชันไหนนั้น ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าจะเลือกใช้ฟังก์ชันไหนของสำหรับที่มีไว้เสียบเข็มวัด (Test lead, Measurement cable) จะใช้เพื่อการติดตั้งเข็มวัดสำหรับวัดค่าตามที่เรากำลังต้องการวัด โดยการติดตั้งเข็มวัดลงในช่องที่ถูกต้อง คือ เข็มวัดสีแดงจะต้องต่อกับช่องที่มีสัญลักษณ์ " $V\Omega$ " และ เข็มวัดสีดำจะต้องต่อกับช่องที่มีสัญลักษณ์ "COM" (เกือบทุกค่าที่ต้องการวัดจะติดตั้งเข็มวัดที่ช่องเดียวกันในลักษณะนี้ ยกเว้นการวัดค่ากระแส) ปุ่มกดฟังก์ชัน (The operation keys) มีไว้เพื่อใช้สำหรับการเข้าสู่ฟังก์ชันการวัดค่ากระแสและแรงดันในระบบไฟฟ้า AC และ DC และค่าอื่นๆ เช่น ค่าอุณหภูมิ, ฟังก์ชันการตรวจสอบไดโอด หรือ ปรับเป็นฟังก์ชันการแสดงผลอื่นๆ เช่นการค้างข้อมูลบนหน้าจอ การแสดงค่าสูงสุด/ต่ำสุดได้ด้วย



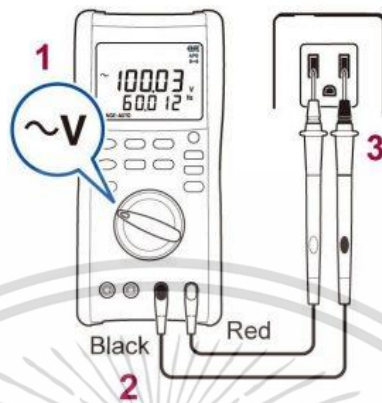
รูปที่ 2.30 Hioki Model: DT-4282

ที่มา : <https://legatool.com/wp/3737/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: การวัดแรงดัน AC (AC Current)

ในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น จาก ช่องเสียบปลั๊กไฟ, ตู้จ่ายไฟ หรือ ช่องเสียบอุปกรณ์จ่ายไฟ มีวิธีการตั้งค่าก่อนใช้งานดังนี้



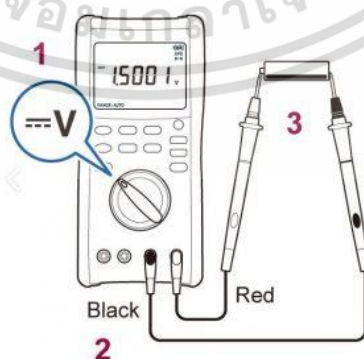
รูปที่ 2.31 การวัดแรงดันไฟฟ้า AC Hioki Model: DT-4282

ที่มา : <https://legatool.com/wp/3737/>

จากภาพเราใช้ผลิตภัณฑ์ของ Hioki Model: DT-4282 เพื่อใช้เป็นโมเดลสำหรับการอธิบายในหัวข้อนี้ สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์โมเดลอื่น ๆ ก็จะมีฟังก์ชันที่หลากหลายแตกต่างกันออกไป ซึ่งเราสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ในโมเดลอื่นๆ ได้จากโดยคลิกที่นี้เพื่อ ชมสินค้าประเภทดิจิตอลมัลติมิเตอร์ จาก LEGA Corporation

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: การวัดแรงดัน DC (DC Current)

ในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เช่น แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์ หรือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ มีวิธีการตั้งค่าก่อนการใช้งานดังนี้



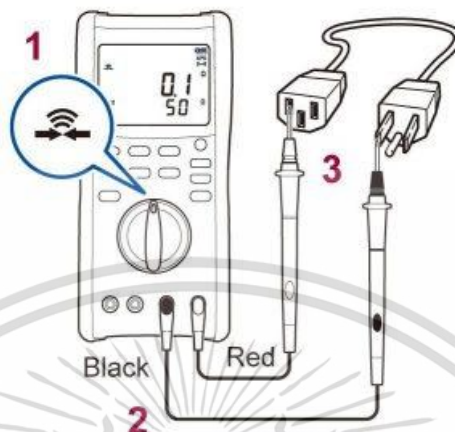
รูปที่ 2.32 การวัดแรงดันไฟฟ้า DC Hioki Model: DT-4282

ที่มา : <https://legatool.com/wp/3737/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: ฟังก์ชันเช็คความต่อเนื่อง (Checking Continuity)

ในการตรวจสอบการขาดของสายไฟ หรือ ตรวจสอบต้นทาง/ปลายทางของชุดสายไฟ (Wire harness cable) มีวิธีการตั้งค่าก่อนการใช้งานดังนี้

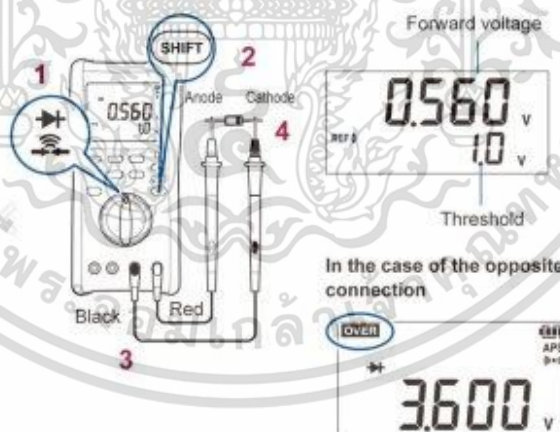


รูปที่ 2.33 การใช้ฟังก์ชันต่อเนื่อง Hioki Model: DT-4282

ที่มา : <https://legatool.com/wp/3737/>

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: ฟังก์ชันการเช็คไดโอด

ในการตรวจสอบว่าไดโอดเสียหรือไม่นั้น มีวิธีการตั้งค่าก่อนการใช้งานดังนี้



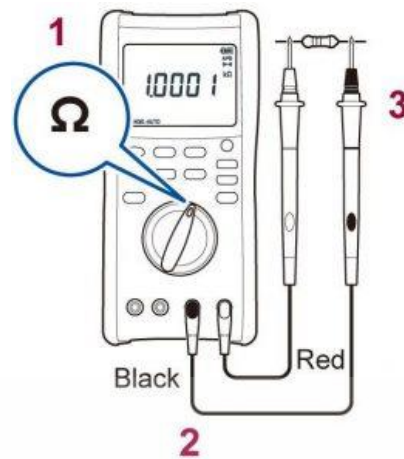
รูปที่ 2.34 ฟังก์ชันการเช็คไดโอด Hioki Model: DT-4282

ที่มา : <https://legatool.com/wp/3737/>

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: ฟังก์ชันการวัดความต้านทาน (Resistance measurement)

ในการวัดความต้านทาน มีวิธีการตั้งค่าก่อนการใช้งานดังนี้

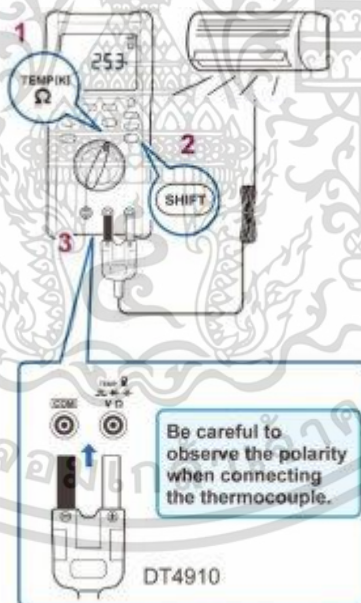
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 ฟังก์ชันการวัดความต้านทาน Hioki Model: DT-4282
ที่มา :<https://legatool.com/wp/3737/>

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: การวัดอุณหภูมิ

ในการวัดอุณหภูมิ เช่น การวัดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในขณะที่ระบบทำความเย็นถูกตัดแล้ว มีวิธีการตั้งค่าก่อนการใช้งานดังนี้

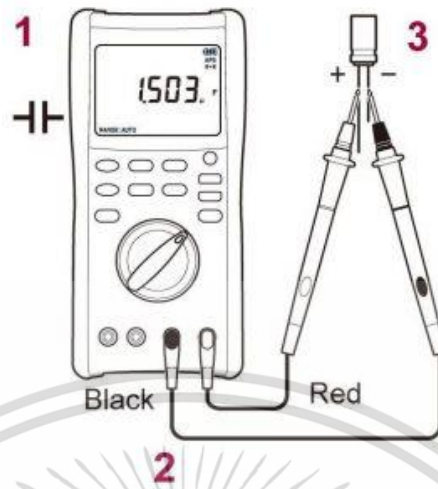


รูปที่ 2.36 การวัดอุณหภูมิ Hioki Model: DT-4282
ที่มา :<https://legatool.com/wp/3737/>

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: การวัดค่าความจุไฟฟ้า (Measuring capacitance)

ในการวัดตัวเก็บประจุ มีวิธีการตั้งค่าก่อนการใช้งานดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

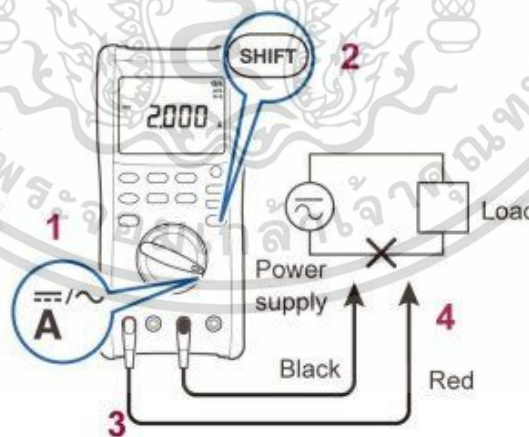


รูปที่ 2.37 การวัดค่าความจุไฟฟ้า Hioki Model: DT-4282

ที่มา :<https://legatool.com/wp/3737/>

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: การวัดกระแส DC (DC current)

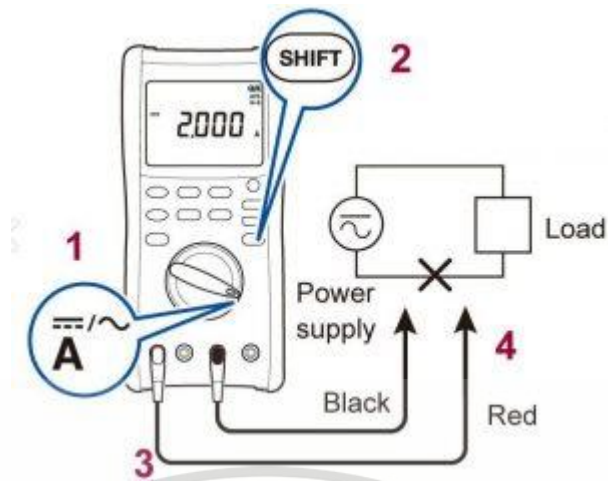
ในการวัดค่ากระแสในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง มีวิธีการตั้งค่าก่อนการใช้งานดังต่อไปนี้สำหรับการวัดกระแสในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะต้องเชื่อมต่อแบบอนุกรมระหว่างแหล่งจ่ายไฟและโหลด ซึ่งเราต้องตัดสายไฟระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับโหลดออกก่อนแล้วนำเข็มวัดทำการเชื่อมต่อในจุดที่มีเครื่องหมาย “X” ดังรูป



รูปที่ 2.38 การวัดกระแส DC Hioki Model: DT-4282

ที่มา :<https://legatool.com/wp/3737/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

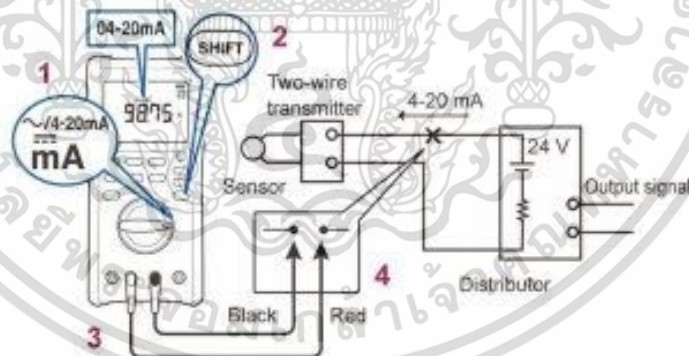


รูปที่ 2.39 ฟังก์ชัน SHIFT ในการวัดกระแส DC Hioki Model: DT-4282

ที่มา :<https://legatool.com/wp/3737/>

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: การวัดกระแส DC (4-20 mA DC current)

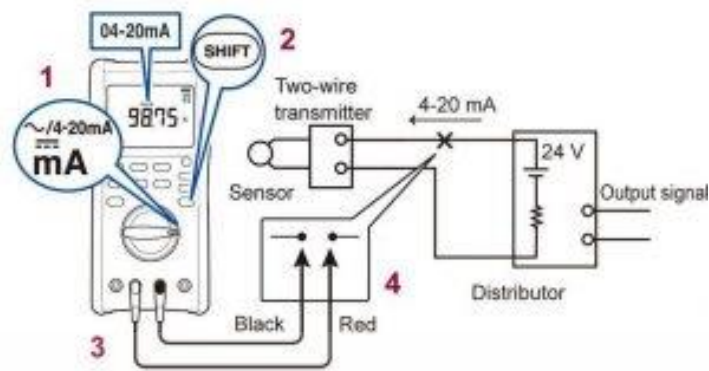
ในการวัดค่ากระแสในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง มีวิธีการตั้งค่าก่อนการใช้งานดังต่อไปนี้ สำหรับการวัดกระแสในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะต้องเชื่อมต่อแบบอนุกรมระหว่างแหล่งจ่ายไฟและโหลด ซึ่งเราต้องตัดสายไฟระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับโหลดออกก่อนแล้วนำเข็มวัดทำการเชื่อมต่อในจุดที่มีเครื่องหมาย “X” ดังรูป



รูปที่ 2.40 การวัดกระแส DC (mA) Hioki Model: DT-4282

ที่มา :<https://legatool.com/wp/3737/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

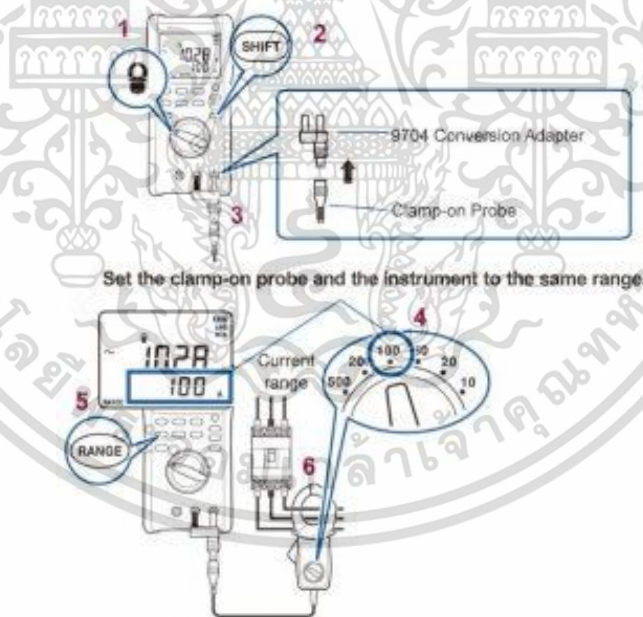


รูปที่ 2.41 Hioki Model: DT-4282

ที่มา :<https://legatool.com/wp/3737/>

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: การวัดกระแส AC โดยใช้แคลมป์ (Measuring AC current with a clamp-style sensor)

ในการวัดค่ากระแสในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์คู่กับเซนเซอร์ที่มีลักษณะเป็นแคลมป์ มีวิธีการตั้งค่าก่อนการใช้งานดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.42 การวัดกระแส AC Hioki Model: DT-4282

ที่มา :<https://legatool.com/wp/3737/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานดิจิทัลมัลติมิเตอร์: ฟังก์ชันเสริมอื่นๆ

Auto hold function: เป็นฟังก์ชันที่เครื่องจะคงค่าที่วัดไว้ได้บนหน้าจอโดยอัตโนมัติ (ฟังก์ชันนี้จะคงค่าไว้เมื่อค่าที่วัดได้นิ่งเพียงพอ) และสามารถวัดต่อได้เมื่อนำเข็มวัดไปสัมผัสจุดที่ต้องการวัดอื่นๆอีกครั้ง (เลือกเปิดใช้ฟังก์ชันนี้โดยการกดปุ่ม “HOLD” ค้างไว้ประมาณ 1 วินาที)

Recording function: ฟังก์ชันนี้จะบันทึกค่าสูงสุด และ ค่าต่ำสุดที่วัดได้ (เรียกใช้ฟังก์ชันนี้โดย การกดปุ่ม “MAX/MIN”)

Relative value function: ฟังก์ชันนี้คือ ฟังก์ชันที่ใช้ดูความแตกต่างที่เกิดจากการวัดเทียบกับค่าที่อ้างอิงไว้ (เรียกใช้ฟังก์ชันนี้โดยการกดปุ่ม “MAX/MIN” ค้างไว้ประมาณ 1 วินาที)

FILTER
Press **READ** for at least 1 second.
(**FILTER** lights up.)



Press **MAX/MIN**

Each time the key is pressed, the display is changed in the order of the maximum value (MAX), minimum value (MIN), and current value.

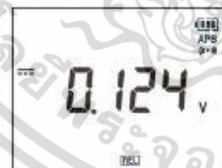


Example 1: DC voltage measurement

When the standard value is measured,

press **MAX/MIN** for at least 1 second
(**REL** lights up).

To cancel the state, press it for at least 1 second again. (**REL** goes off.)



Example 2: Temperature measurement

When measuring temperature, **[REF]** lights up and a standard temperature appears in the sub display.

