

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของตัวตรวจวัดแสง
โครงสร้าง อลูมิเนียม-ซิลิคอนชนิดเอ็น-อลูมิเนียม**

**ELECTRICAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION
OF Al/n-Si/Al PHOTODETECTOR**



โดย
สิทธิพงษ์ เมฆวงศา
ประภากรณ์ อักษร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....62467.....
วัน,เดือน,ปี.....18 ส.ค. 2549.....

b.....11623111.....
i.....

**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของตัวตรวจวัดแสง
โครงสร้าง อลูมิเนียม-ซิลิคอนชนิดเอ็น-อลูมิเนียม
ELECTRICAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION
OF Al/n-Si/Al PHOTODETECTOR



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง

อลูมิเนียม-ซิลิคอนชนิดเอ็น-อลูมิเนียม

ผู้จัดทำ

1. นายสิทธิพงษ์ เมฆวงศา
2. นายประภากรณ์ อักษร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง อลูมิเนียม-ซิลิคอนชนิดเอ็น-อลูมิเนียม

นาย สิทธิพงษ์ เมฆวงศา รหัส 46015203

นาย ประภากรณ์ อักษร รหัส 46015230

ผศ. ดร. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอ การวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง อลูมิเนียม-ซิลิคอนชนิดเอ็น-อลูมิเนียม ซึ่งการวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าแบบ กระแสตรงทำได้โดยการเขียนโปรแกรม แล็บวิว 7.0 เพื่อใช้ในการติดต่อผ่านทาง การ์ดจีพีไอบี กับเครื่องมือที่ใช้ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องซอร์ส-มิเตอร์ และชุดทดลองเลเซอร์ไดโอด เพื่อความ สะดวก แม่นยำ และประหยัดเวลาในการวัด ส่วนการวัดลักษณะการตอบสนองทางแสงจะวัดด้วย ออสซิลโลสโคป โดยผลการวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าแบบกระแสตรงพบว่ากระแสแสงจะมีค่า เพิ่มขึ้นเมื่อให้ความเข้มแสงและแรงดันไบแอสมากขึ้น ส่วนผลการวัดลักษณะการตอบสนองทาง แสงพบว่า การตอบสนองทางแสงจะเปลี่ยนแปลงตาม โหลดความต้านทานและแรงดันไบแอส

Electrical and Optical Characterization of Al/n-Si/Al Photodetector

Mr. Sittipong Makwongsa ID. 46015203

Mr. Prapakorn Aksorn ID. 46015230

Asst. Prof. Dr. Surasak Niemcharoen Advisor
Educational Year 2005

Abstract

This paper presents electrical and optical properties measurements for Al/n-Si/Al photo detector. The dc measurement is done by applying LabVIEW 7.0 program communicated via GPIB card though an equipment set including source-meter, and laser diode set to achieve high accuracy measurements, shorter testing time, and handy. The optical response measurements are done by an oscilloscope showing optical current increases when higher light intensities and higher bias voltages applied. In addition, the optical responses change according to load resistance and bias voltage.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ตัวตรวจวัดแสงและกระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำ	3
2.1 กระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำ	3
2.1.1 ลักษณะสมบัติพื้นฐานของแสง	3
2.1.2 การดูดกลืนแสงและการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล	4
2.1.3 การรวมตัวใหม่ของคู่อิเล็กตรอน-โฮล	5
2.2 การตอบสนองทางแสง	5
2.3 ชนิดและโครงสร้างของตัวตรวจวัดแสงแบบต่างๆ	6
2.3.1 โฟโตคอนดักเตอร์	6
2.3.2 โฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น	7
2.3.3 โฟโตไดโอดแบบรอยต่อ p-i-n	8
2.3.4 โฟโตไดโอดแบบอะวาแลนซ์	8
2.3.5 โฟโตไดโอดแบบพลาเนอร์ โครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ	9
2.4 รอยสัมผัสโลหะ – สารกึ่งตัวนำ	10
2.4.1 ลักษณะแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นก่อนการสัมผัส	10
2.4.2 ลักษณะแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นหลังการสัมผัส	11
2.4.3 คุณสมบัติรอยสัมผัสขณะได้รับไบแอสตรง	13
2.4.4 คุณสมบัติรอยสัมผัสขณะได้รับไบแอสกลับ	14
2.4.5 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของซีดตีซีไดโอดเปรียบเทียบกับไดโอดรอยต่อพีเอ็น	15
2.5 ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ	16
2.5.1 โครงสร้างของ MSM ในสภาวะสมดุลความร้อน	16
2.5.2 โครงสร้าง MSM ขณะได้รับแรงดันไบแอส	17
2.5.3 ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะขณะได้รับแรงดันไบแอส	18
2.5.4 โครงสร้าง MSM ขณะได้รับแสงตกกระทบ	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 โปรแกรม LabVIEW	20
3.1 ความเป็นมาของ LabVIEW	20
3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ใน LabVIEW	23
3.3 เครื่องมือในการออกแบบ VI	24
3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบฟรอนท์พาแนล	24
3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมบนบล็อกไดอะแกรม	26
3.3.3 เครื่องมือบนฟรอนท์พาแนล	27
3.3.4 เครื่องมือบนบล็อกไดอะแกรม	28
3.4 การพัฒนาโปรแกรม	28
3.4.1 หลักการทำงานของ Dataflow programming	29
3.4.2 ประเภทของข้อมูล	29
บทที่ 4 การเขียนโปรแกรมและการเตรียมชิ้นงาน	34
4.1 การเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของตัวตรวจวัดแสง	34
4.1.1 การเข้าโปรแกรม LabVIEW เพื่อเริ่มเขียนโปรแกรม	35
4.1.2 การเขียนโปรแกรม	36
4.1.2.1 การเรียกใช้เครื่องมือตามที่ออกแบบบนฟรอนท์พาแนล	38
4.1.2.2 การเขียนโปรแกรมบนบล็อกไดอะแกรม	39
4.2 การเตรียมชิ้นงานตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al	42
4.2.1 ลวดลายของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al	42
4.2.2 กระบวนการสร้าง	43
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	47
5.1 ผลการทดลองวัดตัวต้านทานและไดโอด	47
5.2 ผลการทดลองวัดลักษณะสมบัติกระแส – แรงดันของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al ในแบบสัญญาณแสงกระแสตรง ซึ่งควบคุมด้วยโปรแกรม LabVIEW	50
5.3 ผลการทดลองลักษณะการตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ในแบบสัญญาณ กระแสสลับ	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรูปและวิจารณ์ผลการทดลอง	58
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสงเป็นหนึ่งในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้มีการพัฒนาคุณสมบัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเพิ่มขีดจำกัดในการใช้งานมาโดยตลอด ตัวตรวจวัดแสงก็เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสงชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวาง และได้มีการพัฒนาโครงสร้างหลายแบบด้วยกัน เช่น โฟโตคอนดักเตอร์ (photoconductor) โฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น (p-n photodiode) โฟโตไดโอดแบบรอยต่อ p-i-n (p-i-n photodiode) ะวาลานซ์โฟโตไดโอด (avalanche photodiode)

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ แบบพลาแนร์ (Planar Metal-Semiconductor-Metal Photodetector) หรือโครงสร้าง MSM (metal-semiconductor-metal) เป็นโฟโตไดโอดอีกชนิดหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นและคาดว่าจะเป็นตัวตรวจวัดแสงที่มีบทบาทสำคัญในทางอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคต เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เป็นจุดเด่นและน่าสนใจหลายประการ เช่น เป็นอุปกรณ์ที่สร้างได้ง่าย เนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย มีค่าความจุไฟฟ้าต่ำ ทำให้มีการตอบสนองสัญญาณที่มีความถี่สูง มีแบนวิidth ที่กว้าง

ในปฏิยานิพนธ์นี้จึงเลือกที่จะทำการศึกษา และสร้างอุปกรณ์ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM แบบพลาแนร์ ซึ่งในการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าแบบกระแสตรงของตัวตรวจวัดแสงที่ทำการสร้างขึ้นมานี้ได้นำโปรแกรม LabVIEW มาช่วยในการวิเคราะห์ด้วย เนื่องจากโปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่เน้นในการใช้ติดต่อควบคุมเครื่องมือวัดที่ใช้วัดค่าทางกายภาพต่างๆ เป็นโปรแกรมที่สามารถออกแบบให้มีหน้าจอสื่อสายกับเครื่องมือวัดจริงๆ ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดก็สามารถนำมาแสดงที่หน้าจอกอมพิวเตอร์ และนำข้อมูลที่ได้มาแสดงผลเป็นกราฟได้อีกด้วย ดังนั้นการใช้โปรแกรม LabVIEW จึงง่าย สะดวก และรวดเร็ว ต่อการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าแบบกระแสตรงของตัวตรวจวัดแสงที่ทำการสร้างขึ้นในปฏิยานิพนธ์นี้ด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเขียน โปรแกรมการควบคุมระบบเครื่องมือวัดทาง ไฟฟ้าและทางแสงในลักษณะการวัดแบบกระแสตรง ด้วยแหล่งกำเนิดแสงแบบเลเซอร์ไดโอด
2. สร้างชิ้นงานตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al
3. วัดและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของงาน

1. ในส่วนของ LabVIEW จะแนะนำโปรแกรม ส่วนประกอบและวิธีการเลือกใช้เครื่องมือใน LabVIEW รวมถึงการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมเครื่องมือวัด
2. ในส่วนของ MSM ทำการสร้างอุปกรณ์ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al บนแผ่นซิลิคอนโดยมีขนาดของอลูมิเนียมเท่ากับ $1000 \mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m}$ มีระยะห่างระหว่างอลูมิเนียมเท่ากับ $100 \mu\text{m}$
3. วัดและวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของตัวตรวจวัดแสงแบบกระแสตรงและวิเคราะห์หาผลตอบสนองทางความถี่

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษารายละเอียดและออกแบบโปรแกรมการวัดลักษณะ สมบัติกระแส-แรงดัน ด้วยโปรแกรม LabVIEW
2. ทำการทดสอบโปรแกรมที่ออกแบบ
3. ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับตัวตรวจวัดแสงและศึกษากระบวนการสร้างตัวอุปกรณ์โครงสร้าง Al/n-Si/Al
4. สร้างอุปกรณ์ตัวตรวจวัดแสงภายในห้องปฏิบัติการ
5. วัดคุณสมบัติของตัวตรวจวัดแสง
6. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ตัวตรวจวัดแสงและกระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำ

ตัวตรวจวัดแสงทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานทางแสงให้เป็นพลังงานทางไฟฟ้า โดยเมื่อมีแสงตกกระทบตัวตรวจวัดแสง แล้วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างภายในตัวตรวจวัดแสง ซึ่งเกิดจากกลไกภายในของสารกึ่งตัวนำที่นำมาสร้างตัวตรวจวัดแสงและตัวตรวจวัดแสงก็มีด้วยกันหลายชนิด ดังจะได้นำเสนอต่อไป โดยในบทนี้จะกล่าวถึงชนิดและโครงสร้างของตัวตรวจวัดแสงแบบต่างๆ และกระบวนการทางแสงที่เกิดขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ

2.1 กระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำ

กระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำเป็นกระบวนการที่สารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับแสงแล้วเกิดกลไกภายในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งประกอบไปด้วย การดูดกลืนพลังงานของแสงที่ตกกระทบแล้วทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล และรวมตัวของคู่อิเล็กตรอน-โฮล

2.1.1 ลักษณะสมบัติพื้นฐานของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นแสงแตกต่างกันไป แสงที่ตามนุษย์มองเห็น (visible light) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 400-700 นาโนเมตร โดยที่แสงมีคุณสมบัติเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค ในทางฟิสิกส์แบบควอนตัม คลื่นแสงถูกพิจารณาว่ามีลักษณะเป็นอนุภาค โดยที่อนุภาคของแสงนี้ถูกเรียกว่าโฟตอน (photon) และพลังงานของโฟตอนแปรผันกับความถี่ของคลื่นแสงโดย

$$E_{\text{photon}} = h\nu = hc/\lambda = 1.24/\lambda \quad \text{eV} \quad (2.1)$$

โดยที่

ν คือ ความถี่ (Hz)

λ คือ ความยาวคลื่นแสง (μm)

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ มีค่าเท่ากับ 4.14125×10^{-15} eV-sec

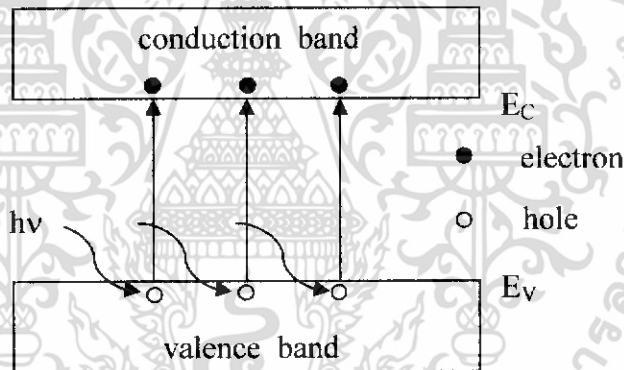
c คือ ความเร็วแสง มีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพลังงานโฟตอนของแสงมีค่ามากกว่าขนาดของช่องว่างพลังงาน (Energy gap : E_g) ของสารกึ่งตัวนำ หรือ $E_{\text{photon}} \geq E_{g(\text{semi})}$ แล้วสารกึ่งตัวนำจะดูดกลืนพลังงานแสงทำให้เกิดเป็นคู่อิเล็กตรอน-โฮลในสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นความนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจึงเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแสง ส่วนกรณีที่ $E_{\text{photon}} < E_{g(\text{semi})}$ การดูดกลืนแสงไม่เกิดในซิลิคอนมีแถบช่องว่างพลังงานเท่ากับ 1.12 eV

2.1.2 การดูดกลืนแสงและการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล

กลไกการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ในสารกึ่งตัวนำอินทรีนซิกจะเกิดจากการให้พลังงานความเข้มที่มีค่ามากพอหรือการให้แสงที่มีพลังงานมากพอที่จะทำให้สารกึ่งตัวนำ เมื่อดูดกลืนแสงเข้าไปแล้วสามารถกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์กระโดดข้ามช่องว่างพลังงานขึ้นไปอยู่แถบนำไฟฟ้าได้ เกิดเป็นอิเล็กตรอนอิสระในแถบความนำและโฮลอิสระในแถบวาเลนซ์ การเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลจะเกิดเป็นคู่กันเสมอ ดังรูปที่ 2.1

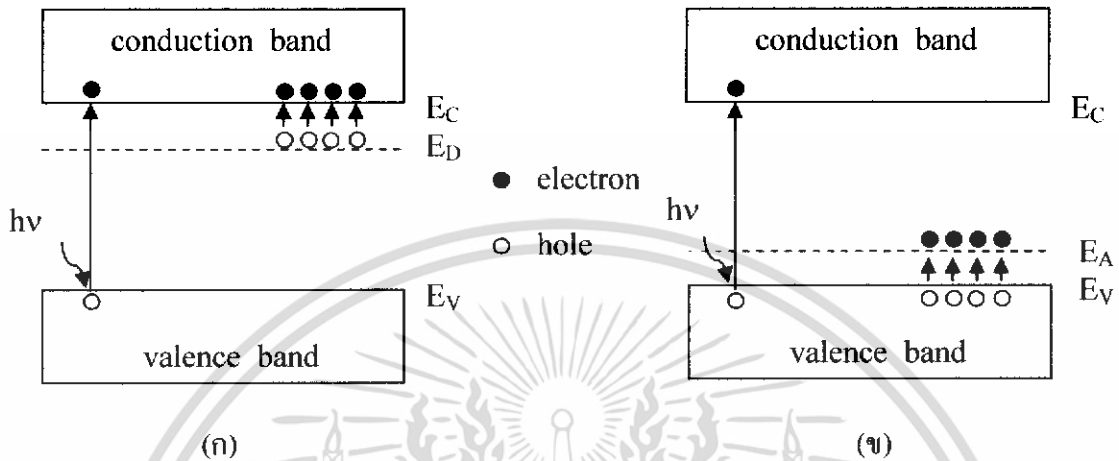


รูปที่ 2.1 การเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล จากการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำอินทรีนซิก

ในกรณีของสารกึ่งตัวนำเอ็กทรีนซิก (extrinsic semiconductor) ซึ่งมีการเติมอะตอมสารเจือ เช่น ซิลิคอนถูกเติมด้วยฟอสฟอรัส จะได้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) คือ จะเกิดระดับพลังงานผู้ให้ (donor level : E_D) ขึ้นในช่องว่างพลังงานใกล้ๆ กับระดับพลังงานของแถบความนำซึ่งจะทำให้สารกึ่งตัวนำ เมื่อได้รับพลังงานน้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงานก็สามารถเกิดพาหะอิสระขึ้นได้ โดยพาหะอิสระที่เกิดขึ้นจะเป็นอิเล็กตรอนจากระดับสารเจือผู้ให้หลุดไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) ในส่วนของสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor) ได้จากการเติมสารเจือ เช่น ซิลิคอนถูกเติมโดยโบรอน จะทำให้เกิดระดับพลังงานผู้รับ (acceptor level : E_A) ขึ้นในช่องว่างพลังงานใกล้ๆ กับระดับพลังงานของแถบวาเลนซ์ ซึ่งจะทำให้สารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับพลังงานที่น้อยกว่าแถบพลังงานก็สามารถเกิดพาหะอิสระขึ้นได้ โดยพาหะอิสระที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นจะเป็นโฮลในแถบวาเลนซ์ ที่เกิดจากอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์หลุดเข้าไปอยู่ในระดับผู้รับ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข)



รูปที่ 2.2 การเกิดคู่พาหะอิเล็กตรอน-โฮล จากการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำเอ็กทรินซิก (ก) ชนิดเอ็น (ข) ชนิดพี

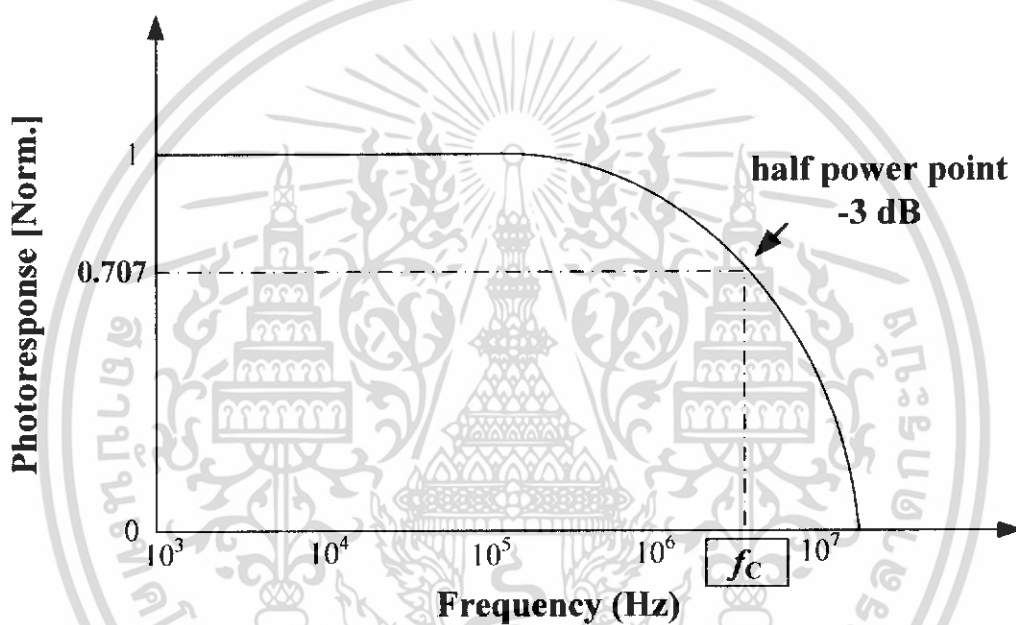
2.1.3 การรวมตัวใหม่ของคู่อิเล็กตรอน-โฮล (recombination)

การรวมตัวใหม่เป็นกระบวนการตรงข้ามกับการเกิด คือเป็นการรวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮล โดยที่อิเล็กตรอนจากแถบความนำลระดับพลังงานลงไปรวมกับโฮลในแถบวาเลนซ์ ทำให้พาหะคืออิเล็กตรอนและโฮลหายไป โดยที่กระบวนการรวมตัวใหม่นี้จะเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันกับการเกิดพาหะเรียกว่ากระบวนการรวมตัวใหม่และการเกิดของพาหะ (recombination and generation) สำหรับสารกึ่งตัวนำในภาวะสมดุลความร้อนที่อุณหภูมิใดๆ พลังงานจากความร้อนหรือพลังงานแสงทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน -โฮลขึ้น และจะมีการรวมตัวอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยมีอัตราการเกิดและการรวมตัวใหม่ของพาหะเท่ากัน ทำให้กระแสสุทธิที่เกิดในสารกึ่งตัวนำเท่ากับศูนย์ การรวมตัวใหม่ในสารกึ่งตัวนำมี 2 กระบวนการคือ กระบวนการรวมตัวใหม่แบบโดยตรงและแบบโดยอ้อม