— Deviation from the standard temperature

— Standard temperature



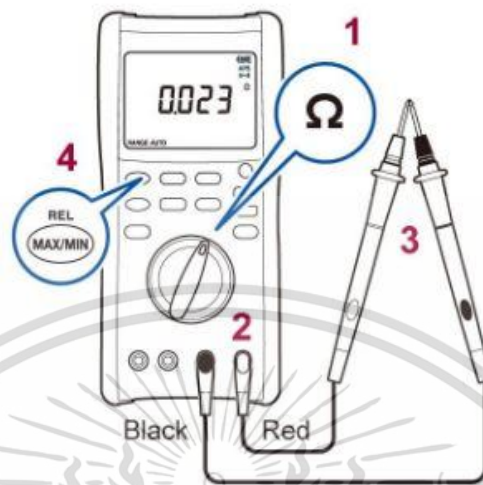
รูปที่ 2.43 Auto Hold function

ที่มา :<https://legatool.com/wp/3737/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์: ฟังก์ชันการตั้งค่าศูนย์

สำหรับการวัดแรงดัน, กระแส และ ค่าความต้านทาน มีวิธีการตั้งค่าดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.44 ฟังก์ชันการตั้งค่าศูนย์ Hioki Model: DT-4282

ที่มา :<https://legatool.com/wp/3737/>

2.5 อุปกรณ์เชื่อมต่อสำหรับเขียนโปรแกรมคำสั่งให้อุปกรณ์

ในการเบสเทสในโหมดพลังงานต่ำ มีความจำเป็นที่จะต้องเขียนโปรแกรมคำสั่งใช้งานให้กับอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่ว่าจะการเขียนฟังก์ชันการทำงานใดก็จะต้องใช้อุปกรณ์ส่งผ่าน โดยการเขียนโปรแกรมภาษาซีจากคอมพิวเตอร์ โดยอุปกรณ์จะเชื่อมระหว่างบอร์ดทดลองและคอมพิวเตอร์ โดยผ่านขา DATA, CLK และ MCLR อุปกรณ์เชื่อมต้อมีหลากหลายได้แก่ ICD3, MPLABX เป็นต้น

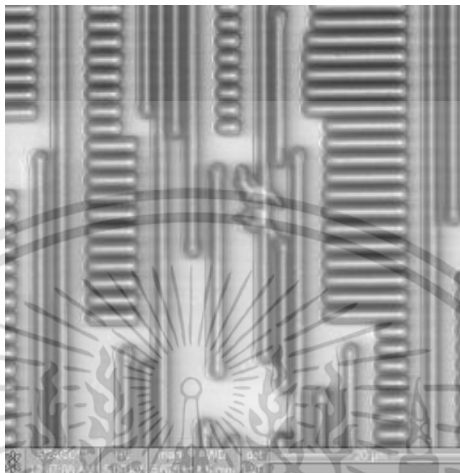


รูปที่ 2.45 อุปกรณ์เชื่อมต่อโปรแกรมคำสั่ง ICD3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 รูปแบบของข้อบกพร่องบนไอซี

2.6.1 Particle defect ความเสียหายขนาดเล็กที่เกิดจากกระบวนการ fabrication ซึ่งมีเม็ดสารบางชนิดที่เป็นสารนำไฟฟ้าไม่พึงประสงค์เกิดระหว่างโลหะลายวงจรทำให้เกิดอาการลัดวงจรภายใน ซึ่งถ้าใช้ไปนานๆ จะมีผลให้เกิดข้อบกพร่องที่ใหญ่ขึ้นได้ ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 2.46



รูปที่ 2.46 particle defect บนชั้นโลหะ

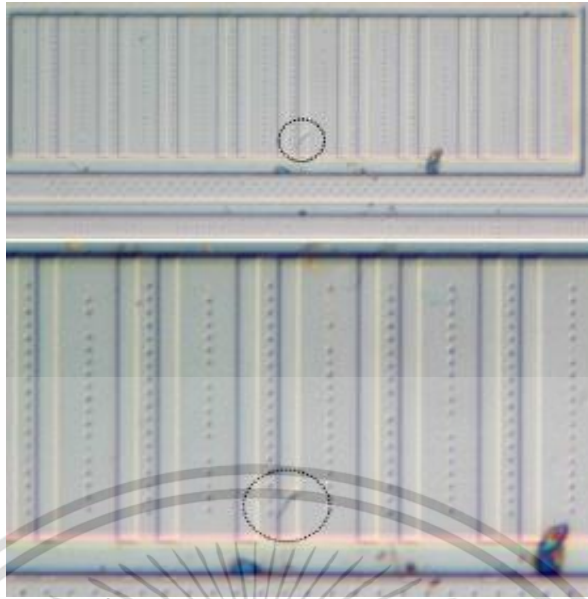
2.6.2 Fabrication defect ความเสียหายจากกระบวนการ fabrication เรียงชั้นซึ่งอาจเกิดการเรียงชั้นไม่สมบูรณ์หรือได้ปกเกินเป็นข้อบกพร่องขนาดใหญ่และชัดเจนกว่า particle defect ดังรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.47 Fabrication defect บนชั้นโลหะ

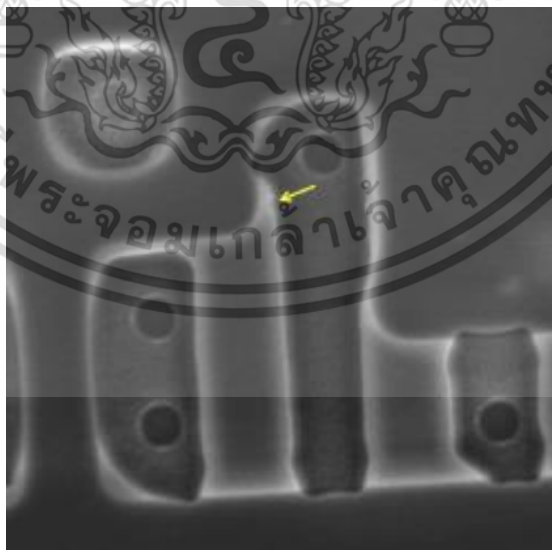
2.6.3 Electrical Over stress คือความเสียหายเนื่องจากไอซีได้รับศักดาหรือกระแสมากกว่าที่จะสามารถทนได้ทำให้เกิดรอยไหม้ในบริเวณที่ได้รับกระแสไฟฟ้าสูงเกินกว่าปกติ ความเสียหายมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป หากมีความเสียหายมากจะอาจรุนแรงมีรอยไหม้บนแพ็คเกจภายนอกด้วย ดังรูป 2.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.48 Electrical over stress defect

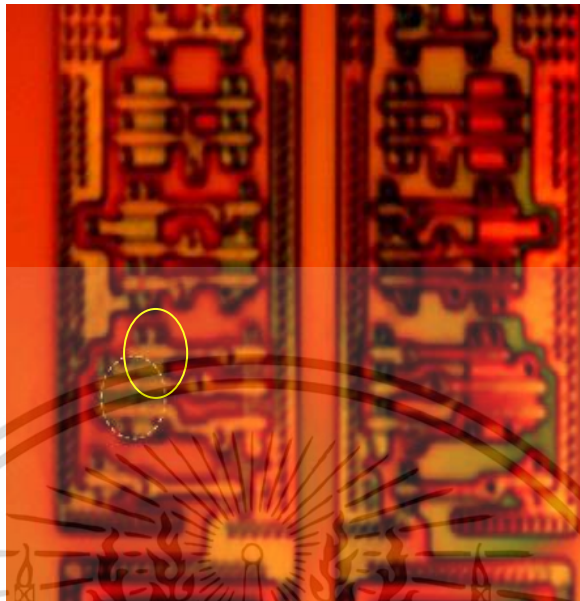
2.6.4 Electrical Static Discharge damaged การถ่ายเทประจุไฟฟ้าของวัตถุสองชนิดต่างกัน เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ซึ่งอาจมีการกระโดดของกระแสไฟ เรียกว่า Spark โดยทั่วไปESD มีสองประเภทคือ HBM (Human Body Model) และ CDM (Charge Device Model) โดยอาจเกิดจาก ชั่วอุปกรณ์วัสดุที่นำมาใช้มีอายุการใช้งานมาก เช่นส่วนแผ่นซิลิกอน หรือการสัมผัสงานโดยตรงของผู้ใช้งาน หรือกระบวนการที่มีการเสียดสีเช่นการตัดแผ่นเวเฟอร์ซิลิกอน เกิดการส่งผ่านประจุเข้าสู่ตัวงานซึ่งความรุนแรงจะขนาดเล็กกว่า EOS และจะพบมากในชั้นฐานซิลิกอน (Si) เอง ดังรูป 2.49



รูปที่ 2.49 ESD damages

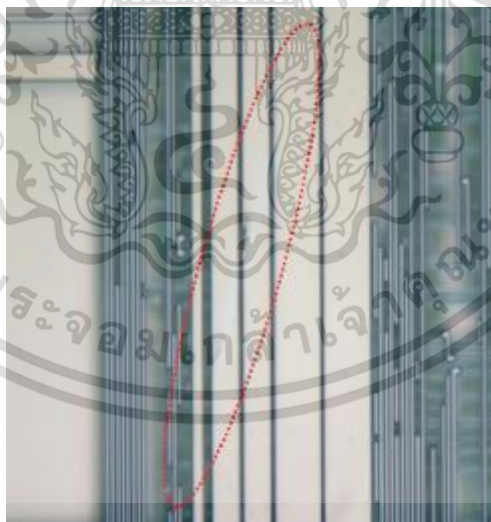
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 Poly defect คือไอซีบนชั้น poly ที่มีการโต้ปสารผิดปกติทำให้เกิดกระแสรั่วไหลได้ ดังรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.50 Poly defect

2.6.6 Scratch die คือรอยขีดข่วนจากกระบวนการแตกทำให้ลายวงจรบนหน้าไดมีการเสียหาย มักจะเป็นรอยชูดลากยาว พาดผ่านวงจรทำให้วงจรเกิดการเสียหาย เกิดกระแสรั่วไหลได้ นับเป็น Mechanical damaged ชนิดหนึ่งแต่รูปแบบต่างกัน ดังรูปที่แสง 2.51

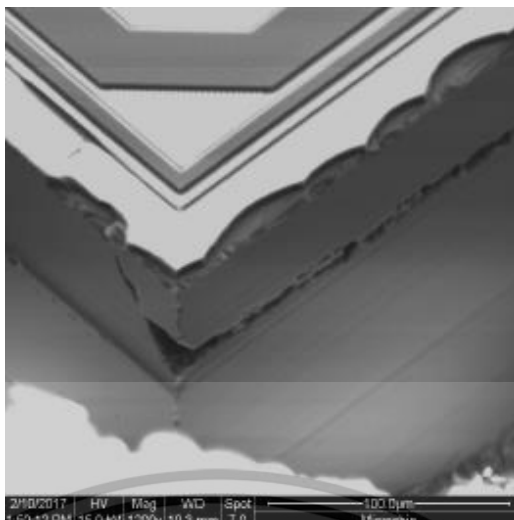


รูปที่ 2.51 Die scratch

2.6.7 Cracked die คือรอยร้าวที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าได ส่วนใหญ่มักจะพบบริเวณด้านข้างของได เนื่องจากกระบวนการตัดไดที่ใช้ใบเลื่อยที่มีความคมไม่เพียงพอทำให้ไม่สามารถตัดได้อย่างขาดอย่างละเอียด จึงเกิดเป็นรอยแตกร้าวรวมเข้ามาในวงจรทำให้ลายวงจรขาด เกิดการลัดวงจรขึ้น ดังรูปที่

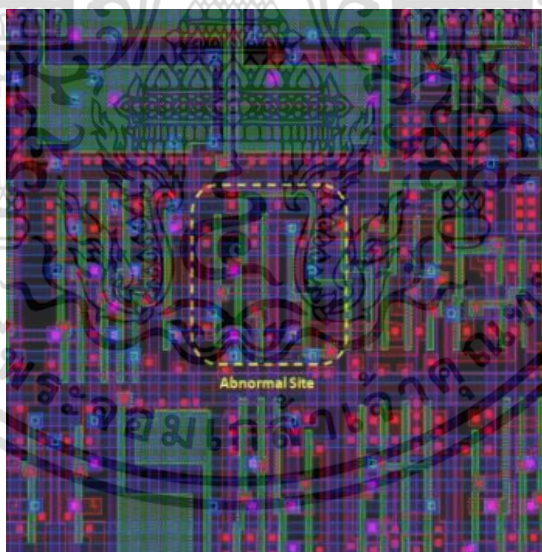
2.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.52 Cracked die

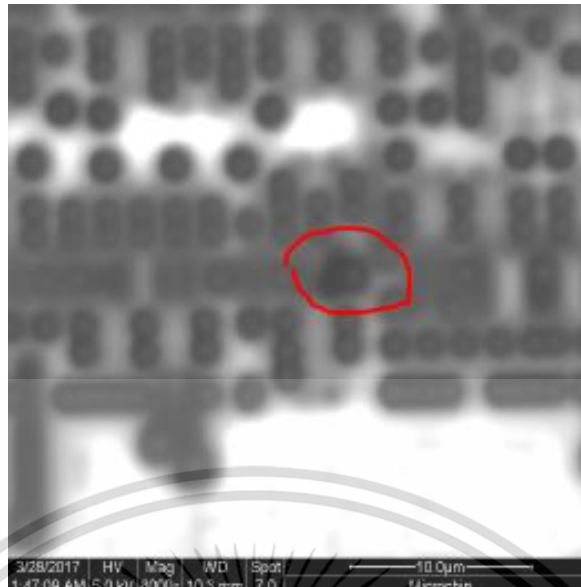
2.6.8 Interconnection คือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นโลหะที่ติดกันที่มีการเชื่อมต่อกันด้วยหมุดเชื่อมต่อนำไฟฟ้าที่เรียกว่า Via ซึ่งข้อบกพร่องดังกล่าวคือการประกบผิดพลาดของ Via ที่เชื่อมระหว่างชั้นหรือเชื่อมไม่สมบูรณ์ หรือมีสารอื่นปะปนที่ปลาย Via ทำให้เกิดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างชั้น ซึ่งข้อบกพร่องนี้ไม่จำเป็นต้องเข้ากระบวนการ de layer เพราะถ้าได้ตำแหน่งข้อผิดพลาดจาก LEM สามารถวิเคราะห์ได้จาก layout คาดการณ์ได้เลยว่าเป็นความผิดพลาดที่ Via



รูปที่ 2.53 Interconnection

2.6.9 Oxide defect คือข้อบกพร่องขนาดเล็กเกิดรูอากาศบริเวณ Oxide ที่กั้นระหว่างชั้นโลหะซิลิกอน ทำให้ประจุไฟฟ้าเกิดการซากลงไปด้านล่างทำให้เป็นรอยกัดเซาะเล็กๆบนชั้นซิลิกอน ดังรูปที่ 2.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.54 Gate oxide defect

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chunlei Wu และ Berges Corinne (2010 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Leakage Current Study and Relevant Fault Localization by IR-OBIRCH หรือ การศึกษากระแสรั่วไหลและการระบุตำแหน่งข้อบกพร่องโดยไออาร์-โอเบิร์ชซึ่ง Chunlei Wu และ Berges ได้ศึกษาถึงกระบวนการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของไอซี โดยเห็นว่าการเกิดกระแสไฟฟ้าวไหลภายในวงจรไอซีเป็นสาเหตุหลักทำให้ไอซีเกิดความเสียหาย ถึงแม้ว่ากระแสไฟฟ้าวไหลภายในวงจรจะมีวงจรที่หลากหลายและแตกต่างกันก็สามารถที่จะวิเคราะห์หมวดหมู่ข้อบกพร่องของไอซี (Failure Mode) ได้ ในบางครั้งเป็นเรื่องยากที่หาความบกพร่องของไอซีได้โดยตรงจากเทคนิคไออาร์-โอเบิร์ชกับโหมดกระแสไฟฟ้าวไหล หากกระแสไฟฟ้าวที่รั่วไหลมีค่าน้อยมากๆ ก็ไม่สามารถตรวจสอบได้ ในส่วนของค่าความต้านทานการรั่วไหลของกระแสจะลดลงตามการรั่วไหลของกระแสหลัก ซึ่งทางที่ดีและปลอดภัยในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของกระแสและตำแหน่งที่ผิดปกติคือการทำไออาร์-โอเบิร์ชเขาจึงได้ทำการทดสอบและพบว่าจากการทดสอบทั้ง 2 วิธีการนั้น ก็พิสูจน์ได้ว่าทฤษฎีนี้ประสบความสำเร็จ

Noorsyuhada Hat และ คณะ (2013 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Development of Failure Analysis Technique for Temperature Dependent Failures หรือ การพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของไอซีที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิ Noorsyuhada Hat และ คณะ ผู้วิจัยได้เห็นถึงความต้องการและเจริญเติบโตที่มากขึ้นของผลิตภัณฑ์เซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor Product) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสาขาอุตสาหกรรมยานยนต์ ที่มีความต้องการไอซีที่สามารถทนทานต่อการใช้งานในย่านอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้ รายละเอียดที่ผู้บริโภคร้องขอที่ผู้วิจัยได้ศึกษามีคือ ไอซีต้องมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งแรงน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพต่อการใช้กับอุณหภูมิ ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องเลือกปัจจัยบางอย่าง เพื่อนำมาทดลองก่อนจะนำไอซีไปใช้งานจริงหรือส่งขายต่อไป ในทางตรงข้ามกับการเตรียมความพร้อมหลังจากขายไอซี เช่น การวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซีก็มีความสำคัญมากที่ต้องพิจารณา ความผิดพลาดและข้อบกพร่องของไอซีเกิดจากอุณหภูมิทำให้เกิดความท้าทายและน่าสนใจด้านการวิเคราะห์หาข้อบกพร่อง เขาจึงจำลอง(Simulate)ปัจจัยและเงื่อนไขที่ทำให้ไอซีเกิดความเสียหายที่อุณหภูมิร้อนและเย็น ใช้การประยุกต์ในขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบหาสาเหตุของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

บทความนี้ของNoorsyuhada Hatและคณะมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพของไอซีที่เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ

ยรรยงศรีสวัสดิ์(2558 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาฟิล์มลอกของซิลิคอนเวเฟอร์ในการเคลือบผิวฟิล์มบางสำหรับอุปกรณ์เซ็นเซอร์อุณหภูมิ เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิขึ้นงานความดันสุญญากาศและอัตราการระเหยสารที่ส่งผลต่อการลอกของฟิล์มบางในกระบวนการเคลือบแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์สำหรับอุปกรณ์เซ็นเซอร์อุณหภูมิของโรงงานเคลือบผิวฟิล์มบางแห่งหนึ่งโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคตอเรียลแบบเต็มรูปชนิด 23 แฟคตอเรียลเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาฟิล์มลอกของซิลิคอนเวเฟอร์ในการเคลือบผิวฟิล์มบางสำหรับอุปกรณ์เซ็นเซอร์อุณหภูมิการทดลองครั้งนี้ใช้ตัวอย่างการทดลองโดยการสุ่มครั้งละ 2 ชิ้นรวมทั้งสิ้น 32 ชิ้น และมีการทดลองซ้ำ 2 ครั้งการทดสอบการยึดเกาะของฟิล์มบางใช้วิธีการกรีดผิวฟิล์มบางเป็นตารางด้วยหัวเพชรและใช้เทปกาวใสปิดทับบริเวณที่ถูกกรีดแล้วดึงขึ้นเพื่อประเมินอัตราการลอกของฟิล์มบางการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมินิเทป 14 ผลการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดฟิล์มลอกที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95($\alpha = 0.05$) ได้แก่อุณหภูมิของชิ้นงานอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิชิ้นงานกับความดันสุญญากาศ และอันตรกิริยาสามปัจจัยหลักได้แก่อุณหภูมิชิ้นงานความดันสุญญากาศและอัตราการระเหยสาร

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมถึงแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ ทางด้านการวิเคราะห์ไอซีรวมถึงอุปกรณ์และขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซี แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวไอซีคือขั้นตอนการเคิฟเทรสเซอร์เพราะสามารถเปรียบเทียบหาไอซีที่มีคุณภาพดีและไอซีที่เกิดความเสียหายออกจากกันได้ หากการเคิฟเทรสเซอร์ไม่สามารถระบุหรือวัดกระแสรั่วไหลของไอซีได้ ก็ไม่สามารถวิเคราะห์ไอซีในขั้นตอนต่อไปได้ผู้วิจัยจึงได้ตัดสินใจเลือกการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีด้วยวิธีการเบนซ์เทสเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ไอซีกรณีเครื่องเคิฟเทรสเซอร์ไม่สามารถวัดกระแสรั่วไหลได้และนำผลการวัดด้วยวิธีนี้ไปสู่ขั้นตอนไออาร์-โอเบิร์ชเพื่อวิเคราะห์หารูปแบบของสาเหตุการเสียหายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ParinDechmune และคณะ (2017: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Find the location of defect in microcontroller devices by bench electrical leakage current testing method in power down mode งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการเบนซ์เทสจำลองโหมดพลังงานต่ำของอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล นำไปสู่การวิเคราะห์หาตำแหน่งของข้อผิดพลาดเชิงผลึก เพื่อแก้ปัญหาในกรณีที่กราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดันจากเครื่อง IV curve tracer ไม่สามารถแสดงการรั่วไหลของอุปกรณ์ได้ โดยการศึกษาโหมดการทำงานดังกล่าวจากแผ่นข้อมูลประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เกิดความผิดปกติ และจึงทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีเพื่อปรับการทำงานของอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้อยู่ในรูปแบบพลังงานต่ำ อ้างอิงจากใบแสดงข้อมูลการใช้งานอุปกรณ์ (Datasheet) แล้วจึงทำการต่อวงจรไฟฟ้าจำลองการใช้งานอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อวัดกระแสรั่วไหล และนำไปสู่การวิเคราะห์หาตำแหน่งด้วยเครื่อง PHEMOS ด้วยวิธี OBIRCH และ Ion Emission ต่อไป โดยงานวิจัยในบทความนี้ จะเปรียบเทียบกระบวนการของทั้งสองวิธีข้างต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความผิดปกติขึ้นเดียวกันเพื่อสังเกตตำแหน่งของความผิดปกติ