2.2 การตอบสนองทางแสง

การตอบสนองทางแสง (photoresponse) คืออัตราความเร็วในการทำงานเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่สัญญาณความถี่ค่าต่างๆ โดยอัตราการตอบสนองทางแสงจะมีค่าลดลงเมื่อสัญญาณทางแสงมีความถี่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติบางอย่างของตัวตรวจจับแสง ซึ่งการลดลงของการตอบสนองทางแสงขณะที่สัญญาณแสงมีเอกสารถูกเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

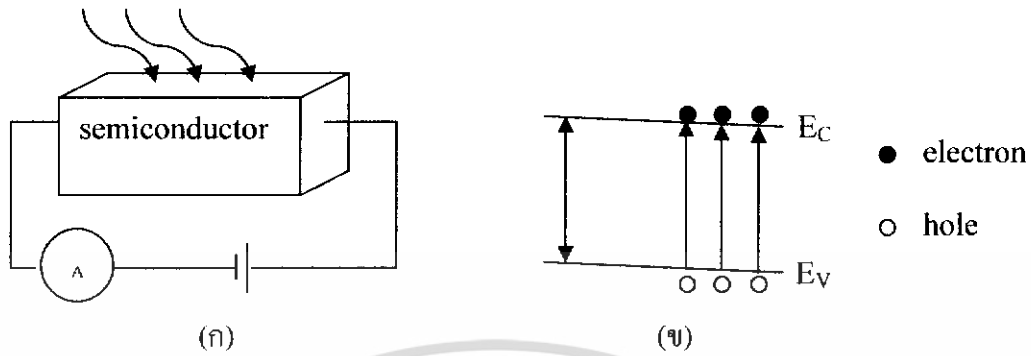
ความถี่สูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.3 ในทางปฏิบัติการตอบสนองทางแสงจะมีค่าลดลงที่ความถี่ค่าหนึ่ง มีค่าประมาณ 0.707 เท่าของการตอบสนองทางแสงทั้งหมด ความถี่ค่านี้ถูกเรียกว่า ความถี่คัทออฟ (cutoff frequency : f_c) ที่ความถี่นี้กำลังงานจะมีค่าลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง จุดนี้จึงถูกกำหนดว่าเป็นจุดกำลังลดลงครึ่งหนึ่ง (half power point) หรือมีค่า -3 dB ดังนั้นความถี่คัทออฟจึงมีความหมายถึงค่าความถี่สูงสุดที่ตัวตรวจวัดแสงสามารถทำงานได้ ซึ่งความถี่ที่สูงกว่านี้จะทำให้กำลังงานของตัวตรวจวัดแสงมีค่าต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของกรณีความถี่ต่ำ



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองทางแสงกับความถี่ของสัญญาณ

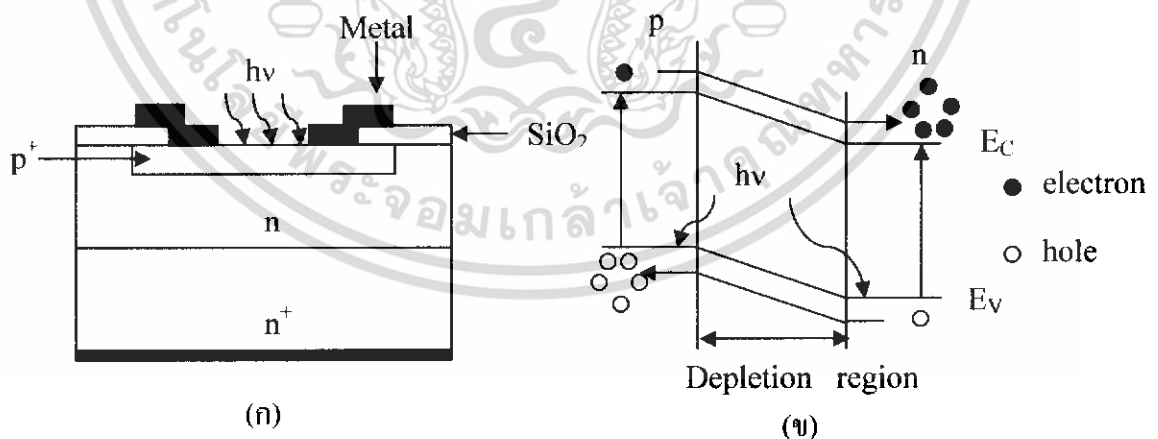
2.3 ชนิดและโครงสร้างของตัวตรวจวัดแสงแบบต่างๆ

2.3.1 โฟโตคอนดักเตอร์ (Photoconductor) เป็นตัวตรวจวัดแสงที่ง่าย เนื่องจากโครงสร้างมีเพียงแท่งสารกึ่งตัวนำเพียงอย่างเดียว เมื่อแท่งตัวนำได้รับแสงตกกระทบ จะทำให้มีสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดกระแสแสงได้ ซึ่งกระแสแสงจะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดของพาหะความเข้มของแสงตกกระทบและความสามารถในการดูดกลืนแสง ส่วนการใช้งานจะป้อนแรงดันไบแอสให้แก่โฟโตคอนดักเตอร์ที่ขั้วทั้งสองดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 (ก) เป็น โครงสร้างของโฟโตคอนดักเตอร์
(ข) แถบพลังงานของโฟโตคอนดักเตอร์

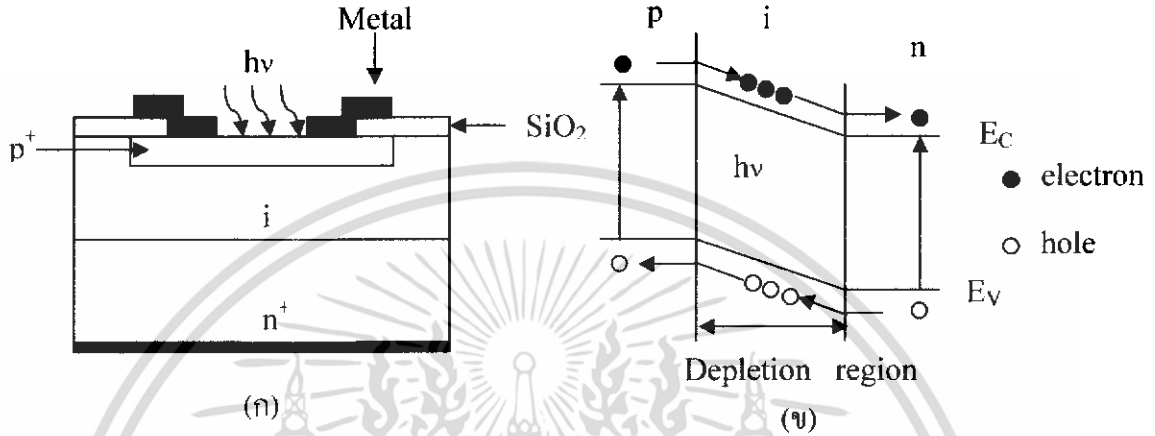
2.3.2 โฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น (p-n photodiode) มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อ พี-เอ็น ซึ่งบริเวณตรงกลางรอยต่อ พี-เอ็น เป็นบริเวณปลอดพาหะ เมื่อมีแสงตกกระทบรอยต่อและพลังงานโฟตอนของแสงมีค่ามากกว่าช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ($h\nu \geq E_g$) แล้วพลังงานโฟตอนของแสงจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดจากแถบวาเลนซ์ไปสู่แถบนำไฟฟ้า และแถบวาเลนซ์จะเหลือโฮลอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 (ก) โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น
(ข) แถบพลังงานของโฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น เมื่อได้รับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 โฟโตไดโอดแบบรอยต่อ p-i-n (p-i-n photodiode) เป็นโฟโตไดโอดที่มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงและความเร็วในการทำงานสูงกว่าโฟโตไดโอดแบบธรรมดา มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.6