ParinDechmune และคณะ (2017: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Leakage current measurement with the bench test in watchdog timer power down mode for microcontroller device บทความวิจัยนี้กล่าวถึงการเบนซ์เทสสำหรับวิเคราะห์ไอซี เพื่อระบุตำแหน่งข้อบกพร่องวงจรที่อยู่บนหน้าไดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ การเบนซ์เทสในโหมด ipd_wdt เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อเคิฟ เทสเซอร์ไม่สามารถตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วไหลได้ในลักษณะกราฟ I-V Curve ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยกล่าวถึงการเบนซ์เทสในโหมด watchdog timer power down (ipd_wdt) กับการปิดฟังก์ชันความถี่และฟังก์ชันการเขียนโปรแกรมควบคุม watchdog timer โดยใช้โปรแกรมภาษา C ซึ่งการเขียนโปรแกรมอ้างอิงจาก datasheet แล้วตั้งค่ากำหนดการวัดกระแสรั่วไหล หลังจากนั้นนำไปสู่กระบวนการ OBIRCH หรือ Ion Emission เพื่อหาจุดบกพร่องบนวงจรในหน้าไดเป็นแนวทางการระบุประเภทของข้อบกพร่องนั้นต่อไป

จิราภา มุ่งเจริญ และคณะ (2017: บทคัดย่อ) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคุณภาพและเปรียบเทียบการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทส ซึ่งเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาชนิดและตำแหน่งของความผิดพลาดบนผิวหน้าไดสำหรับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยการพัฒนาการวัดกระแสรั่วไหลโดยใช้วิธีเบนซ์เทสได้ผ่านการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และเปรียบเทียบผลการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทส กับการวัดกระแสด้วยวิธี I-V Curve กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC16, DSPIC33, PIC24, PIC18 และ PIC32 โดยการสุ่มอย่างง่าย

ตระกูลละ 4 ตัว จำนวน 20 ตัว ผลการวิจัยพบว่าคุณภาพการวัดค่ากระแสรั่วไหลของไอซีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทส มีคุณภาพอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 3.39 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.61 และพบว่าผลการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธี Bench test สูงกว่าวิธี I-V Curve อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และแสดงว่าการวัดกระแสรั่วไหล ด้วยวิธี Bench test สามารถตรวจวัดค่ากระแสรั่วไหลได้ดีกว่าการวัดด้วย I-V

James Beall และ David Wilson (n.d. : บทความย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Curve Tracer Application and Hints For Failure Analysis หรือการประยุกต์ใช้เคิฟเทรสเซอร์สำหรับการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของไอซี ซึ่ง James Beall และ David Wilson ได้เห็นถึงความสำคัญของเครื่องเคิฟเทรสเซอร์ว่ามีประสิทธิภาพและความสามารถที่มีลักษณะเฉพาะในการตรวจสอบการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากับผลตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยด้านการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องไอซีหลายคนพบว่าเครื่องเคิฟเทรสเซอร์เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ถูกใช้บ่อยที่สุดในขั้นตอนการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor device) ผู้วิจัยจึงได้วิจัยโดยอธิบายถึงการทำงานของเคิฟเทรสเซอร์และการวิเคราะห์กราฟไอวี เคิฟเพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจอย่างมากขึ้นในการใช้เครื่องมือและข้อมูลจาก ไอวี เคิฟสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุได้ถูกต้อง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีเบนซ์เทสนี้ เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ในกรณีที่เครื่องเคิฟเทรสเตอร์ไม่สามารถวัดได้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าแนวคิดทฤษฎีจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอ เรียบเรียงสาระสำคัญตามลำดับ หัวข้อต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีดังนี้

3.1.1 ประชากรในงานวิจัย คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PxC1xxxxx และ DSPxCxxxxx จากบริษัทผู้ผลิตและผู้ใช้ในประเทศไทย

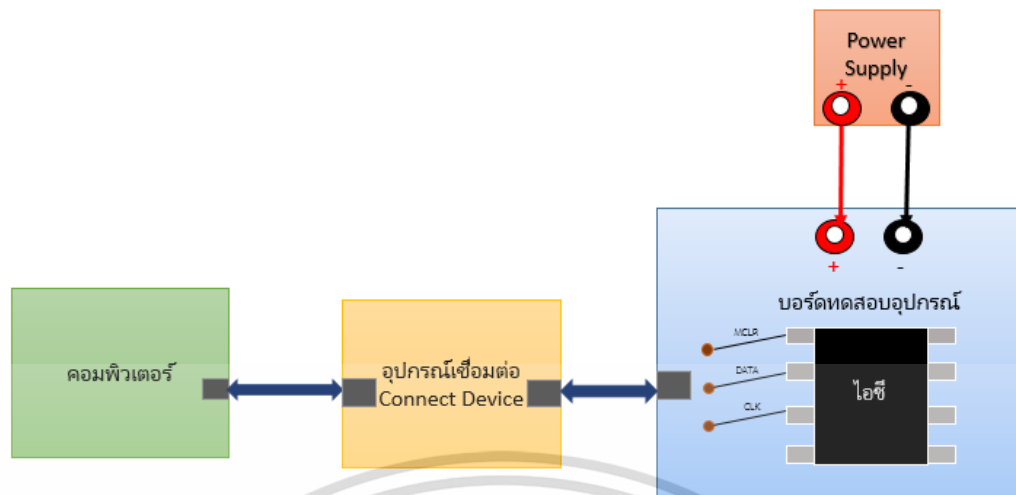
3.1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ PxC1xxxxx และ DSPxCxxxxx ผู้วิจัยเลือกตัวอย่างจากวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ใช้หลักการของการวิจัยเชิงทดลองซึ่งต้องมีประชากรกลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 20 ตัวอย่าง (นงลักษณ์ วิรัชชัย 2543:38) และในงานวิจัยนี้ผู้ทดลองได้ใช้ตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่างจากประชากรทั้งหมด นำมาวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส และเปรียบเทียบระหว่างไอซีที่ปกติกับไอซีที่ไม่ปกติ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

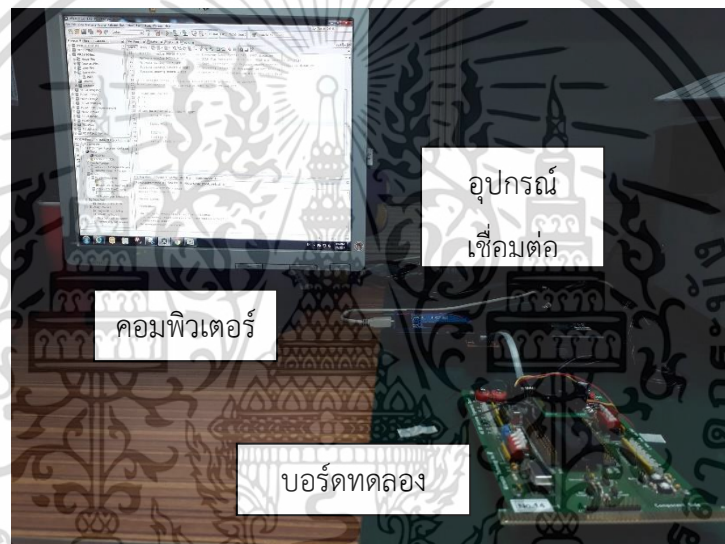
3.2.1 การเชื่อมต่อไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมคำสั่ง

การใส่โปรแกรมคำสั่งภาษาซีให้กับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องเขียนผ่านระบบคอมพิวเตอร์โดยผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น ICD3, Real ice หรืออุปกรณ์เชื่อมต่ออื่นๆ เพื่อส่งเข้าบอร์ดอัดโปรแกรมที่มีไอซีเชื่อมต่อขาอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอก ได้แก่ ขา MCLR, DATA และ CLK โดยมีองค์ประกอบดังรูป 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 โครงสร้างการเชื่อมต่อเพื่อเขียนโปรแกรมให้ไอซี

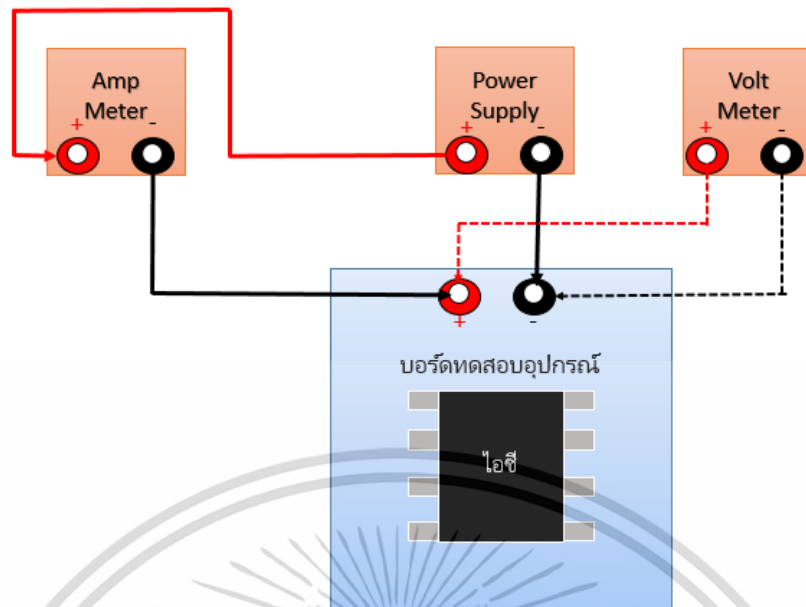
(ก) โครงสร้างการเชื่อมต่อเพื่อเขียนโปรแกรมให้ไอซี

(ข) การติดตั้งเครื่องมือสำหรับการเรียนโปรแกรม

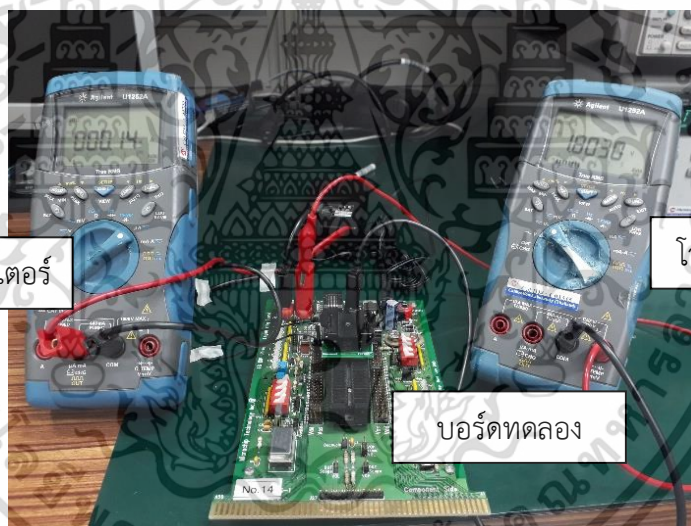
3.2.2 การวัดกระแสไฟฟ้าวัดสำหรับไอซีด้วยวิธีเบนซ์เทส

หลังจากผ่านกระบวนการเขียนโปรแกรมคำสั่งให้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้อยู่ในโหมดพลังงานต่ำ แล้ว ก็เข้าสู่กระบวนการวัดกระแสไฟฟ้า โดยผู้วิจัยจะทำการติดตั้งไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ เชื่อมต่ออนุกรมกับแอมมิเตอร์ และนำโวลต์มิเตอร์ต่อขนานเข้ากับบอร์ดทดสอบอุปกรณ์ที่มีการตั้งค่าขาอุปกรณ์แล้ว ตามโครงสร้างดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 ระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

(ก) องค์ประกอบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

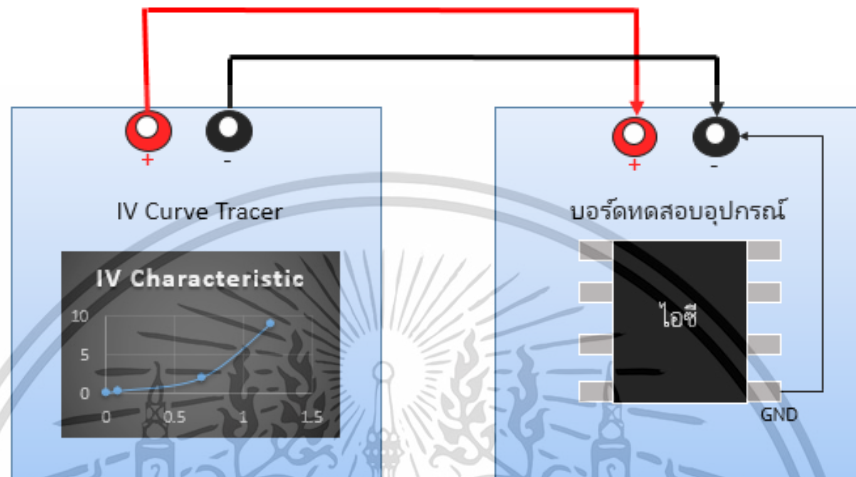
(ข) การเชื่อมต่ออุปกรณ์การเบนซ์เทส

จากรูปที่ 3.2 เป็นระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส ซึ่งมีการตั้งค่าขาแต่ละขาของไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยอ้างอิงจากใบรายละเอียดอุปกรณ์ (Datasheet) ซึ่งในแต่ละตระกูลมีวิธีการต่างกัน แล้วจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) อนุกรมกับแอมป์มิเตอร์ และใช้โวลต์มิเตอร์ต่อขนานเพื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่มีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่างๆกันไปตามค่าอ้างอิง

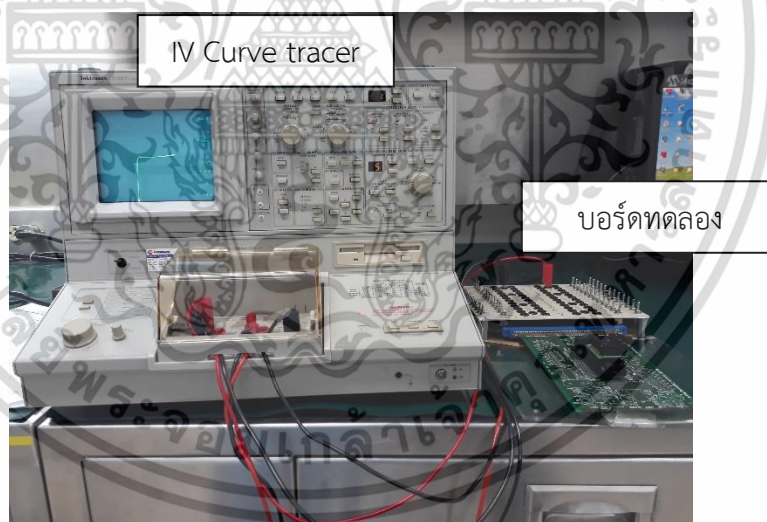
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การวัดกระแสรั่วไหลด้วยเครื่องไอวีเคิร์ฟ (IV curve tracer)

วิธีการปกติของการวัดความผิดปกติของคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้เครื่องเคิร์ฟเทรเซอร์ ซึ่งอ้างอิงวิธีการวิจัยของ James Beall และ David Wilson โดยผู้วิจัยมีจุดประสงค์ที่จะเปรียบเทียบการวัดกระแสรั่วไหลกับวิธีการเบนซ์เทส โดยมีโครงสร้างการติดตั้งดังรูปที่ 3.3



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 โครงสร้างการติดตั้งและวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีไอวีเคิร์ฟ

(ก) องค์ประกอบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีไอวีเคิร์ฟ

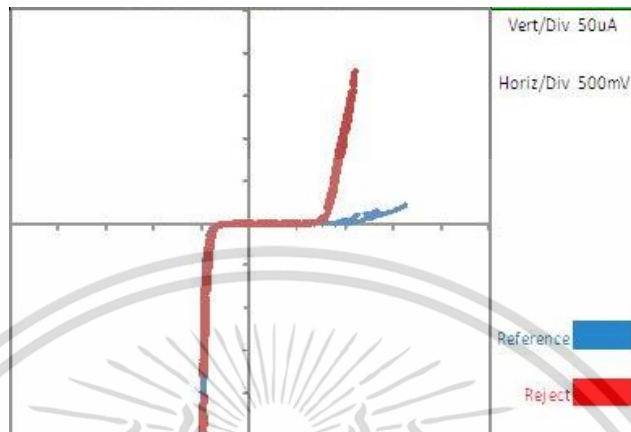
(ข) การเชื่อมต่ออุปกรณ์การไอวีเคิร์ฟ

จากรูปที่ 3.3 การวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลด้วยวิธีการข้างต้น เครื่องมือไอวีเคิร์ฟจะแสดงค่าออกมาในรูปแบบกราฟคุณสมบัติ IV ผู้วิจัยจะต้องเปรียบเทียบ กราฟคุณสมบัติของความสัมพันธ์กระแสและแรงดันระหว่างไอซีที่ปกติและไอซีที่มีความผิดปกติ หากมีการรั่วไหล ณ จุดที่แรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเชิญเข้าเรียนในภาควิชาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากันอุปกรณ์ที่ผิดปกติจะแสดงค่ากระแสไฟฟ้าสูงกว่า ถ้าหากไม่มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลกราฟจะซ้อนทับแนบสนิทตัวอย่างกราฟรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า

แสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 กราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากเครื่อง IV curve tracer

3.2.4 การระบุตำแหน่งข้อบกพร่องบนหน้าไต้ด้วยเครื่อง LEM

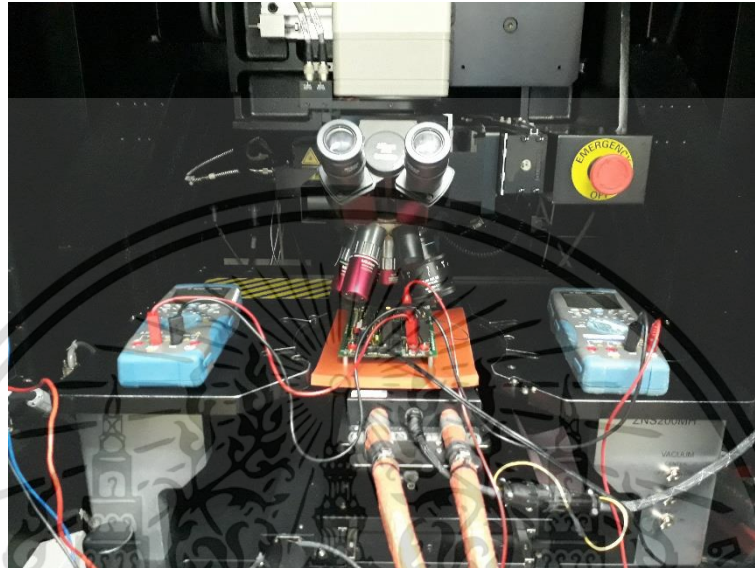
เครื่อง LEM หรือ Light Emission Microscope คือเครื่องมือที่ตรวจจับตำแหน่งที่เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบของแสงที่สัมพันธ์กับตำแหน่งที่มีประจุรั่วไหลมากขึ้นบนหน้าไต้ โดยในงานวิจัยนี้จะนำมาใช้สำหรับระบุตำแหน่งข้อบกพร่องของไอซี โดยผ่านกระบวนการ OBIRCH เครื่อง LEM และรูปแบบการแสดงผลดังรูปที่ ได้ตั้งรูปที่ 3.5



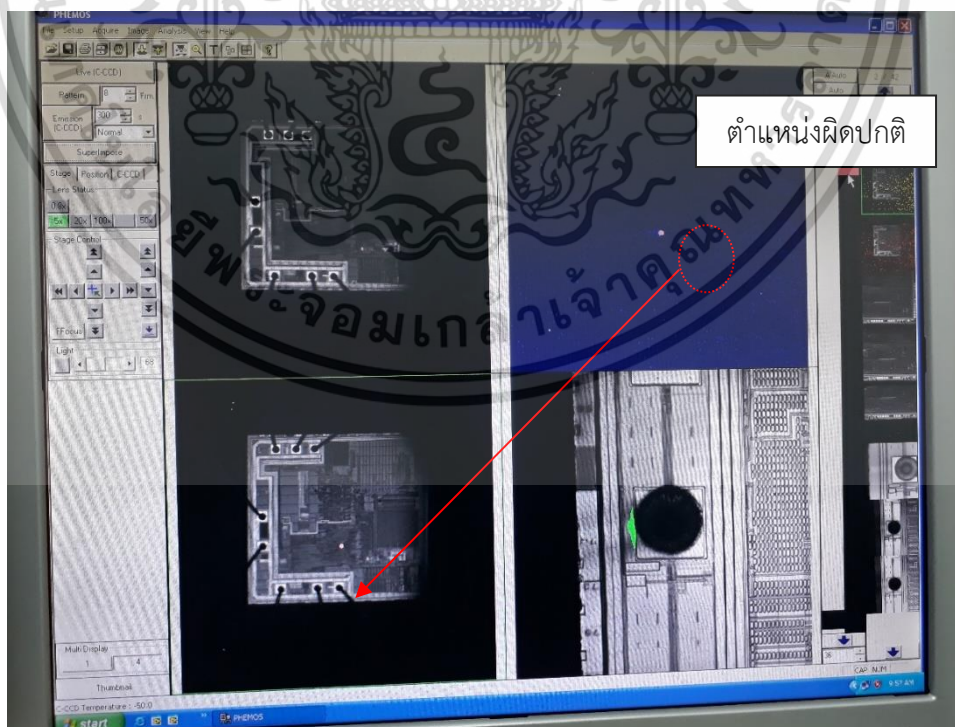
รูปที่ 3.5 Light Emission Microscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูเชิงในเพื่อใช้ประกอบการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหลักการของ OBIRCH หรือ Ion Emission ใช้การจ่ายแรงดันไฟฟ้าและสแกนด้วยแสงเลเซอร์อินฟราเรดตรวจสอบว่าในขณะที่ไอซีทำงาน ตรวจสอบว่าจุดใดมีกระแสรั่วไหลผิดปกติ แล้วอ่านในรูปของความต้านทานที่ผิดปกติ และแสดงในรูปของแสงบนจอโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่านเครื่อง LEM หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกให้กับบอร์ดทดสอบอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การติดตั้งบอร์ดภายในเครื่อง LEM



รูปที่ 3.7 การแสดงผลความผิดปกติหน้าไตจากเครื่อง LEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำภาพที่ได้จากกระบวนการ OBIRCH และ Ion Emission ของไอซีที่ปกติและไอซีที่มีความผิดปกติ ตำแหน่งของแสงที่แสดงจุดแตกต่างระหว่างงานปกติบนหน้าใด คือตำแหน่งที่มีการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า และคาดการณ์ว่าจะเป็นที่เกิดข้อบกพร่องของไอซี

3.2.5 การวิเคราะห์และระบุชนิดข้อผิดพลาดของไอซี

เมื่อทราบตำแหน่งข้อบกพร่องบนหน้าใดของไอซีแล้ว เราจะวิเคราะห์เฉพาะเจาะจงที่จุดนั้น โดยเฉพาะด้วยกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์ลายวงจร (Layout analysis) คือการวิเคราะห์รูปแบบลายวงจร ณ.จุดที่แสดงความผิดปกติว่าเป็นส่วนใดในวงจร อาทิ ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ตัวเก็บประจุ เพื่อคาดการณ์ความเป็นไปได้ที่จะเป็นข้อผิดพลาดชนิดใด ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ลายวงจร

เมื่อคาดการณ์ได้แล้วก็ทำการขีดผิวงานและตรวจสอบทีละชั้น หรือเรียกว่าวิธีการ de-layering คือการขีดดูทีละชั้นเนื่องจากในดีมีมีการได้ปสารหลายชั้น อาจมีชั้นโลหะ 3 ชั้นหรือมากกว่านั้น ชั้นออกไซด์ จนไปถึงชั้นแผ่นซิลิกอนล่างสุด ซึ่งข้อบกพร่องอาจเจอจุดในก็ได้ผู้วิจัยจำเป็นต้องขีดและหมั่นตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง (High power microscope) รวมไปถึงการใช้ SEM ในการตรวจสอบอย่างละเอียดและระบุชื่อของชนิดข้อผิดพลาดนั้นต่อไป



รูปที่ 3.9 ซิลิกาเหลว

3.3 การโปรแกรมคำสั่งเบนซ์เทสพลังงานต่ำสำหรับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

การตั้งค่าไอซีในงานเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำนั้น ใช้วิธีเขียนโปรแกรมคำสั่งด้วยภาษาซีและเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อและบอร์ดทดลองตามหัวข้อ 3.2.1 โดยการเขียนโปรแกรมคำสั่งนั้นเราแบ่งการเขียนเป็นสองส่วนคือ ส่วนตั้งค่าคุณสมบัติเชิงความถี่ และชุดคำสั่งโหมด SLEEP โดยชุดตัวอย่างคำสั่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.10

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <xc.h>

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <xc.h>

#pragma config FOSC = INTOSCIO
#pragma config WDTE = OFF
#pragma config PWRTE = OFF
#pragma config MCLRE = ON
#pragma config CP = OFF
#pragma config IOSCFIS = 8MHZ
#pragma config BOREN = OFF