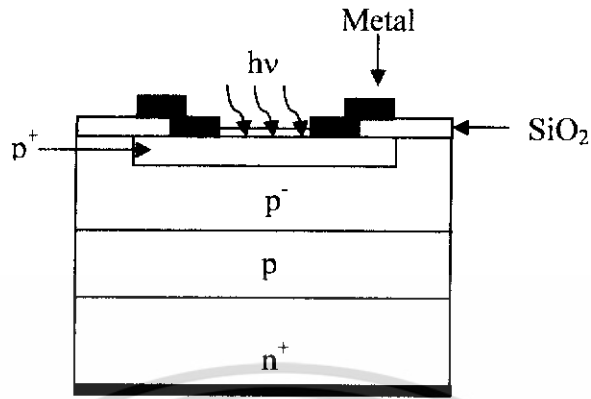


รูปที่ 2.6 (ก) โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบ p-i-n

(ข) แถบพลังงานของโฟโตไดโอดแบบ p-i-n เมื่อได้รับแสง

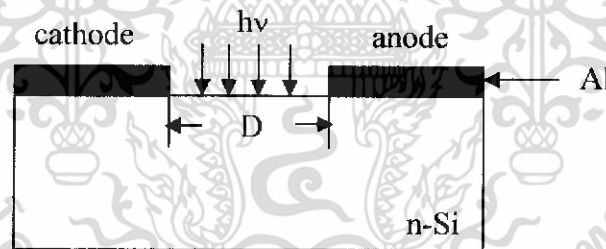
จากโครงสร้างดังรูปที่ 2.6 เมื่อได้รับแรงดันไบอัสจะทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะขยายเข้าไปในส่วนของชั้น i และเนื่องจากแรงดันตกคร่อมที่ส่วน i จะทำให้มีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นตลอดชั้น i เมื่อมีแสงตกกระทบจะเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น ข้อดีของโฟโตไดโอดแบบ p-i-n คือการทำงานที่ความถี่สูง เนื่องจากการมีชั้น i จึงทำให้ค่าความจุไฟฟ้าน้อย ทำให้มีผลการตอบสนองด้านเวลาได้รวดเร็วมาก

2.3.4 โฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์ คือโฟโตไดโอดแบบ พี-เอ็น หรือแบบ p-i-n แต่จะถูกออกแบบเป็นพิเศษ นั่นคือทำให้ไดโอดทำงานใกล้ๆ กับจุดพังทลายของรอยต่อ พี-เอ็น สนามไฟฟ้าในบริเวณปลอดพาหะหรือชั้น i จะมีค่าสูง จนกระทั่งสามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์ทวีคูณของพาหะได้ ดังนั้นในภาวะนี้กระแสแสงจะมีค่าสูงมาก ไดโอดจึงมีสมบัติเป็นโฟโตไดโอดความเร็วสูง ตัวอย่างโครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์ชนิดรีซทรุ แสดงดังรูปที่ 2.7 เมื่อให้แรงดันไบอัสแบบย้อนกลับแก่อุปกรณ์จะเกิดบริเวณปลอดพาหะที่รอยต่อ p-n+ แล้วขยายกว้างไปจนถึงส่วน p- ถ้าให้แสงตกกระทบเข้ามา โอลจะเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้น p+ ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนไปยังรอยต่อ p-n+ ซึ่งสนามไฟฟ้าที่สูงจะเร่งให้อิเล็กตรอนวิ่งไปชนกับโครงสร้างของผลึก และทำให้เกิดปรากฏการณ์อะวาลานซ์ขึ้น

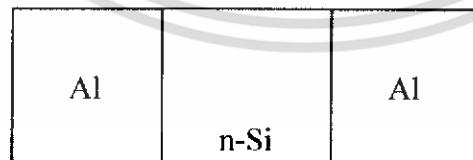


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบอะวาแลนซ์ชนิดรีซทรู

2.3.5 โฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ แบบพลาเนอร์ หรือโครงสร้าง MSM เป็นโฟโตไดโอดชนิดหนึ่งประกอบด้วยกำแพงศักย์ชนิดดีคีย์ที่ปลายสุดทั้งสองด้าน ซึ่งต่อแบบหันหลังชนกันดังรูปที่ 2.8



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.8 (ก) ภาพตัดขวางโครงสร้าง MSM

(ข) ภาพด้านบนโครงสร้าง MSM ชนิด Al/n-Si/Al

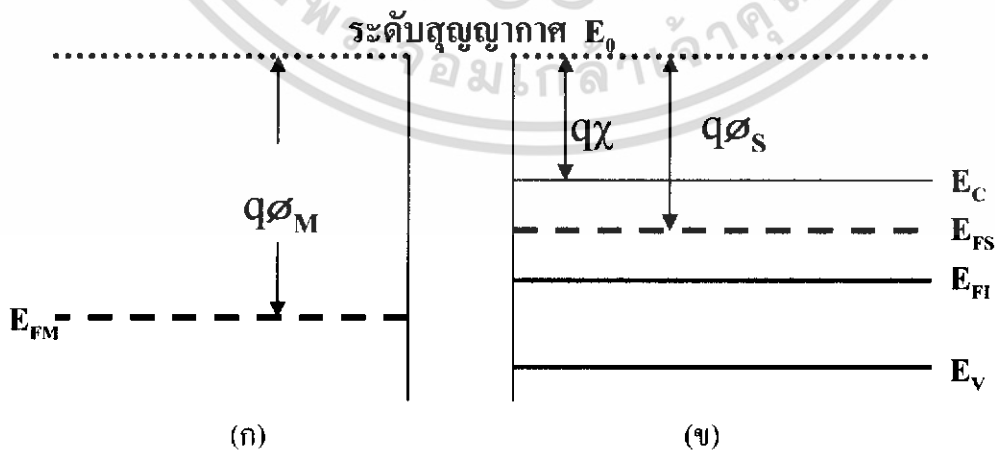
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในโครงการนี้จะเลือกโครงสร้างแบบ MSM ในการทำโฟโตดีเทคเตอร์ เพราะมีจุดเด่นหลายประการเช่น มีค่าความจุไฟฟ้าต่ำ ทำให้มีการตอบสนองสัญญาณที่มีความถี่สูงเป็นโครงสร้างพลาเนอร์สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย และโครงสร้างเป็นอย่างง่ายมีขั้นตอนการสร้างที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM โดยมากนิยมใช้สารกึ่งตัวนำประเภทสารประกอบที่อยู่ในกลุ่ม III-V เช่น แกลเลียมอะเซไนด์ (GaAs) หรือ อินเดียมแกลเลียมอะเซไนด์ (InGaAs) เพื่อต้องการใช้งานด้านความถี่สูง อย่างไรก็ตามในการใช้งานบางอย่างไม่จำเป็นต้องใช้งานที่ความถี่สูงๆ เช่น งานระบบเก็บข้อมูล หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไอริส (electronics iris) จึงไม่จำเป็นต้องใช้สารประกอบในกลุ่ม III-V ซึ่งมีราคาแพงและในขณะนี้เทคโนโลยีซิลิคอน(Si)มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก การเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่เป็นซิลิคอนเพื่อสร้างเป็นโครงสร้าง MSM จึงเป็นอุปกรณ์ที่น่าสนใจ ซึ่งซิลิคอนสามารถตอบสนองในช่วงแสงที่ตามองเห็น คือ 400-700 นาโนเมตร ทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมาย และที่สำคัญยังมีราคาถูก ดังนั้นในโครงสร้างนี้จึงเลือกซิลิคอนและอะลูมิเนียมในการสร้างตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง MSM