int main(int argc, char** argv) {
    SLEEP();
    while(1);
    return (EXIT_SUCCESS);
}
```

รูปที่ 3.10 ชุดโปรแกรมคำสั่งภาษาซีในโหมดพลังงานต่ำ PIC12F609

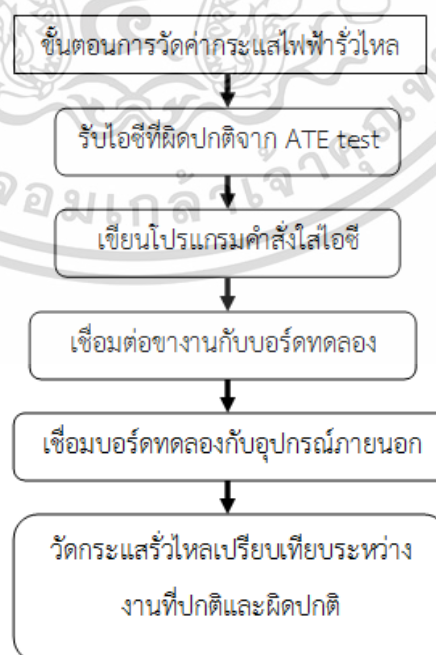
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโปรแกรมคำสั่งที่แสดงดังรูปที่ 3.10 ในส่วนแรกคำสั่งการตั้งค่าเงื่อนไขเชิงความถี่(ส่วนบน) มีการใช้คำสั่งได้แก่ คำสั่ง OFF ใช้ปิดโหมดWatchdog Timer (WDTE) คือ โหมดการดำเนินความถี่, Power-up Timer (PWRT) คือ โหมดการกำหนดจุดเริ่มต้นของความถี่, CP โหมดควบคุม Trigger และ Brown-out Reset (BOREN) คือโหมดการรีเซ็ตความถี่คำสั่ง ON ใช้เปิดโหมด MCLR คือโหมดที่เป็นเหมือนสวิตช์คำสั่งเปิด-ปิดการทำงานของโปรแกรมเมื่อเปิดชุดคำสั่งนี้ คำสั่งที่เขียนจะเริ่มทำงานเมื่อเราจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าที่ขา MCLR และจะปิดโหมดเมื่อไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า คำสั่ง INTOSC (Internal Oscillator) ใช้เปิดโหมด FOSC(Frequency Oscillator) เป็นการตั้งค่าให้ใช้ความถี่ภายในของไอซีที่ทดลอง (ไม่ต้องจ่ายความถี่ภายนอก) และในส่วนที่สอง (ส่วนล่าง) คำสั่งโหมด SLEEP ให้เขียนคำสั่ง SLEEP ในการทำให้ไอซีอยู่ในโหมดพลังงานต่ำ ปิดการใช้งานฟังก์ชันอื่นๆ และให้คำสั่ง while (1) คือให้อุปกรณ์วิ่งทำงานอยู่กับที่เพื่อให้ไอซีอยู่ในสถานะ SLEEP แบบมีเสถียรภาพ ไม่เปลี่ยนสถานะระหว่างวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในไอซี

ทั้งนี้ทั้งนั้นโปรแกรมตัวอย่าง ไม่สามารถใช้ได้กับไอซีทุกตระกูลแต่เราจะต้องเขียนโปรแกรมให้ตรงกับฐานข้อมูล ไอซีตัวนั้นสามารถเข้าใจได้ซึ่งสามารถศึกษาได้จากใบรายละเอียดไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Datasheet) แล้วจึงนำมาประยุกต์และเขียนโปรแกรมที่เราต้องการบนเทสในกระบวนการถัดไป

3.4 การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีเบนซ์เทส

การวัดกระแสไฟฟ้าสามารถเขียนแผนผังของขั้นตอนการติดตั้งและวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลได้ตามแผนผังที่แสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

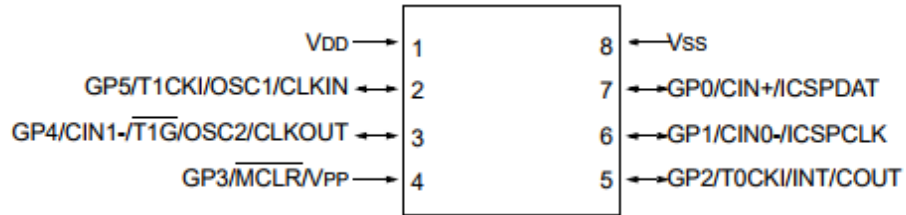
ในขั้นตอนของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลนั้น ขั้นตอนสำคัญคือการเชื่อมต่อขาอุปกรณ์ จากการศึกษาการเชื่อมต่อของขางานในแต่ละขา โดยศึกษาจากใบรายละเอียดของไอซี (Datasheet) การกำหนดขาของอุปกรณ์ บนบอร์ดทดสอบอุปกรณ์ (ซึ่งถูกระบุจากกระบวนการทดสอบ ATE : Auto metric Test Equipment) ขึ้นอยู่กับการตั้งค่ามาแต่ต้นของผู้ผลิต แต่ก็มีลักษณะการต่อ อุปกรณ์ที่คล้ายคลึงกันเพียงประยุกต์เล็กน้อย โดยสามารถเชื่อมต่อขางานได้ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการเชื่อมต่อขางานเข้ากับบอร์ดทดลอง

ตำแหน่งขางาน	ตำแหน่งเชื่อมต่อ
VDD / VCC	VDD
GND / VSS	GND
MCLR	Control switch
OSC1 and OSC2	Floating
I/O Pins	GND or VDD or Floating

ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 3.1 คือวิธีการติดตั้งขางานเข้ากับบอร์ดทดลองซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

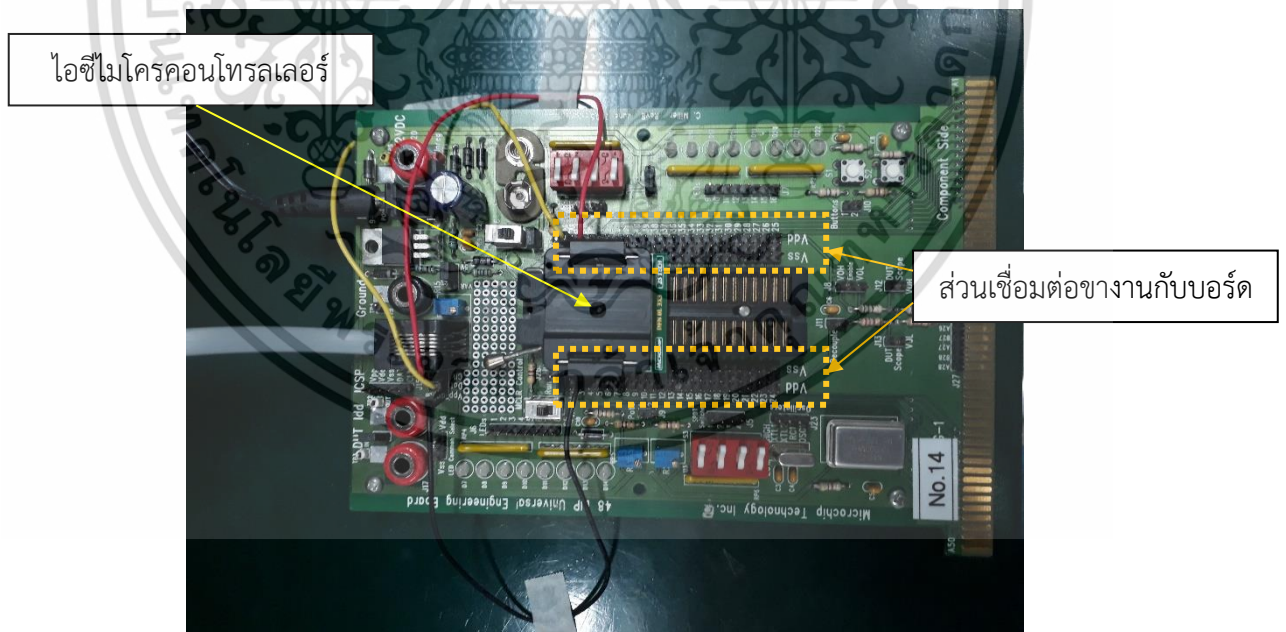
1. VDD หรือ VCC นั้น คือขาสำหรับไฟเลี้ยงขาอุปกรณ์ไอซี ให้ต่อเข้ากับ VDD ของบอร์ดเพื่อรับไฟเลี้ยงจากภายนอก
2. GND/VSS หรือขากราวด์ที่เรารู้จักก็จะต่อกับ กราวด์ของบอร์ดทดลอง
3. MCLR ขามาสเตอร์เคลียร์ ต่อเข้ากับ control switch ซึ่งเป็นเหมือนสวิตช์เปิดปิดไฟในบ้านแต่มันคือสวิตช์เปิดปิดคำสั่งของโปรแกรมที่ใส่ไว้ ซึ่งจะทำงานเมื่อ MCLR ได้รับการจ่ายไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์
4. OSC1 และ OSC2 ขาควควบคุมความถี่ของไอซีจะทำการ floating หรือการไม่ต่อกับขาใดเลย ทั้งนี้ทั้งนั้นเพราะเราได้ตั้งค่าโปรแกรมไว้ตั้งแต่ขั้นตอนก่อนหน้านี้แล้วว่าใช้ ความถี่ภายในไอซีไม่รับจากภายนอก
5. I/O pins ขา input และ output ข้อมูลอื่นๆของไอซี จะทำการเชื่อมต่อเหมือนกันทั้งหมดเช่นถ้าต่อกับ GND ก็เชื่อมต่อกับ GND ทั้งหมด ถ้าเชื่อม VDD ก็เชื่อม VDD ทั้งหมด หรือไม่เชื่อมต่อกับอะไรทั้งหมดทั้งนี้ทั้งนั้นในใบแสดงรายละเอียดอุปกรณ์ (Datasheet) บางงานจะให้ข้อมูลส่วนนี้ไว้แล้วซึ่งเราสามารถตัดสินใจได้จากอ้างอิงนั้น



PIN	เชื่อมต่อกับ
1	VDD 5 Volt
8	GND
2 และ 3	Floating
4	Control switch
5, 6 และ 7	GND

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการเชื่อมต่อขางานของไอซีกับบอร์ดทดลอง

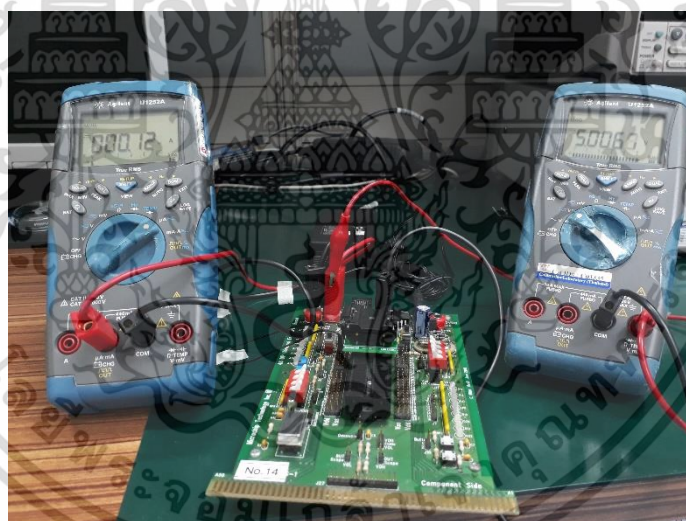
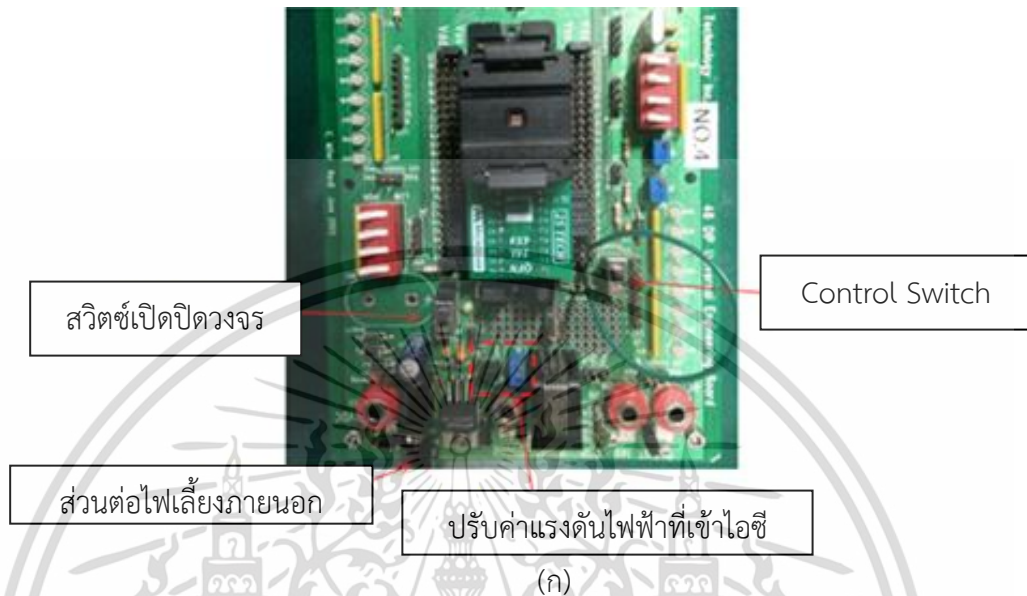
จากรูปที่ 3.12 คือตัวอย่างของการเชื่อมต่อขางานของไอซี สำหรับการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสโดยใช้โมเดล PxC1xxxx MCU8 โดยในการเชื่อมต่อเป็นไปตามตารางกำหนดที่ 3.1 และกำหนดให้ I/O pins เชื่อมต่อกับ GND ด้วยกันทั้งหมดภาพแสดงตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่อขางานลงบนบอร์ดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเชื่อมต่อไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับบอร์ดทดลองเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนต่อไปคือการเชื่อมต่อบอร์ดทดลองเข้ากับอุปกรณ์ภายนอก โดยจะต้องทำการต่อไฟเลี้ยงให้แก่บอร์ดทดลองและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าดังแสดงในรูป 3.14



รูปที่ 3.14 การติดตั้งการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส

(ก) การเชื่อมต่อบนบอร์ดทดลอง

(ข) การเชื่อมต่อบอร์ดทดลอง กับอุปกรณ์ภายนอก

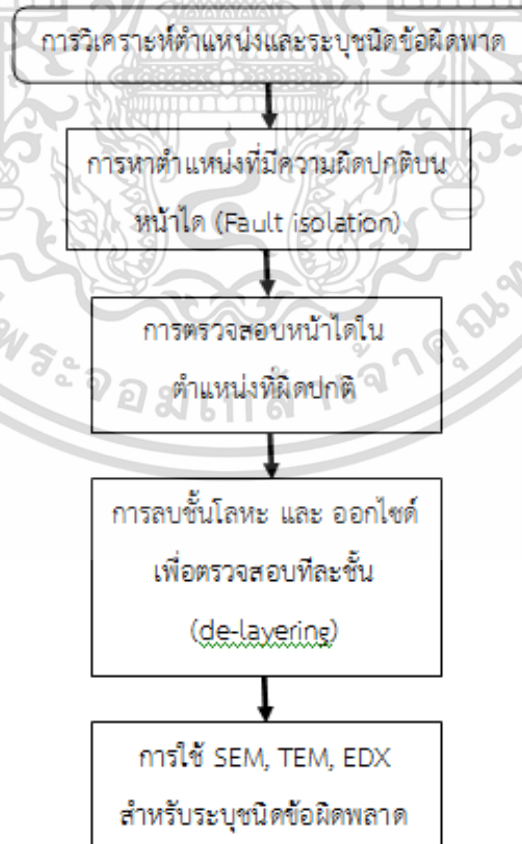
จากรูป 3.14 ก. เราทำการต่อไฟเลี้ยงจาก DC power supply ให้กับบอร์ดทดลองโดยให้แรงดันไฟฟ้าขนาด 9 โวลต์แก่วงจร แต่ในส่วนของแรงดันที่เข้าไอซีนั้นจะถูกกรองโดยวงจรก่อน ซึ่งจะปรับจากตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ส่วนปรับค่าแรงดันไฟฟ้าโดยจะกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าเข้าไอซีไม่เกิน 6 โวลต์เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดต่อไอซี ซึ่งส่งผลต่อการหาข้อผิดพลาดที่แท้จริงได้ และกระแสไฟฟ้าจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไอซีเมื่อเราทำการเปิดสวิตช์วงจรเสียก่อน และ Control switch ทำหน้าที่เปิดปิดคำสั่งภายในไอซีที่ได้เขียนโปรแกรมคำสั่งใส่ลงไปตั้งแต่ขั้นตอนก่อนหน้า รูป 3.14 ข. การเชื่อมต่อบอร์ดกับอุปกรณ์ภายนอกเราจะทำการนำแอมป์มิเตอร์ต่อเข้าอนุกรมกับ DC power supply กับบอร์ดทดลอง กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ส่วนนี้คือกระแสไฟฟ้าที่ไอซีใช้งาน ซึ่งเราจะนำมาเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟฟ้าของไอซีปกติ และไอซีไม่ปกติ กระแสที่มากกว่าหรือเกิน อ้างอิงใน datasheet จะเรียกว่ากระแสไฟฟ้าวัดไหล (Electrical leakage current) โวลมิเตอร์จะนำมาต่อขนานเข้ากับบอร์ดทดลอง เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับไอซี เนื่องจากในการทดลองเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ ไอซีอาจจะมีการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าไม่ทุกย่านแรงดันไฟฟ้าอาจเกิดแค่บางแรงดันไฟฟ้า ซึ่งผู้วิจัยจะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าตามอ้างอิงจาก datasheet ได้แก่ 1.8 โวลต์ 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ ตามลำดับ หรือทราบอ้างอิงจากผล ATE test แล้วว่าจะมีการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าเท่าไร

3.5 การวิเคราะห์ตำแหน่งและระบุชนิดข้อผิดพลาด

3.5.1 การวิเคราะห์ตำแหน่งข้อผิดพลาด

เมื่อสามารถระบุได้ว่าไอซีผิดปกติเกิดกระแสรั่วไหล ไม่ว่าจะพบจากแสดงผลจากเครื่อง IV curve tracer หรือวิธีการเบนซ์เทส ขั้นตอนต่อไปวิเคราะห์หาชนิดของข้อผิดพลาด ซึ่งจะเป็นไปตามแผนผังขั้นตอนดังรูปที่ 3.15



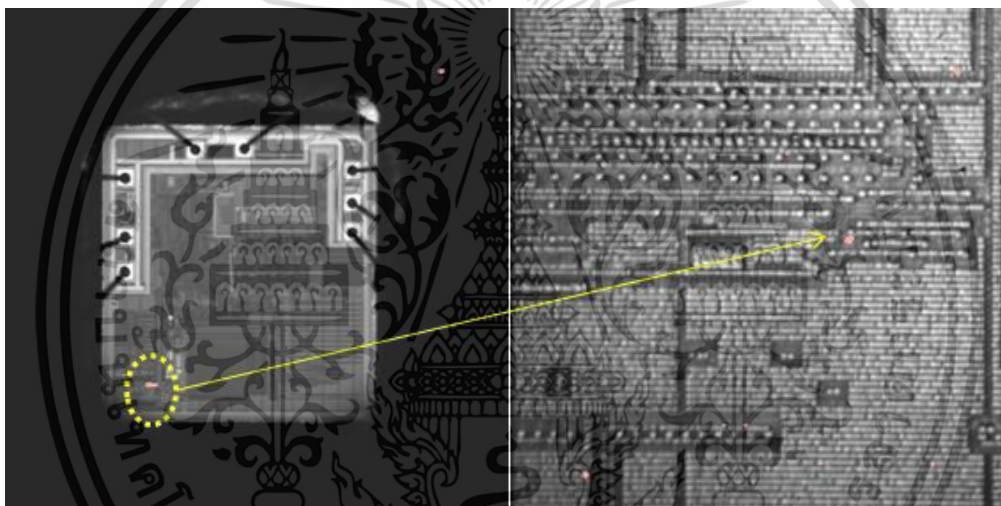
รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งและข้อผิดพลาดของไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนระบุตำแหน่งเราจะทำการระบุด้วยเครื่อง Light emission microscope วิธีการ OBIRCH: Optical beam induced resistance change หรือ Ion Emission คือการตรวจจับไอออนประจุส่วนเกินที่มีการรั่วไหล และความผิดปกติของความต้านทานคือเมื่อตำแหน่งใดบนหน้าไดกล่าวคือหากตำแหน่งใดมีกระแสรั่วไหลมาก ก็จะมีความต้านทานที่จุดนั้นน้อยผิดปกติก็อาจคาดการณ์ว่ามีการลัดวงจรเกิดขึ้น เนื่องจากกระแสไฟฟ้าแปรผกผันกับความต้านทานไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าคงที่ ดังสมการที่ 3.1

$$R = \frac{V}{I} \quad ; \quad R \propto \frac{1}{I} \quad (3.1)$$

โดยเครื่อง LEM ประมวลผลค่าความผิดปกติดังกล่าว และแสดงผลออกมาในรูปของแสง และรวมเข้ากับภาพใดของไอซีที่ถ่ายจากกล้องจะได้ตำแหน่งผิดปกติบนหน้าได แสดงในรูปที่ 3.16



(เปลี่ยน)

รูปที่ 3.16 การแสดงผลตำแหน่งผิดปกติจากเครื่อง LEM

ตำแหน่งแสงบนหน้าไดนั้นคือตำแหน่งที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหล ซึ่งคาดการณ์ว่าจะเป็นตำแหน่งที่มีข้อบกพร่องของไอซีที่แท้จริง โดยในขั้นตอนต่อไปคือการตรวจสอบหน้าไดในบริเวณที่เกิดความผิดปกติได้จากการทำ OBIRCH โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง (High power microscope)



รูปที่ 3.17 หน้าไตที่ตรวจสอบจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง

เนื่องจากหน้าไตไม่ได้ประกอบด้วยชั้นโลหะเพียงชั้นเดียว อาจมีชั้นโลหะ ชั้นออกไซด์ ชั้นที่มีการโด๊ปสาร และชั้นซิลิกอน ซึ่งบางชั้นอาจมีมากกว่า 1 ชั้น กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงจะเห็นแค่รายละเอียดในชั้นบนสุด ดังนั้นถ้าข้อบกพร่องอยู่ชั้นล่างลงไปก็จะไม่เห็น จึงต้องขยายผลด้วยการลบลายวงจรออกทีละชั้นในขั้นตอนต่อไป

3.5.2 การลบลายวงจร (De-process)

การลบลายวงจรในกระบวนการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดเชิงผลิตภัณฑ์ไอซีนั้น สามารถแบ่งวิธีการเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่การลบลายวงจรด้วยการขัด การลบลายวงจรด้วยวิธีการทางเคมี

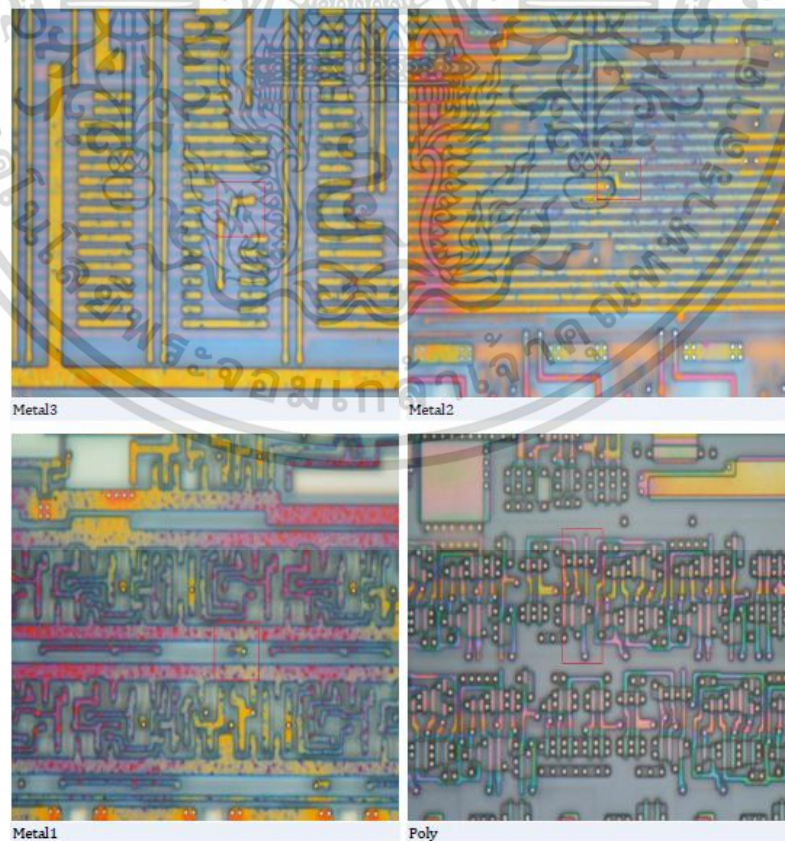
3.5.2.1 การลบลายวงจรด้วยการขัด

การลบลายวงจรด้วยการขัด เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานและความละเอียดของผู้ปฏิบัติงานมาก เนื่องจาก จะต้องขัดด้วยแรงมือและทำทีละน้อย คอยหมั่นตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง โดยผู้ขัดจะต้องขัดด้วยสารขัดซิลิกาสีฟ้าชนิดน้ำ (Blue Silica) ขัดบนแผ่นกระดาษทรายความละเอียดสูง ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การตัดหน้าไดด้วยสารซิลิกา

โดยการตัดจะต้องหมั่นตรวจสอบในทุกชั้นที่ตำแหน่งเดียวกันอย่างสม่ำเสมอเพราะหากตัดมากเกินไปข้อบกพร่องที่มีก็อาจจะหลุดออกไปด้วยทำให้ไม่สามารถหาจุดกำเนิดสิ่งผิดปกติได้ ถือเป็นขั้นตอนที่สุ่มเสี่ยงที่สุดในกระบวนการตรวจสอบข้อผิดพลาดเพราะข้อบกพร่องมีขนาดเล็กมาก รูปภาพของแต่ละชั้นที่เกิดจากการตัดจะแสดงในรูปที่ 3.19



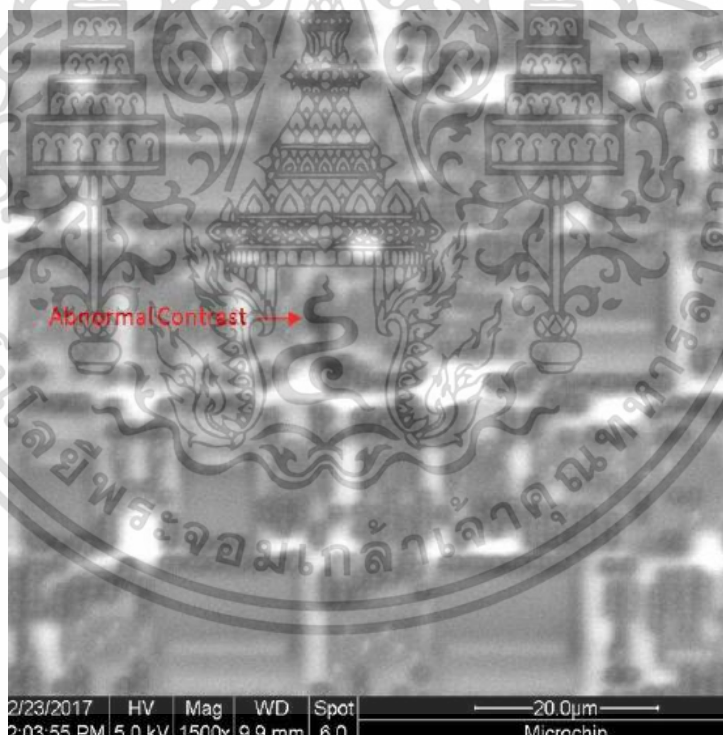
รูปที่ 3.19 หน้าไดหลังจากผ่านกระบวนการตัดผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังในรูป 3.19 ง. เป็นตัวอย่างของข้อบกพร่องที่พบได้หลังจากขัดด้วยสารซิลิกาสีฟ้า ลักษณะนี้คือข้อบกพร่องที่เรียกว่า Particle defect คือมีสารบางอย่างที่นำไฟฟ้าพาดผ่านระหว่างโลหะทำให้เกิดการลัดวงจร ซึ่งก็เป็นบทสรุปของกระบวนการตรวจสอบข้อผิดพลาดทั้งหมด ต่อจากนั้นก็จะเป็นไปขยายผลด้วยการนำเข้าเครื่อง SEM, TEM และวิเคราะห์สารที่เจือปนนั้นว่าเป็นสารชนิดใดด้วยการทำ EDX ต่อไป

3.5.2.2 การลบลายวงจรด้วยวิธีการทางเคมี

จากขั้นตอนการขัดด้วยสารซิลิกาสีฟ้า ในบางครั้งอาจไม่ทำให้พบข้อบกพร่องได้ เพราะถ้าเป็นข้อผิดพลาดที่เกิดจากไฟฟ้าสถิต (ESD damaged) หรือ ออกไซด์ระหว่างชั้นเกิดช่องว่าง (Oxide defect) จะเกิดขึ้นที่ชั้นซิลิกอนซึ่งเป็นชั้นล่างสุดของได โดยการลบชั้นด้วยเคมีจะต้องขัดชั้นโลหะออกจนหมดแน่ใจแล้วว่าไม่เจอข้อบกพร่องชั้นบนแล้วแน่นอน เมื่อขัดถึงชั้นของอุปกรณ์หรือชั้นที่มีการโต้ปสาร (poly layer) ผู้วิจัยจะทำการกระบวนการ PVC (Passive Voltage Contrast) คือการตรวจสอบการขาดของประจุที่มีการรั่วไหลลงสู่ด้านล่างใหม่ ด้วยการใช้เครื่อง SEM ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 Passive voltage contrast

ในรูป 3.20 จะเห็นส่วนลายวงจรที่ดำผิดปกติกว่าส่วนอื่นส่วนนั้นคาดการณ์ได้ว่าเป็นส่วนที่มีประจุอิเล็กทรอนิกส์ที่ด้านล่างชั้นซิลิกอนมากผิดปกติซึ่งคาดว่า ด้านล่างจะต้องมีสิ่งที่เป็นข้อบกพร่องเกิดขึ้นได้ จากขั้นตอนนี้จะทำการลบชั้นโต้ปสารนี้ออกด้วยการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) เข้มข้น

กัดสารชั้นบนเป็นเวลา 5-6 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 การลบวงจรบนไอซีด้วยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก

เมื่อใช้สารเคมีลบชั้นแล้วก็จะทำการตรวจสอบอีกครั้งด้วย SEM ก็จะมีโอกาสได้พบข้อผิดพลาดบนหน้าได ในจุดที่เกิดการกองรวมของประจุ ก็ถือเป็นบทสรุปของการวิเคราะห์ของผิดพลาดของไอซี



รูปที่ 3.22 ข้อบกพร่องผลึกที่เกิดบนพื้นผิวซิลิกอน

ในขั้นตอนนี้ต้องระมัดระวังไม่ให้ใช้เวลามากเกินไปเพราะสารจะกัดผิวซิลิกอนด้วยทำให้เกิดหลุมบนแผ่นซิลิกอนอาจแยกไม่ได้ว่าจุดใดเป็นข้อผิดพลาดที่แท้จริงได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นกระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมาก็ไม่การันตีได้ว่าจะเจอข้อบกพร่องทุกครั้งเพราะในบางครั้งข้อบกพร่องเล็กมากเกินกว่าจะมองเห็น หรืออาจจะขัดเกินไปทำให้ไม่สามารถสรุปข้อบกพร่องได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิจัยนี้เพื่อการศึกษาการระบุตำแหน่ง และชนิดของข้อบกพร่องของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้วิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ ทดแทนการใช้เครื่องไอวีเคิร์ฟ (IV curve tracer) ในกรณีที่เครื่องดังกล่าวไม่สามารถตรวจวัดกระแสรั่วไหลได้ ด้วยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างงานที่ปกติและผิดปกติ แล้วจึงนำงานที่ผิดปกติไปทำเข้ากระบวนการระบุตำแหน่งและระบุชนิดข้อผิดพลาดหลังจากทราบแน่นอนว่ามีกระแสไฟฟ้าวไหล ดังนั้นจึงแบ่งผลของการวิจัยเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ผลการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ
2. ผลการระบุตำแหน่งและข้อบกพร่องของไอซี
3. ผลการเปรียบเทียบกับวิธีการใช้เครื่องไอวีเคิร์ฟ (IV curve tracer)

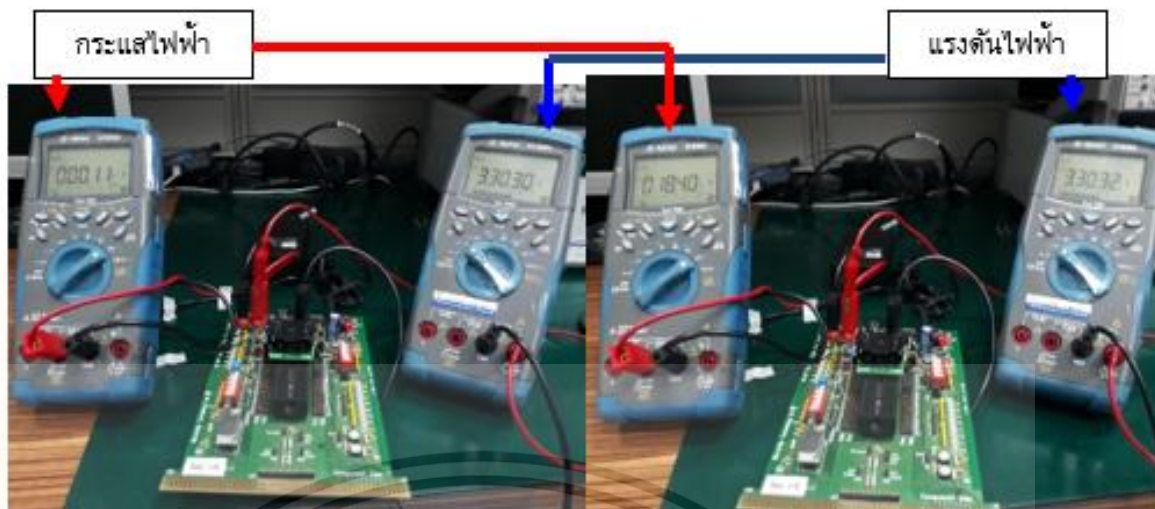
4.1 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าวไหล

การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากการเบนซ์เทส หลังจากที่ได้ผู้วิจัยได้ต่อวงจร และเชื่อมต่อระหว่างไอซีกับบอร์ดทดลองแล้วก็จะทำการวัดกระแสเทียบกับค่าแรงดันใน 3 ระดับ ได้แก่ 1.8 โวลต์, 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ และบันทึกผลการทดลอง โดยจะเปรียบเทียบระหว่างไอซีที่ปกติและผิดปกติ ดังแสดงในรูป 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 การวัดกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบที่แรงดันไฟฟ้า 1.8 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การวัดกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบที่แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์

การวัดกระแสไฟฟ้าด้วยวิธีการเบนซ์เทสในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ใช้ตัวอย่างของไอซีตระกูล PxC1xxxx no.1 โดยการให้แรงดันไฟฟ้า 2 ระดับ ได้แก่ 1.8 โวลต์ และ 3 โวลต์ โดยเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้า ระหว่างงานที่ปกติและผิดปกติ โดยผลการทดลองได้ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าของไอซี PxC1xxxx no.1

Bench Test			
งานปกติ (uA)	งานผิดปกติ (uA)	อ้างอิง Datasheet	แรงดันไฟฟ้า (V)
0.11	0.14	0.90	1.8
0.14	18.40	1.20	3.0

นอกจากการเปรียบเทียบระหว่างกระแสที่วัดได้ระหว่างงานปกติและงานที่ผิดปกติแล้ว ผู้วิจัยได้อ้างอิงมาตรฐานกระแสไฟฟ้าจากผู้ผลิต ซึ่งระบุไว้ใน Datasheet ในค่า ipd current (power down current) กระแสไฟฟ้าในโหมดพลังงานต่ำของไอซีซึ่งผลที่ได้จะเห็นว่า ค่ากระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 1.8 โวลต์ กระแสไฟฟ้างานปกติและไม่ปกติแทบไม่แตกต่างกันและไม่เกินค่าอ้างอิง ในขณะที่ 3 โวลต์ งานที่ปกติมีกระแสไฟฟ้าที่เกินกว่างานปกติและค่าอ้างอิงไปมาก จึงกล่าวได้ว่าที่ไอซีที่ผิดปกตินี้มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลราว 18 มิลลิแอมป์ โดยการทดลองนี้มีการอ้างอิงไอซี 38 ตัว โดยคละชนิด โดยเจาะจงว่ามีความผิดปกติด้านกระแสไฟฟ้าซึ่งจะแสดงในตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าของไอซีจากการเบนซ์เทส

4.1.1 การวัดกระแสไฟฟ้า PxC1xxxx

No	ไอซี (uA)			แรงดันไฟฟ้า (V)
	อ้างอิง Datasheet	ปกติ	ไม่ปกติ	
1	1.20	0.01	0.11	1.8
	1.50	0.02	0.67	3.0
	1.80	0.02	495.2	5.0
2	1.20	0.21	0.76	1.8
	1.50	0.32	2.02	3.0
	1.80	0.66	180	5.0
3	1.20	0.02	0.11	1.8
	1.50	0.02	1.52	3.0
	1.80	0.04	44.30	5.0
4	1.20	0.01	0.24	1.8
	1.50	0.01	1.25	3.0
	1.80	0.04	37.50	5.0
5	1.20	0.01	0.49	1.8
	1.50	0.01	1.90	3.0
	1.80	0.04	68.70	5.0
6	1.20	0.01	0.33	1.8
	1.50	0.04	2.00	3.0
	1.80	0.05	45.3	5.0
7	1.20	0.01	1.00	1.8
	1.50	0.02	4.23	3.0
	1.80	0.05	89.30	5.0
8	1.20	0.11	0.13	1.8
	1.50	0.18	1.68	3.0
	1.80	0.35	46.33	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	ไอซี (uA)			แรงดันไฟฟ้า (V)
	อ้างอิง Datasheet	ปกติ	ไม่ปกติ	
9	1.20	0.11	0.13	1.8
	1.50	0.55	1.02	3.0
	1.80	1.63	63.39	5.0
10	1.20	0.02	0.35	1.8
	1.50	0.02	4.67	3.0
	1.80	0.02	325.7	5.0
11	1.20	0.01	0.03	1.8
	1.50	0.03	0.32	3.0
	1.80	0.08	1.98	5.0
12	1.20	0.01	0.13	1.8
	1.50	0.03	1.76	3.0
	1.80	0.08	23.41	5.0
13	1.20	0.11	12.8	1.8
	1.50	0.13	68.67	3.0
	1.80	0.13	559.5	5.0
14	1.20	0.03	0.21	1.8
	1.50	0.05	1.49	3.0
	1.80	0.06	546.1	5.0
15	1.20	0.02	0.15	1.8
	1.50	0.03	1.12	3.0
	1.80	0.04	310.0	5.0
16	1.20	0.01	10.56	1.8
	1.50	0.05	258.6	3.0
	1.80	0.06	2205	5.0
17	1.20	0.06	0.09	1.8
	1.50	0.08	2.48	3.0
	1.80	0.10	75.54	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	ไอซี (uA)			แรงดันไฟฟ้า (V)
	อ้างอิง Datasheet	ปกติ	ไม่ปกติ	
18	1.20	0.09	0.07	1.8
	1.50	0.09	1.08	3.0
	1.80	0.10	55.05	5.0
19	1.20	0.03	1.19	1.8
	1.50	0.04	211.3	3.0
	1.80	0.06	1409	5.0
20	1.20	0.02	0.86	1.8
	1.50	0.02	1.22	3.0
	1.80	0.05	31.60	5.0
21	1.20	0.01	0.05	1.8
	1.50	0.01	0.17	3.0
	1.80	0.02	21.86	5.0
22	1.20	0.02	0.03	1.8
	1.50	0.02	0.05	3.0
	1.80	0.04	0.07	5.0
23	1.20	0.07	0.09	1.8
	1.50	0.08	1.73	3.0
	1.80	0.10	54.4	5.0
24	1.20	0.05	0.12	1.8
	1.50	0.05	0.22	3.0
	1.80	0.11	1.01	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวัดกระแสไฟฟ้า ตระกูล PxC18xxxx

No	ไอซี (uA)			แรงดันไฟฟ้า (V)
	อ้างอิง Datasheet	ปกติ	ไม่ปกติ	
1	0.95	0.11	0.25	1.8
	1.00	0.12	0.86	3.0
	6.00	0.16	583.2	5.0
2	0.95	0.11	0.13	1.8
	1.00	0.12	0.18	3.0
	6.00	0.16	28.34	5.0
3	0.95	0.25	0.86	1.8
	1.00	0.33	0.95	3.0
	6.00	0.60	1300	5.0
4	0.95	0.25	0.55	1.8
	1.00	0.33	0.89	3.0
	6.00	0.60	302.5	5.0
5	0.95	0.01	0.50	1.8
	1.00	0.03	323.31	3.0
	6.00	0.04	Over load	5.0
6	0.95	0.02	0.90	1.8
	1.00	0.03	775.2	3.0
	6.00	0.04	Over load	5.0
7	0.95	0.34	0.87	1.8
	1.00	0.72	101.52	3.0
	6.00	0.90	2700	5.0
8	0.95	0.32	0.67	1.8
	1.00	0.42	1.12	3.0
	6.00	0.66	8.71	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	ไอซี (uA)			แรงดันไฟฟ้า (V)
	อ้างอิง Datasheet	ปกติ	ไม่ปกติ	
9	0.95	0.04	0.87	1.8
	1.00	0.04	25.78	3.0
	6.00	0.05	554.9	5.0
10	0.95	0.06	0.06	1.8
	1.00	0.08	0.09	3.0
	6.00	0.08	0.12	5.0
11	0.95	0.17	0.57	1.8
	1.00	0.23	3.23	3.0
	6.00	0.35	8.25	5.0
12	0.95	0.12	0.56	1.8
	1.00	0.13	0.78	3.0
	6.00	0.20	6.75	5.0
13	0.95	0.11	3.62	1.8
	1.00	0.13	101.68	3.0
	6.00	0.13	3608	5.0
14	0.95	0.58	15.66	1.8
	1.00	3.65	482.5	3.0
	6.00	34.52	1699	5.0

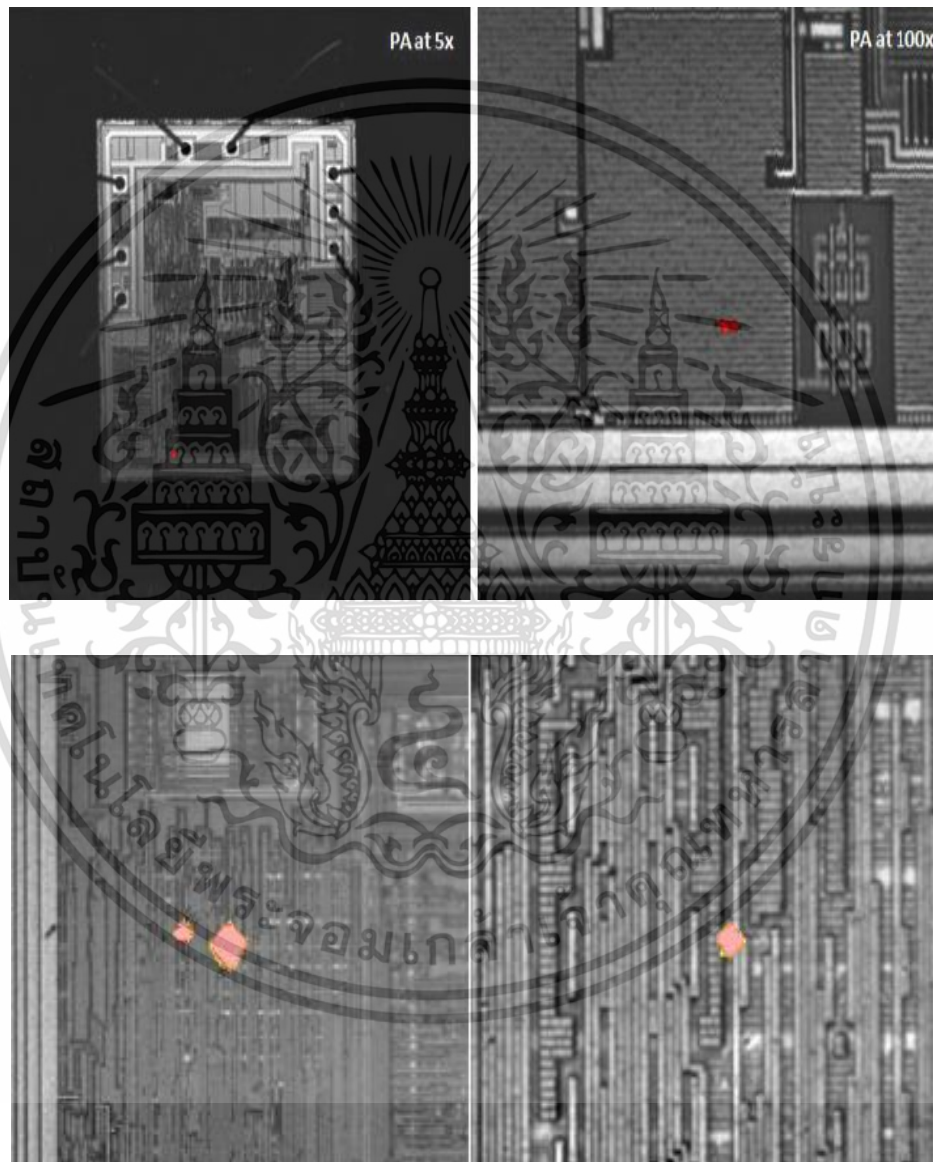
จากผลการวัดกระแสรั่วไหลในตาราง รวมตระกูล PxC1xxxx ไอซีรวมกัน 38 ตัว เห็นได้ว่าวิธีการเบนซ์เทสโหมดพลังงานต่ำสามารถตรวจจับการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าได้ถึง 34 ตัว มีเพียงแค่ 3 ตัวเท่านั้นที่ไม่มีความแตกต่างของกระแสไฟฟ้า ซึ่งไอซีที่พบว่ามีการรั่วไหลแน่นอนจะนำเข้าสู่ขั้นตอนการระบุตำแหน่งและชนิดของข้อบกพร่องและผลจะแสดงในหัวข้อ 4.2

4.2 ผลการระบุตำแหน่งและชนิดของข้อบกพร่อง

จากผลการทดลองที่ 4.1 มีไอซีที่มีกระแสผิดปกติจำนวน 38 ไอซี จากตระกูล PxC1xxxx และนำเข้าสู่กระบวนการระบุตำแหน่งและชนิดของข้อผิดพลาด

4.2.1 การระบุตำแหน่งที่มาของกระแสไฟฟ้ารั่วไหล

การระบุตำแหน่งข้อผิดพลาดของกระแสรั่วไหลจากการเบนซ์เทสนั้นจะตรวจสอบด้วยเครื่อง (Light Emission Microscope) จากผลการทดลอง 4.1 จากอุปกรณ์ 38 ไอซี สามารถตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลได้ด้วยวิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ 34 ไอซี พบว่า 31 ไอซี สามารถระบุตำแหน่งที่มาของกระแสไฟฟ้ารั่วไหล ซึ่งเป็นจุดที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดข้อบกพร่อง หรือร่องรอยความเสียหาย



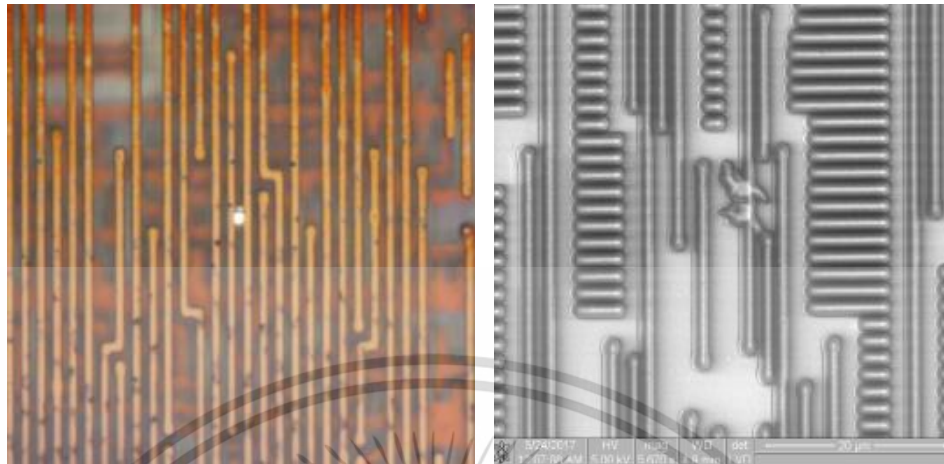
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งที่เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล

ซึ่งผลของการระบุตำแหน่งที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่วัดได้จากการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำทั้งหมด 31 ไอซีนั้นพบว่าเกิดในวงจรรอนาล็อค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การชนิดของข้อบกพร่องจากตำแหน่งกระแสไฟฟ้ารั่วไหล

1. ข้อบกพร่องจากสารแปลกปลอม (Particle defect) มี 13 ไอซี



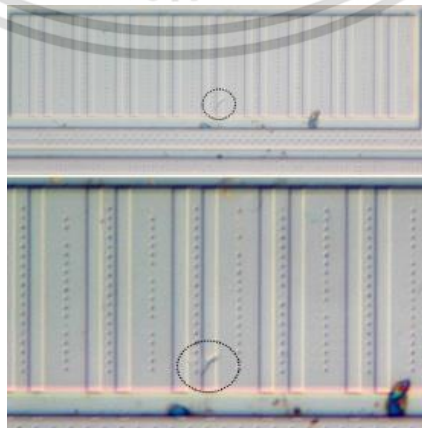
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างข้อบกพร่องชนิด Particle defect

2. ความเสียหายจากไฟฟ้าสถิตย์ (ESD damages) มี 5 ไอซี



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างความเสียหายจากไฟฟ้าสถิตย์

3. ความเสียหายจากกระแสไฟฟ้าแรงสูง (Electrical over stress : EOS) มี 2 ไอซี



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างความเสียหายจากกระแสไฟฟ้าแรงสูง

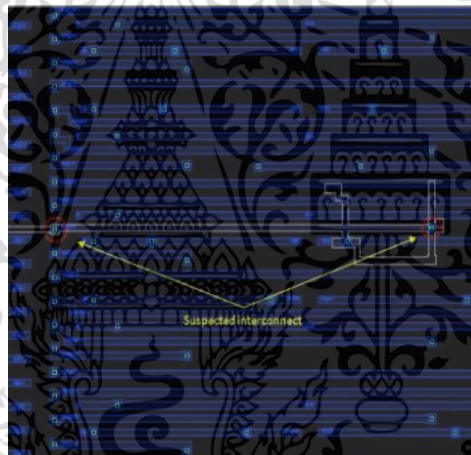
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข้อบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการแพบริเคชัน (Most likely fab defect) มี 2 ไอซี



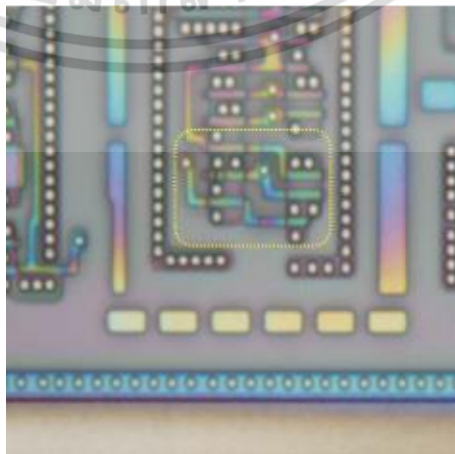
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างข้อบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการแพบริเคชัน

5. ข้อบกพร่องที่เกิดบริเวณรอยต่อระหว่างชั้น (Interconnection) มี 2 ไอซี



รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งการเกิดข้อบกพร่องระหว่างรอยต่อ

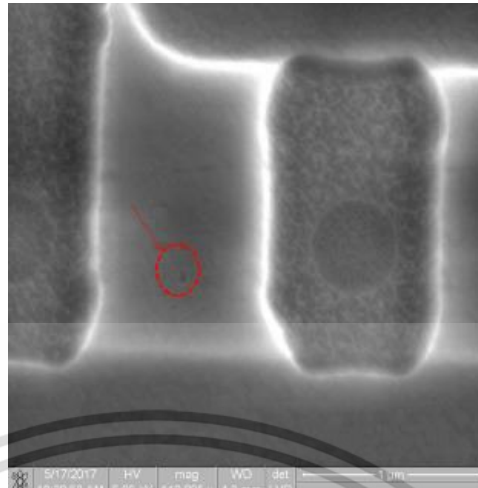
6. ข้อบกพร่องที่เกิดบนชั้นโพลีซิลิกอน (Poly defect) มี 2 ไอซี



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างข้อบกพร่องที่เกิดบนชั้นโพลีซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ข้อบกพร่องที่เกิดบนชั้นออกไซด์ (Oxide defect) มี 2 ไอซี



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างข้อบกพร่องที่เกิดบนชั้นออกไซด์ผิดปกติ

8. รอยแตกร้าวที่เกิดบนแผ่นไดวงจร (Cracked die) มี 1 ไอซี



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างรอยแตกร้าวบนหน้าได

9. ความเสียหายที่เกิดจากแรงกระแทก (Mechanical damage)



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างความเสียหายที่เกิดจากแรงกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ความเสียหายที่เกิดจากการขีดข่วน (Scratch die)



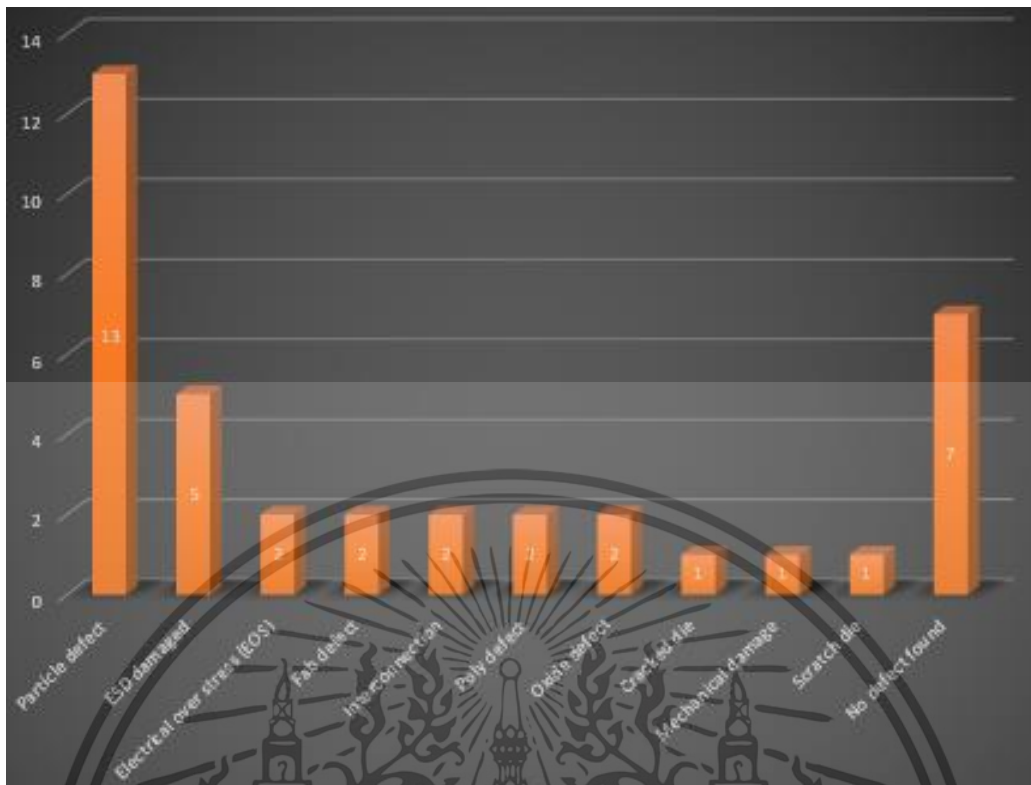
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างความเสียหายที่เกิดจากการขีดข่วน

จากผลการทดลองทั้งสองส่วนผู้วิจัยสามารถสรุปความสัมพันธ์ของไอซีที่ผิดปกติระหว่างกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลและชนิดของข้อบกพร่องที่พบซึ่งถูกบันทึกตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของข้อบกพร่องกับช่วงกระแสไฟฟ้า

ชนิดข้อผิดพลาด	จำนวนตัวที่ผิดปกติ	ช่วงกระแสไฟฟ้า (uA)
Particle defect	13	2.00 - 2205
ESD damaged	5	1.00 - 2700
Electrical over stress (EOS)	2	2.00 - 89.3
Most likely fab defect	2	1.68 - 46.33
Interconnection	2	1.12 - 8.71
Poly defect	2	31.60 - 55.05
Oxide defect	2	63.39 - 559.5
Cracked die	1	1.52 - 44.30
Mechanical damage	1	6.75
Scratch die	1	1.73 - 54.40
No defect found	7	0.01 - 0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



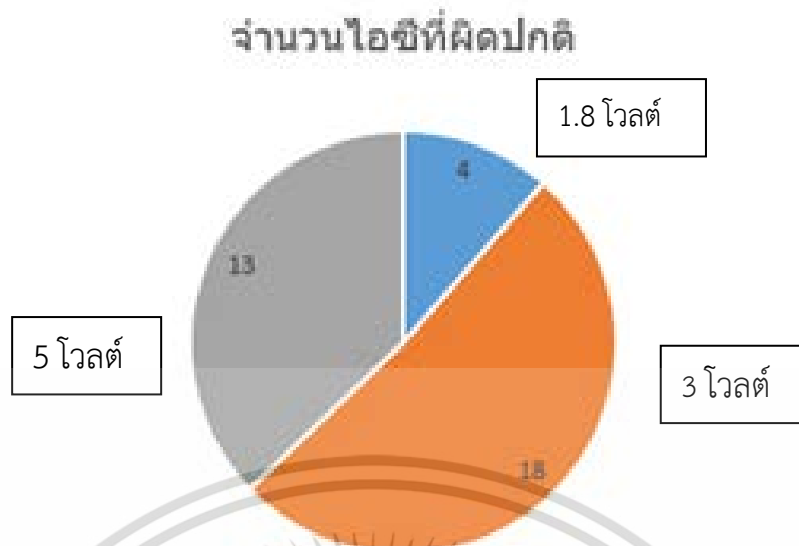
รูปที่ 4.14 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ชนิดข้อผิดพลาดกับจำนวนอุปกรณ์ผิดปกติ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 4.2 จะพบว่าสามารถระบุข้อบกพร่องได้ทั้งหมด 31 ไอซี จาก 34 ไอซี ที่วัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลได้คิดเป็น 91.14% ดังนั้นถ้าคิดจากไอซีทั้งหมด 38 ไอซี เราสามารถระบุชนิดข้อผิดพลาดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 81.57% จากไอซีทั้งหมดที่ใช้วิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ มีข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น 11 ชนิด ซึ่งข้อบกพร่องชนิดที่มีจำนวนการเกิดมากที่สุดคือ particle defect จำนวน 13 ครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้อบกพร่องที่เกิดส่วนใหญ่จะเป็นข้อบกพร่องขนาดเล็ก เนื่องจากไอซีที่นำมาวิจัยเป็นไอซีที่ไม่สามารถตรวจจับกระแสรั่วไหลด้วยเครื่องโอวีเคิร์ฟเทรเซอร์ได้ จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าชนิดของข้อบกพร่องไม่มีความสัมพันธ์กับระดับกระแสไฟฟ้ารั่วไหล นั่นเป็นเพราะว่ากระแสไฟฟ้ารั่วไหลจะมากหรือน้อยไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดแต่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ข้อบกพร่องเกิดบนวงจร

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอุปกรณ์กับแรงดันไฟฟ้าที่รั่วไหล

จำนวนไอซีที่ผิดปกติ	แรงดันไฟฟ้า (V)
4	1.8
18	3.0
13	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

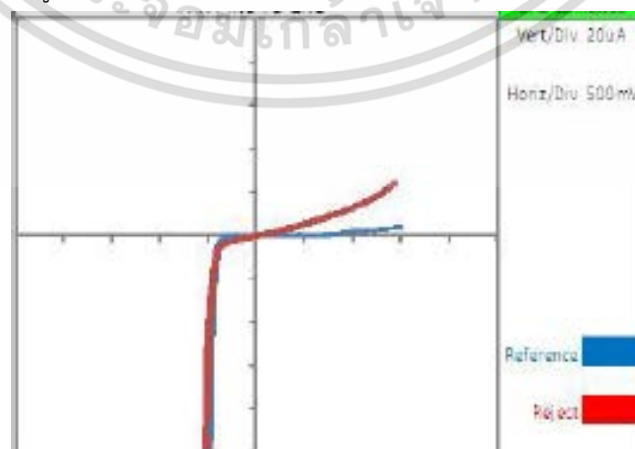


รูปที่ 4.15 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนไอซีผิดปกติกับแรงดันไฟฟ้า

ในส่วนตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าช่วงที่มีโอกาสเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลมากที่สุดคือเมื่อให้แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ คือเกิดขึ้นกับไอซีทั้งหมด 13 ครั้ง โดยการเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล ที่การให้แรงดันไฟฟ้า 1.8 โวลต์ หรือ 3 โวลต์ก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้ารั่วไหลที่ 5 โวลต์ด้วยเช่นกัน

4.3 การเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งข้อผิดพลาดระหว่างวิธีเบนซ์เทสและวิธีไอวีเคิร์ฟ (IV curve tracer)

นอกเหนือจากการใช้วิธีการเบนซ์เทสสำหรับการตรวจสอบข้อบกพร่องบนหน้าไตของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว ผู้วิจัยสนใจการเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งข้อบกพร่องระหว่างวิธีการปกติ (IV curve tracer) และวิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความแม่นยำของวิธีการที่น่าเสนอ โดยใช้ PxC1xxxx จำนวน 1 ตัว ที่ใช้เครื่องไอวีเคิร์ฟตรวจพบกระแสรั่วไหลที่แสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสและแรงดันไฟฟ้า

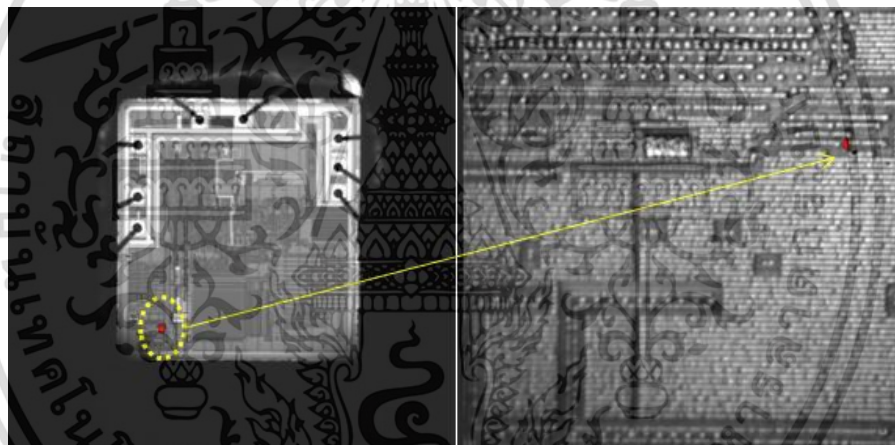
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นนำเข้าขั้นตอนการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำตามขั้นตอนการวิจัย เพื่อตรวจวัดกระแสไฟฟ้าและบันทึกผลตารางที่ 4.5

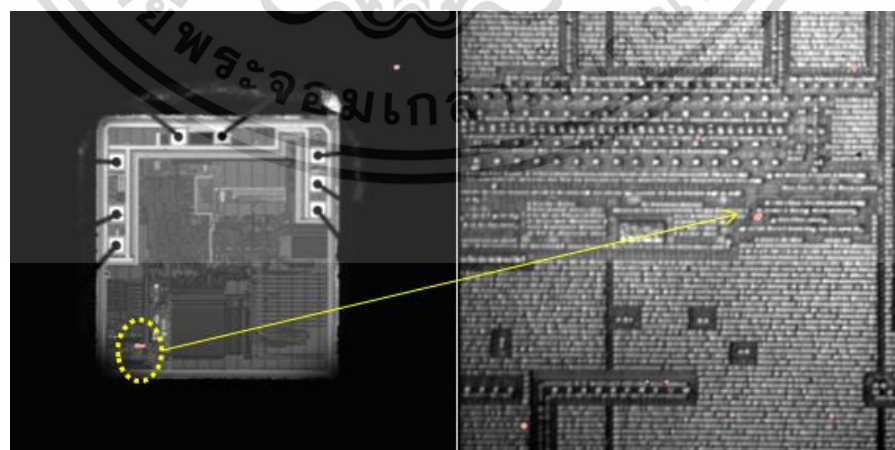
ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการวัดกระแสไฟฟ้าระหว่างไอซีปกติและผิดปกติ

No	ไอซี (uA)			แรงดันไฟฟ้า (V)
	อ้างอิง Datasheet	ปกติ	ไม่ปกติ	
PxC1xxxxx	1.20	0.02	0.18	1.8
	1.50	0.02	9.84	3.0
	1.80	0.04	11.42	5.0

พบว่าเกิดกระแสรั่วไหลเมื่อมีการให้แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ ผู้วิจัยได้นำไอซีอ้างอิงนี้เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ตำแหน่งด้วยเครื่อง Light Emission microscope และผลตามรูปที่ 4.5



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.17 การระบุตำแหน่งด้วยเครื่อง LEM

(ก) วิธีการไอวีเคิร์ฟ (ข) วิธีการเบนซ์เทส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นว่าไม่ว่าจะใช้วิธีการใดการระบุตำแหน่งไม่ว่าด้วยวิธีการปกติหรือวิธีการเบนซ์เทส ผลที่ออกมาได้ตำแหน่งที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหล และคาดการณ์ว่าเป็นบริเวณที่มีการเสียหายเหมือนกัน จึงบอกได้ว่าวิธีการเบนซ์เทสมีความแม่นยำและสามารถนำมาใช้แทนวิธีการปกติหรือวัดด้วยเครื่องไอวีเคิร์ฟ (IV curve tracer) ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การวิจัยเรื่องการระบุข้อผิดพลาดด้วยวิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำสำหรับการวิเคราะห์ชนิดข้อบกพร่องเชิงผลึกในอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อค้นคว้าวิธีการสำหรับวิเคราะห์หาแนวทางการพัฒนาคุณภาพของอุปกรณ์ โดยอภิปรายผลการวิจัยใน 3 หัวข้อ ได้แก่

- 1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย
- 2 อภิปรายผลการวิจัย
- 3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อการวัดคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลของการเบนซ์เทสเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปกติ
2. เพื่อเปรียบเทียบกระแสไฟรั่วไหลระหว่างไอซีที่ปกติและผิดปกติ
3. เพื่อระบุชนิดข้อผิดพลาดของไอซีในตำแหน่งที่มีกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

5.1.2 สมมติฐานของการวิจัย

1. สามารถวัดกระแสไฟรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสสามารถแทนการใช้เครื่อง IV curve tracer ได้
2. กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ผ่านกระบวนการเบนซ์เทสมีความผิดปกติระหว่างไอซีปกติและผิดปกติ
3. พบสาเหตุของกระแสรั่วไหลคือข้อบกพร่องบนหน้าที่แตกต่างกันมากกว่า 5 แบบ

5.1.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCU8 MCU16 ในตระกูล PxC1xxxx ซึ่งพบปัญหาการตรวจจับกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการไอวีเคิร์ฟไม่สำเร็จ ที่ผ่านการทดสอบหลังเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตและพบสิ่งผิดปกติจากบริษัทผลิตและผู้ใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ในประเทศไทย
2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ เลือกตัวอย่างไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ จำนวน 4 ตระกูล โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจงไอซีผิดปกติจำนวน 38 ตัว จากไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่พบความผิดปกติแล้วจากบริษัทผู้ผลิตและผู้ใช้ไอซีในประเทศไทย