2.4 รอยสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำ

โดยทั่วไปแล้วรอยสัมผัสระหว่างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ สามารถให้คุณสมบัติได้สองลักษณะคือ “รอยสัมผัสแบบโอห์มิก” หรือ “รอยสัมผัสแบบเรกติไฟร์” ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและสารกึ่งตัวนำที่นำมาสร้าง สำหรับรอยต่อแบบโอห์มิกที่มีคุณสมบัติให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองด้านของรอยต่อ ในที่นี้จะไม่กล่าวถึง เนื่องจากตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง อะลูมิเนียม-ซิลิคอน ชนิดเอ็น-อะลูมิเนียม จะมีรอยสัมผัสแบบเรกติไฟร์เท่านั้น

2.4.1 ลักษณะแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นก่อนการสัมผัส



รูปที่ 2.9 ลักษณะแถบพลังงานและระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนการสัมผัส

(ก) โลหะ (ข) สารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการสัมผัสแถบพลังงานของโลหะแสดงดังรูป 2.9 (ก) และแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำแสดงดังรูป 2.9 (ข) ระดับพลังงาน E_0 หมายถึงระดับพลังงานที่ใช้เป็นระดับอ้างอิง เพื่อการเปรียบเทียบระดับพลังงานของสารต่างชนิดกัน เรียกว่าระดับสุญญากาศ (vacuum level)

ในส่วนของโลหะ ระดับพลังงานเฟอร์มิ E_{FM} จะอยู่สูงกว่าระดับพลังงานของแถบนำไฟฟ้า E_C เล็กน้อย ค่าความแตกต่างระหว่างระดับพลังงานเฟอร์มิและระดับสุญญากาศ เรียกว่าฟังก์ชันงาน (work function) $q\phi_M$ ซึ่งหมายถึงพลังงานค่าน้อยสุด ที่อิเล็กตรอนในโลหะต้องการเพื่อทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกมาหยุดนิ่งที่ผิวด้านนอก ในโลหะต่างชนิดกันจะมีค่าฟังก์ชันงานที่ต่างกัน ค่าฟังก์ชันงานในโลหะคือ

$$q\phi_M = E_0 - E_{FM} \quad (2.2)$$

สำหรับแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น ระดับเฟอร์มิจะอยู่ในช่องว่างพลังงานโดยอยู่สูงกว่าระดับ E_{F1} และต่ำกว่า E_C ค่าฟังก์ชันงานในสารกึ่งตัวนำคือ

$$q\phi_S = E_0 - E_{F1} \quad (2.3)$$

ส่วนค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (electron affinity) $q\chi$ คือ ความแตกต่างของพลังงานระดับสุญญากาศ E_0 กับ ระดับนำไฟฟ้า E_C ค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตีมีค่าเท่ากับ

$$q\chi = E_0 - E_C \quad (2.4)$$

2.4.2 ลักษณะแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นหลังการสัมผัส

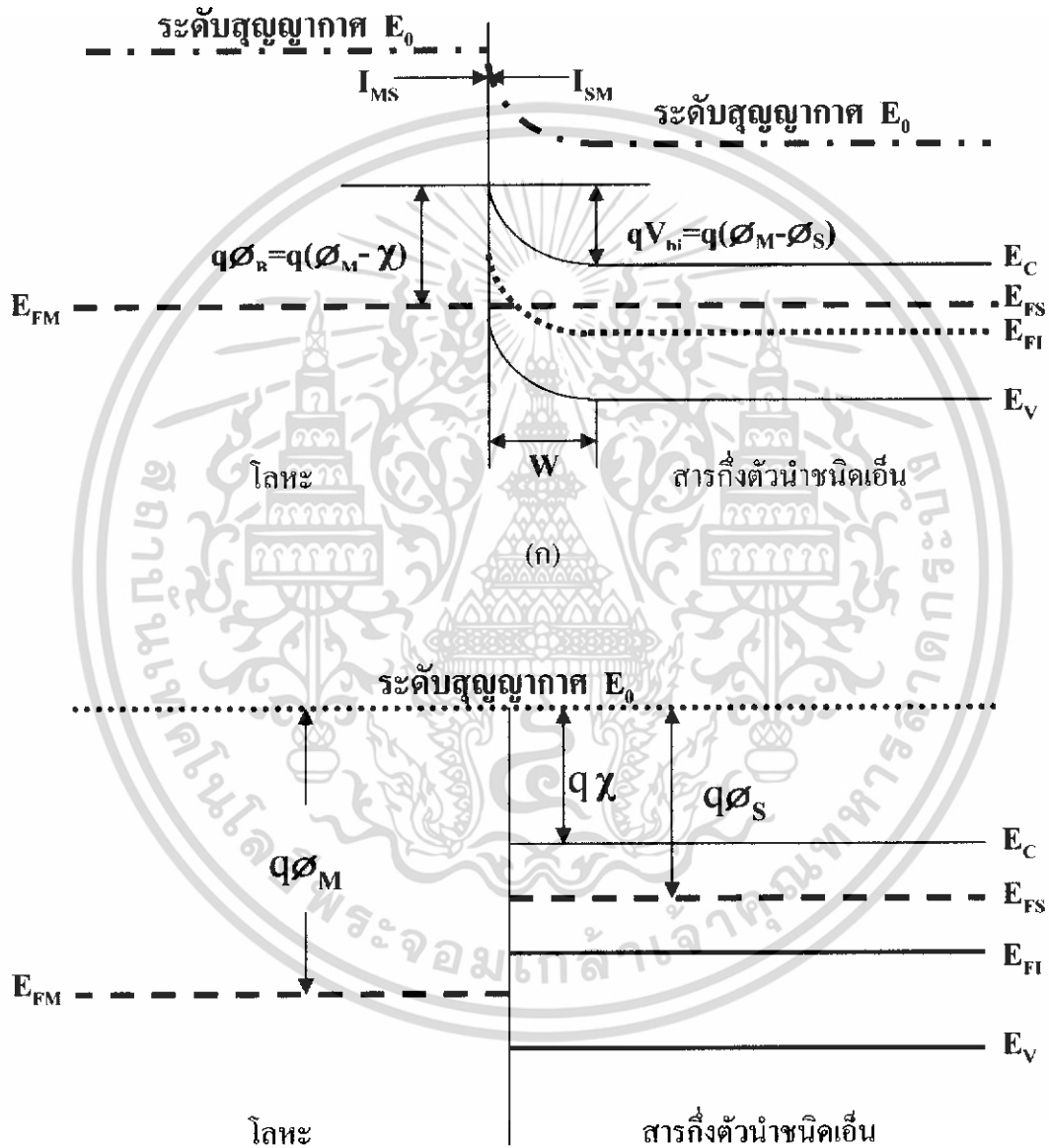
ลักษณะแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำ ซึ่ง $q\phi_M > q\phi_S$ ก่อนการสัมผัสหรือเมื่อเริ่มต้นสัมผัสแสดงดังรูป 2.10 (ก) จะเห็นว่าแถบพลังงานมีลักษณะเป็นแถบราบ แต่ภายหลังการสัมผัสจะมีการเปลี่ยนแปลงคือ ทั้งโลหะและสารกึ่งตัวนำจะพยายามปรับให้พลังงานเฟอร์มิอยู่ในระดับเดียวกัน โดยที่อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจะเคลื่อนที่แพร่เข้าไปในโลหะบริเวณรอยสัมผัส และทั้งไอออนบวกไว้ภายในสารกึ่งตัวนำเกิดเป็นบริเวณปลอดพาหะมีขนาดความกว้างเท่ากับ W ขยายเข้าไปในสารกึ่งตัวนำดังแสดงในรูป 2.10 (ข) ขณะนี้รอยสัมผัสจะเข้าสู่สถานะสมดุลความร้อน กระแสที่เกิดจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำไปโลหะ และจากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำมีค่าเท่ากัน กระแสสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ ศักย์สัมผัสหรือแรงดันภายในรอยสัมผัส V_{bi} เป็นกำแพงศักย์ที่กั้นไม่ให้อิเล็กตรอนจากแถบความนำด้านสารกึ่งตัวนำข้ามไปยังโลหะ

$$qV_{bi} = q(\phi_M - \phi_S) \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกำแพงศักย์ที่กั้นไม่ให้อิเล็กตรอนจากโลหะข้ามไปยังแถบความนำด้านสารกึ่งตัวนำ เรียกว่า “กำแพงศักย์ช็อตต์คีย์” หรือ “ช็อตคีย์แบริเออร์” ใช้สัญลักษณ์ $q\phi_B$ และช็อตคีย์แบริเออร์มีค่าเท่ากับ

$$q\phi_B = q(\phi_M - \chi) \tag{2.6}$$



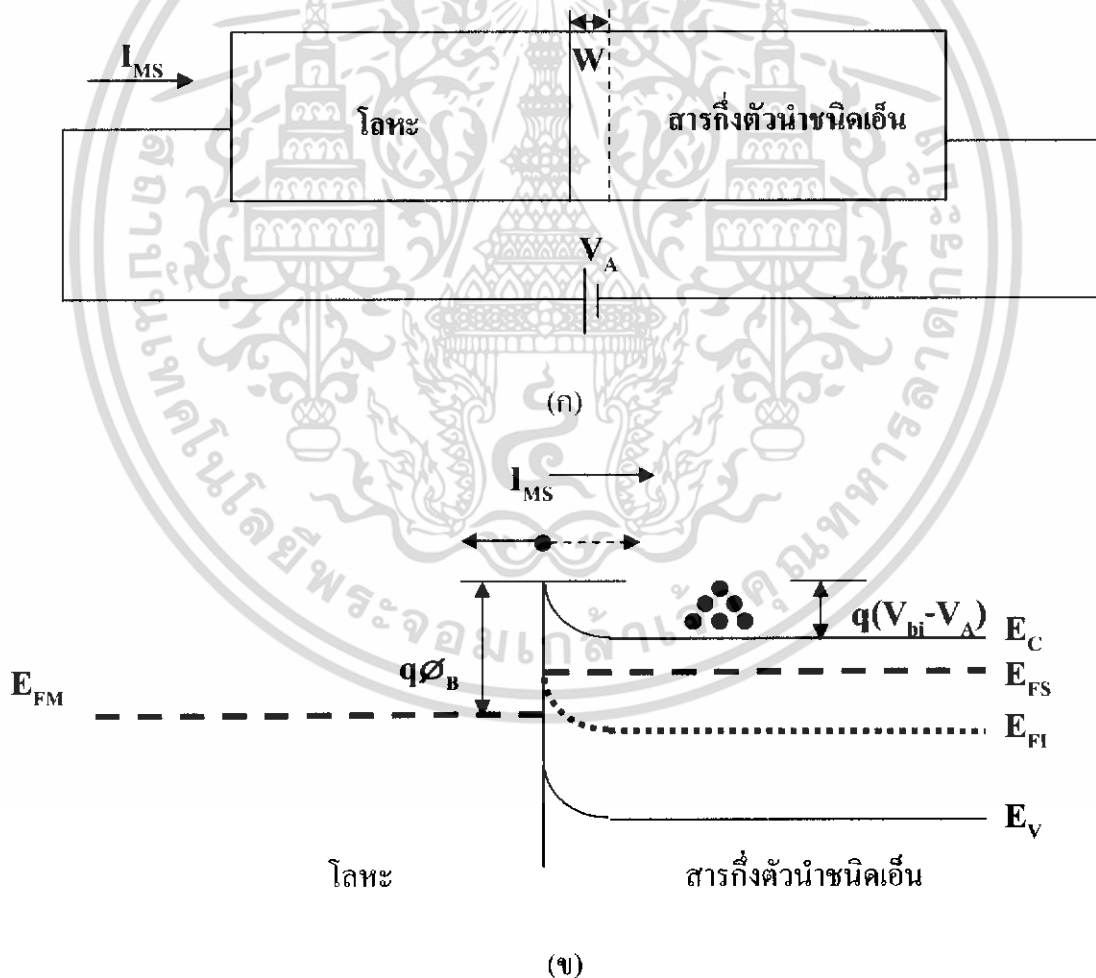
(ข)

รูปที่ 2.10 ลักษณะแถบพลังงานและระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำภายหลังจากสัมผัส
 (ก) เริ่มต้นสัมผัส
 (ข) ภายหลังสัมผัสสถานะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 คุณสมบัติรอยสัมผัสขณะได้รับไบแอสตรง