5.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยประเมินคุณภาพของวิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำด้วยการ

เลือกไอซีที่ผิดปกติจากกลุ่มตัวอย่าง 38 ตัว เพื่อวิเคราะห์ทั้ง 3 หัวข้อดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลระหว่างไอซีที่ปกติและผิดปกติ
2. วิเคราะห์ระบุชนิดข้อผิดพลาดของไอซีในตำแหน่งที่มีกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส
3. วิเคราะห์วัดคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลระหว่างวิธีการเบนซ์เทสโหมดพลังงานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการไอวีเคิร์ฟ (IV curve) โดยเทียบจากความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง

5.1.5 สรุปผลการวิจัย จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าวสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลการทดลองพบไอซีที่ผิดปกติสามารถวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสได้ถึง 34 ไอซี และระบุชนิดข้อบกพร่อง 31 ไอซี จากไอซีทดลองทั้งหมด 38 ไอซี นับเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 81.7% และพบว่าส่วนใหญ่จะเกิดกระแสรั่วไหลเมื่อให้แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ มากถึง 18 ครั้ง
2. รูปแบบข้อบกพร่องที่พบมีทั้งหมด 11 รูปแบบคือ (1) Particle defect, (2) ESD damage, (3) Electrical over stress (EOS), (4) Fab defect, (5) poly defect, (7) Gate Oxide defect, (8) Interconnection, (9) Cracked die, (10) Mechanical damage, (11) Scratch และ (12) No defect found ข้อบกพร่องที่พบมากที่สุดได้แก่ Particle defect มีทั้งหมด 13 ไอซี และข้อบกพร่องส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กมากและไม่สามารถตรวจวัดกระแสรั่วไหลจากเครื่อง IV curve tracer
3. การวิเคราะห์ตำแหน่งของข้อบกพร่องพบว่าวิธีการเบนซ์เทสชี้ตำแหน่งข้อผิดพลาดได้แม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการไอวีเคิร์ฟและสามารถใช้แทนกันได้ โดยใช้ PxC1xxxxx MCU8 เป็นไอซีอ้างอิง

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์กระแสไฟฟ้ารั่วไหลกับแรงดันไฟฟ้าของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ พบว่าไอซีที่มีความผิดปกติทางด้านกระแสไฟฟ้า และพบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลมากที่สุดเมื่อให้แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ขึ้นไป จำนวน 18 ครั้งจากการทดลอง 34 ครั้ง และทุกครั้งที่มีการรั่วไหลที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ ก็จะมีการรั่วไหลที่แรงดันสูงกว่าด้วยเช่น ถ้ารั่วไหลที่ 3 โวลต์ ก็จะมีรั่วไหลที่ 5 โวลต์ด้วยเป็นต้น ในการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส 38 ตัว วัดได้ 34 ตัว คิดเป็น 91.17% ของไอซีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

2. ผลการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องและช่วงกระแสที่เกิดขึ้น จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 38 ไอซี สามารถวิเคราะห์หารูปแบบสาเหตุได้ 11 รูปแบบคือ (1) Particle defect, (2) ESD damage, (3) Electrical over stress (EOS), (4) Fab defect, (5) poly defect, (7) Gate Oxide defect, (8) Interconnection, (9) Cracked die, (10) Mechanical damage, (11) Scratch และ (12) No defect found ข้อบกพร่องที่พบมากที่สุดได้แก่ Particle defect มีทั้งหมด 13 ตัว พบว่าเกิดในช่วงกระแส 2.00 – 2205 uA ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบข้อบกพร่องและช่วงกระแสที่เกิดขึ้นไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหลมากหรือน้อยไม่ได้เฉพาะเจาะจงที่รูปแบบแต่ขึ้นอยู่กับความ

รุนแรงของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น แต่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ข้อบกพร่องเกิดบนวงจร ในการหาข้อบกพร่อง ไอซีทั้งหมด 38 ตัว ทหาระบุข้อบกพร่องได้ 31 ตัวคิดเป็น 81.7% ของไอซีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

3. ผลการเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งข้อบกพร่องบนหน้าไดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ระหว่างวิธีการตรวจจ็บบจากกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเครื่อง IV curve tracer กับวิธีเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำซึ่งพบว่าสามารถใช้ตรวจวัดกระแสรั่วไหลทดแทนกันได้ รวมไปถึงสามารถระบุตำแหน่งข้อบกพร่องในเครื่อง Light Emission Microscope (LEM) ได้อย่างแม่นยำเช่นเดียวกัน โดยกล่าวสรุปได้ว่าการวัดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลเพื่อระบุตำแหน่งข้อผิดพลาดบนหน้าไดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ มีความสามารถใช้ทดแทนวิธีการปกติได้ในกรณีที่ไอซีมีความผิดปกติทางด้านกระแสไฟฟ้าภายใน มีประโยชน์สำหรับผู้ใช้งานไอซีที่ต้องการตรวจความผิดปกติโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง และผู้ผลิตที่ต้องการตรวจวัดในกรณีที่มีข้อบกพร่องขนาดเล็กมาก และกระแสไฟฟ้ารั่วไหลน้อยกว่าเครื่องไอวีเคิร์ฟตรวจจ็บบได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. เนื่องจากการเบนซ์เทสคือการจำลองการทำงานในโหมดการทำงานฟังก์ชันต่างๆ ของไอซี ซึ่งมีมากมายหลากหลายในงานวิจัยถัดไปควรเบนซ์เทสในเชิงฟังก์ชันมากกว่ากระแสไฟฟ้า
2. ทดสอบวิธีการเบนซ์เทสในโหมดพลังงานต่ำ ในหลายๆย่านความถี่เพื่อหาอิทธิพลจากความถี่ และใช้กับไอซีกับตระกูลอื่น
3. ประยุกต์การเบนซ์เทสไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้กับไอซีสารกึ่งตัวนำที่เป็นอนาล็อก
4. การเบนซ์เทสในงานวิจัยไม่เหมาะกับการวิเคราะห์วงจรในส่วนดิจิทัล เนื่องจากเป็นการวัดกระแสรั่วไหลโดยรวมของวงจร โดยปกติแล้วในดิจิทัลจะมีวงจรไฟเลี้ยงแยกจากส่วนอื่นๆ
5. การเบนซ์เทสในงานวิจัยเหมาะกับผู้ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และพบเจอความผิดปกติการใช้งาน สำหรับการตรวจสอบส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น ในกรณีที่กระแสไฟฟ้ารั่วไหลน้อยกว่าโหมดทำงานปกติจะตรวจจ็บบได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, รอยสัมผัสโลหะและสารกึ่งตัวนำ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2558.
- [2] James Beall and David Wilson. (1991). "CURVE TRACER APPLICATIONS AND HINTS FOR FAILURE ANALYSIS". **Microelectronic Failure Analysis Desk Reference**.
- [3] Noorsyuhada He, Andrew abate and Khairul Aiman Yusof. (2013). "Development of failure Analysis Technique for Temperature Dependent Failures". **Proceeding of IEEE 2013 International Symposium on the physical and Failure analysis of Integrated circuit**.
- [4] Diwei Fan และ คณะ. (2013). "Failure analysis of complicated case by functional OBIRCH method". **Proceeding of IEEE 2013 International Symposium on the physical and Failure analysis of Integrated circuit**.
- [5] Chunlei Wu และ Berges Corinne. (2010). "Leakage Current Study and Relevant Fault Localization by IR-OBIRCH". **ELECTRONICS LETTERS 15th April 2010**.
- [6] Tripod. การทดสอบ Opens / Shorts Test IC. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก. sanong 2003.tripod.com/icm1-05.htm. (วันที่ค้นข้อมูล 15 เมษายน 2560).
- [7] Tripod. กล้องจุลทรรศน์. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก. nbschoolscitool.tripod.com/microscope.htm#top. (วันที่ค้นข้อมูล: 19 เมษายน 2560).
- [8] คณะแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หลอดรังสีเอกซเรย์. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก. www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55 [1].pdf. (วันที่ค้นข้อมูล: 19 เมษายน 2560).
- [9] Freescale semiconductor. 2010. IR-OBIRCH. [ระบบออนไลน์]. www.nxp.com/api/quality/pdf.pl?file=thermal_laser_stimulation.bat. (วันที่ค้นข้อมูล: 15 เมษายน 2560).
- [10] TECHNOLOGY TEST SYSTEM. มิเตอร์. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.technotest system.com. (วันที่ค้นข้อมูล: 15 เมษายน 2560).
- [11] Xtek. XtekXray. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.xtekxray.com. (วันที่ค้นข้อมูล: 15 เมษายน 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

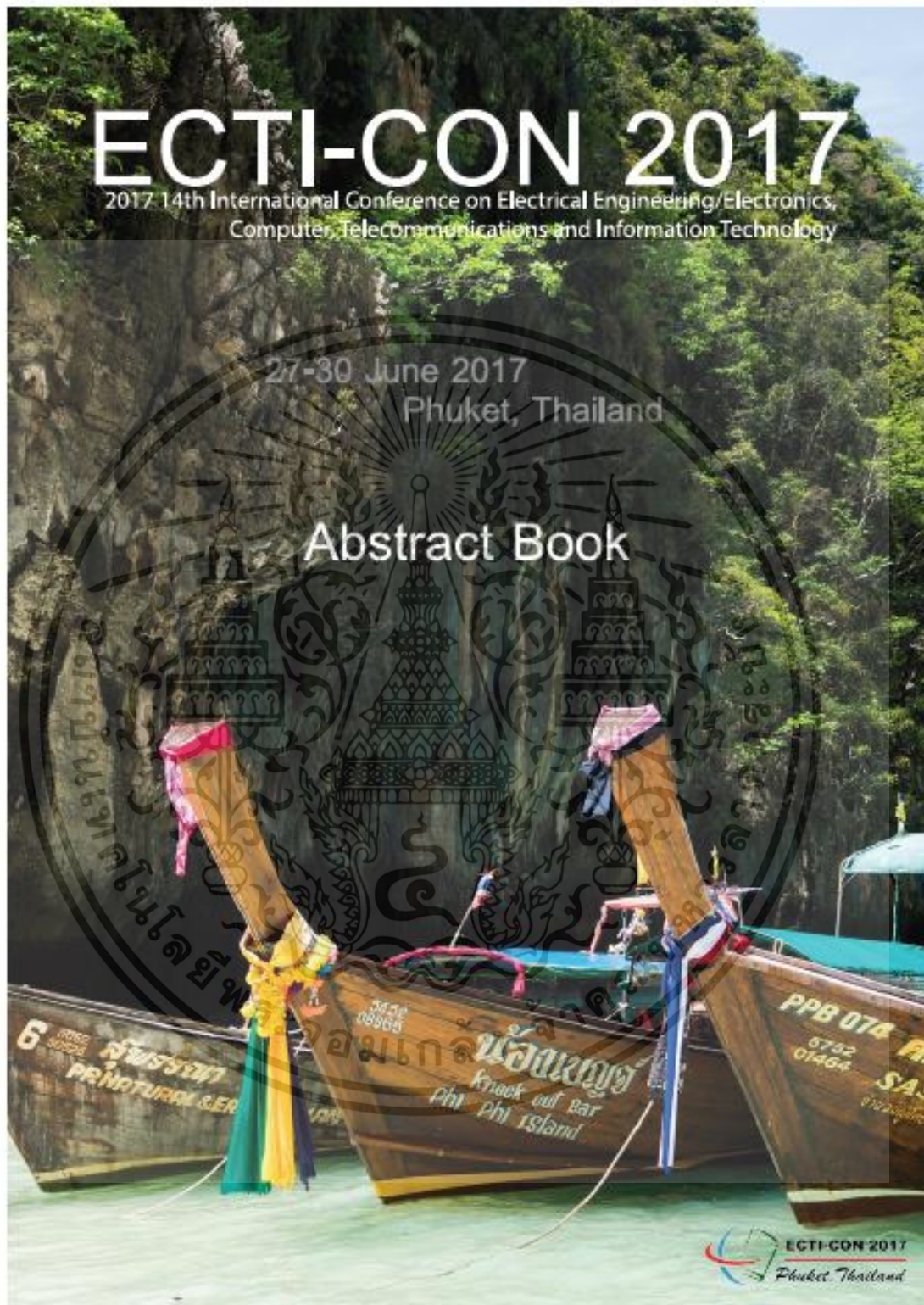
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานทางวิชาการของงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] Parin Dechmune, Promphak Dawan, Wisut Titiroongruang, Narin Atiwongsangthong. "Leakage current measurement with the bench test in watchdog timer power down mode for microcontroller device" International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) 2017, 27-30 June 2017, Phuket Thailand. pp. 245-249.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Leakage current measurement with the bench test in watchdog timer power down mode for microcontroller device

Parin Dechmune^a, Promphak Dawan^b, Wisut Titiroongruang^c, Narin Atiwongsangthong^d

^aFaculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.
e-mail: parin.dechmune@gmail.com

Abstract— This paper discusses the bench test for failure analysis. For identify the location of a defect on die circuit in microcontroller device. Bench (ipd_wdt) test method is very helpful. When curve tracer cannot detect the electrical leakage current in the form of I-V curve characteristic. In this article we discuss the bench test in watchdog timer power down (ipd_wdt) mode with the closing all of frequency function and programming control watchdog timer function by C language. The program will be reference by datasheet then set to measure electrical current leakage. Then put into the OBIRCH or Ion Emission process for find defect location on die circuit. To identify the possibility that the type of defect.

Keywords—Bench test, watchdog timer

I. INTRODUCTION

Identification of defect location in the semiconductor device for failure analysis. We could do PHEMOS machine by OBIRCH or Ion Emission process which will be analyzed by the process. Semiconductor devices must be able to measure the electrical leakage current by using Curve tracer measure in the IV curve characteristic form. But sometimes leakage current cannot be measured with such an approach which may be caused by factors such as leakage current is very less or leakage current is not expressed in normal mode functionality etc. The bench test is the simulation process of microcontroller devices for each specific function which can measure electrical current leakage-specific functionality. The bench test is another function that can find the electrical leakage current frequently. This paper would like to introduce the concept of finding defect location by this method and led to the identification of the type of defect further.

II. THEORY

A. Bench test

A test bench or testing workbench is an (often virtual) environment used to verify the correctness or soundness of a design or model, for example, that of a software product [3]. The bench test is a simulation mode for each virtual function to test whether the device can be used to its full potential or not.

For the microcontroller device, The bench test a very useful addition in terms of performance tests. But it can also be measured as an electrical current leakage circuit. And lead to identification of the defects in the crystal-oriented microcontroller devices with the disorder through the OBIRCH or Ion Emission process[2]. Typically, if such this process, Curve Tracer just detect leakage of electricity. In the graph I-V Characteristic, It must be in the leakage or short IV Characteristic form as show in Figure1.



Figure 1 Short and Leakage IV curve characteristic

It is seen that the voltage at the start of abnormal unit happening faster than normal unit. The OBIRCH and Ion emission process to detect leakage currents and higher expression in the form of image to locate defect. If the device has a small flaw, Curve tracer are often unable to detect leakage. The bench test by programming model of

applications, It brought detects electrical leakage can be measured because the specificity of each function.

B. Watchdog Timer

The act of restarting a watchdog timer is commonly referred to as "kicking the dog" or other similar terms; this is typically done by writing to a watchdog control port. Alternatively, in microcontrollers that have an integrated watchdog timer, the watchdog is sometimes kicked by executing a special machine language instruction. An example of this is the CLRWDT (clear watchdog timer) instruction found in the instruction set of some PIC microcontrollers [6].

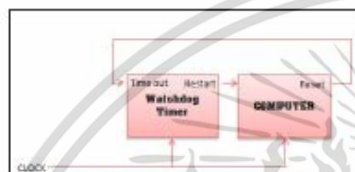


Figure 2 Single watchdog timer structure

In computers that are running operating systems, watchdog resets are usually invoked through a device driver. For example, in the Linux operating system, a user space program will kick the watchdog by interacting with the watchdog device driver, typically by writing a zero character to /dev/watchdog. The device driver, which serves to abstract the watchdog hardware from user space programs, is also used to configure the time-out period and start and stop the timer [4].

The template is used to format your paper and style the text. All margins, column widths, line spaces, and text fonts are prescribed; please do not alter them. You may note peculiarities. For example, the head margin in this template measures proportionately more than is customary. This measurement and others are deliberate, using specifications that anticipate your paper as one part of the entire proceedings, and not as an independent document. Please do not revise any of the current designations.

III. DEFECTS POSITION ANALYSIS

A. The setting for the compression program

For bench test must start from programming the computer then compress program to a microcontroller controller. The program will be delivered through connected devices as shown in Figure 3.

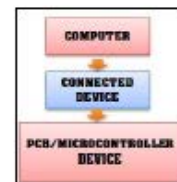


Figure 3 Flow chart of microcontroller program set up.

The connection between the devices connected to the board pressed, it will be connected through Vpp pin signal (electrical power characteristics) ICSPDAT pin and ICSPCLK pin.

B. Bench test method for watchdog timer power down mode.

C Programming for watchdog timer low power mode. It can be achieved by covering all operating modes about frequency of the microcontroller device which the data based on datasheet. In this research, according to program the microcontroller model PIC12F609 [1]. The program is shown in Figure 3.

```

#include <stdio.h>
#include <stdint.h>
#include <xc.h>

#pragma config FOSC = INTOSC10
#pragma config MDT1 = ON
#pragma config PWRTE = OFF
#pragma config WDT48 = ON
#pragma config CP = OFF
#pragma config IOSCPS = 8MHz
#pragma config BOREN = OFF

int main(int argc, char** argv) {
    while(1) {
        CLRWDT();
        SLEEP();
    }
    return (EXIT_SUCCESS);
}

```

Fig 4 C Program for ipd_wdt mode Model microcontroller PIC12F609 [1].

The command can be divided into two parts, the first is to determine frequency configuration. Using OFF command for the turn off the functionality associated with the frequency. Including Power-up Timer (PWRTE) mode is set at the beginning of the frequency, CP mode is set Trigger and Brown-out Reset (BOREN) is the mode restarts frequency. But take command ON for Watchdog Timer (WDTE) mode. In addition, the INTOSC command use for determine the source the frequency oscillator (FOSC) to the inside of the device microcontroller. For the second part of the feature set is functional We will use the SLEEP for

disabled in low power mode, CLRWDT for clear WDT mode and use the while (1) to make the program loop is just a watchdog timer low power mode only.

C. Install board for measure electrical leakage current

The Boards will begin installation of the power supply voltage is 1.8 volts include 3 volt and 5-volt which reference by datasheet PIC12F609[1]. Then use a multimeter in series with PCB board electrical current measurements and comparison between the normal and the abnormal device such a structure is shown in Figure 5.

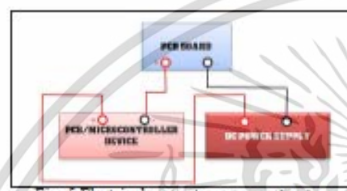


Fig. 5 Electrical current measures structure

To set up the devices pin will be based on the datasheet PIC12F609[1] which will be on the Figure 6.

Pin name	Connect with
VDD	VDD
GND	Ground
MCLR	Control switch VDD
OSC1 - OSC2	-
IO	VDD or Ground

VDD	1	8	VDD
GP1TIO/OSC1/AN	2	7	GP1TIO/OSC2/PAT
GP0M1TIO/OSC2/AN	3	6	GP0M1TIO/OSC/PIN
GP0M2TIO/PWM	4	5	GP0M2TIO/AN/OUT
MCLR/PROG	5		

Fig. 6 showed data pin set up

By measuring the electrical current that as a specify watchdog timer power down mode. I will bring the values obtained from this measurement to compare the standards recognized in the datasheet.

IV. EXPERIMENTAL RESULT

A. The setting for the compression program

The experimental measurement of electric current between good and rejected unit in watchdog timer power down mode will showed in table 1.

Voltage (V)	Normal part (uA)	Abnormal part (uA)
1.8	0.01	0.05
3	0.02	0.17
5	0.02	689.5

Table 1 compares the current results in wdt low power mode.

Compared with the data in the IC Table 2 PIC12F609 found that the value of the abnormal electrical activity that exceeds a certain value. We know that the leakage current from the power supply 5 volts.

Voltage (V)	Mimumum current (uA)	Maximum current (uA)
1.8	-	1.2
3	-	1.5
5	-	1.8

Table 2 the table shows the maximum and minimum voltage reference.

Then, the IC into the positioning error of the crystal-oriented approach Bench Test through a OBIRCH or Ion Emission process as shown in Figure 7.

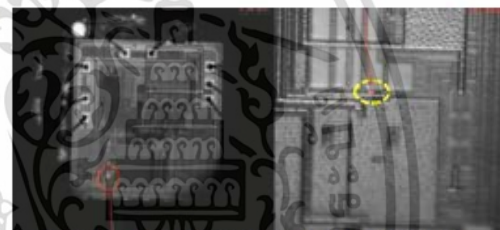


Figure 7 indicates the defect location through the Ion emission process.

Once we know the location of the defect then we will inspection at this location by high power microscope and if not appear the defect. The unit will send to de-layering by planar polishing for found the defect because the defect maybe showed at lower layer. For this research we found particle defect as showed in Figure 8 and 9.

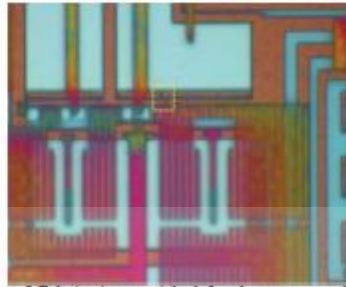


Figure 8 Fabrication particle defect between metal gate

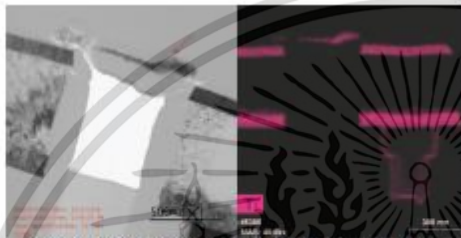


Figure 9 Fabrication particle defect between metal gate

V. CONCLUSIONS

The watchdog timer low power bench test method is one of the alternatives. Used for measuring the leakage current of the integrated circuit in the failure analysis process. For the identify the location of defect on the circuit. And lead to precisely identification of the

type of defect. It is very useful when Curve tracer cannot detect the electrical leakage current which is a method commonly used.

Acknowledgment

I would like to express my sincere thanks to my advisor and co-worker Assoc.Dr.Wisoot Thitiroongrueng, Dr.Narin Atiwongsangthong and Ms. Promphak Dawan for our invaluable help and constant encouragement throughout the course of this research. In addition, I am grateful for the department of microelectronic engineering at KMUTL The facility director for bench test research.

References

- [1] 1. Microchip product: PIC12F609/HV609 PIC12F615/HV615 Data Sheet 8-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers [Online] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41302A.pdf>
- [2] 2. Integrated service technology: Optical Beam Induced Resistance Change (OBIRCH). [Online]
- [3] http://www.istgroup.com/english/3_service/03_01_detail.php?MID=43&SID=67&ID=247.
- [4] 3. Wikipedia : Test bench
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Test_bench [Online]
- [6] 4. Wikipedia : Watchdog Timer https://en.wikipedia.org/wiki/Watchdog_timer [Online]

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายปรินทร์ เดชมุณี
วัน เดือน ปีเกิด	19 พฤษภาคม 2533
ที่อยู่	347/925 พหลมคอนโด ถ.แจ้งวัฒนะ แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210 โทร.0-90574-1736
ประวัติการศึกษา	2555 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) เทคโนโลยีสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor device) 2.) วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำ (Design support) 3.) วิเคราะห์ข้อผิดพลาดอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Failure analysis)

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] Parin Dechmune, Promphak Dawan, Wisut Titiroongruang, Narin Atiwongsangthong. "Leakage current measurement with the bench test in watchdog timer power down mode for microcontroller device" International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) 2017, 27-30 June 2017, Phuket Thailand. pp. 245-249.

[2] ปรินทร์ เดชมุณี, ดร.นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง, รศ.ดร.วิสุทธ์ ฐิติรุ่งเรือง "การวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสโดยจำลองในโหมดพลังงานต่ำสำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งข้อผิดพลาดของอุปกรณ์ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์" การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9. 2-4 พฤษภาคม 2560.