เมื่อให้แรงดันไบอัส V_A แก่รอยสัมผัสแล้ว รอยต่อสัมผัสจะไม่อยู่ในสภาวะสมดุลอีกต่อไป ถ้าให้โลหะมีศักย์เป็นบวก เมื่อเทียบกับสารกึ่งตัวนำดังรูปที่ 2.11 (ก) แล้วจะทำให้ความสูงของศักย์สัมผัส V_{bi} มีค่าลดลงเป็น $(V_{bi}-V_A)$ และระดับพลังงาน E_{FS} สูงกว่า E_{FM} ดังนั้นอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำจะสามารถข้ามรอยสัมผัสเข้าไปทางโลหะได้ เกิดเป็นกระแส I_{MS} ไหลจากด้านโลหะผ่านรอยสัมผัสเข้าไปในตัวนำ ในขณะที่เดียวกันก็มีอิเล็กตรอนจากโลหะเคลื่อนที่เข้าไปในสารกึ่งตัวนำ เกิดเป็นกระแส I_{SM} ไหลสวนทางกับกระแส I_{MS} แต่กระแส I_{SM} มีค่าน้อยมาก ดังนั้นกระแสสุทธิจึงมีค่าประมาณเท่ากับ I_{MS} ดังรูป 2.11 (ข) การไบแอสแบบนี้เรียกว่าการไบแอสตรง และกระแสที่ได้เรียกว่ากระแสไบแอสตรง I_F (forward current) ซึ่งมีค่าตามสมการที่ 2.7



รูปที่ 2.11 ก.) การให้ไบแอสตรงกับรอยต่อ

ข.) แถบพลังงานขณะได้รับไบแอสตรงและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_F \approx I_{MS} = ART^2 \exp(-q\phi_B / kT) [\exp(qV_A / kT) - 1] \quad (2.7)$$

เมื่อ

A = พื้นที่รอยสัมผัส (cm²)

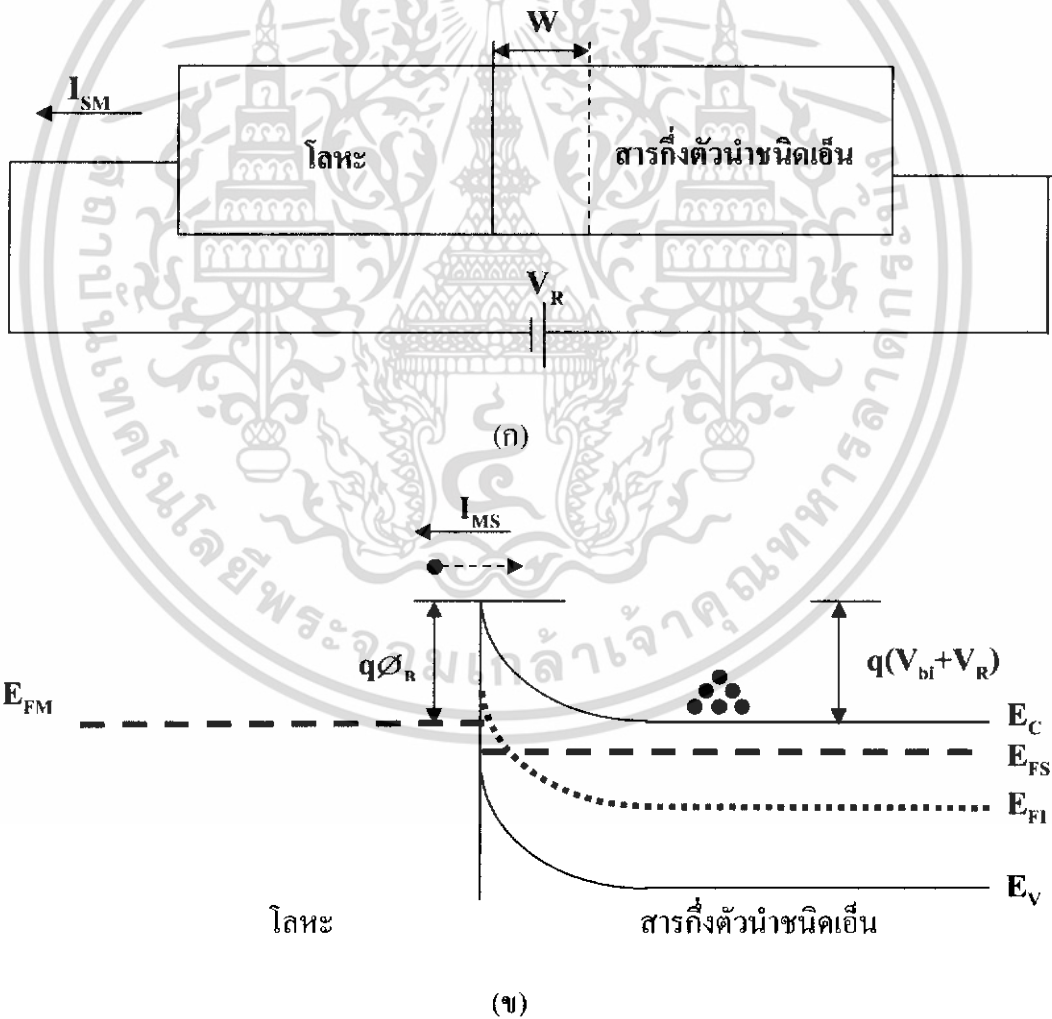
R = ค่าคงที่ริชาร์ดสันของซิลิคอน มีค่าเท่ากับ 110 A .cm⁻² .K⁻²

q = ประจุไฟฟ้าอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ 1.602 x 10⁻¹⁹ C

k = ค่าคงที่โบลต์ซมันน์มีค่าเท่ากับ 1.38 x 10⁻²³ J/K

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

2.4.4 คุณสมบัติรอยสัมผัสขณะได้รับไบแอสกลับ



รูปที่ 2.12 ก) การให้ไบแอสกลับกับรอยต่อ

ข) แถบพลังงานขณะได้รับไบแอสกลับและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

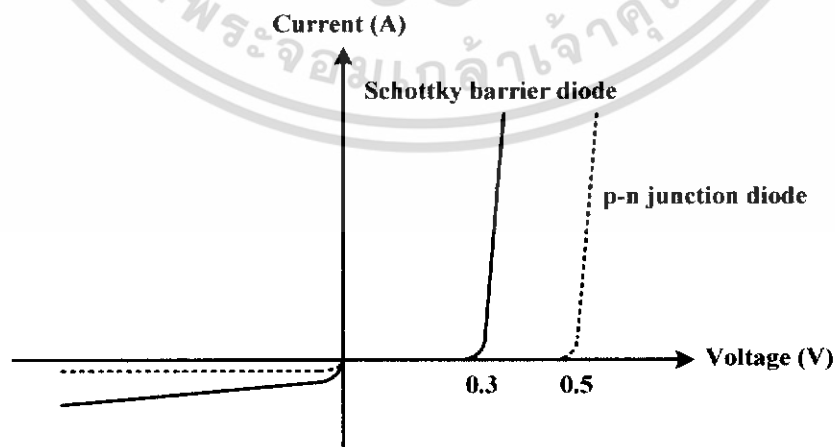
ถ้าเราให้แรงดันไบแอส V_R แก่รอยสัมผัสนี้โดยให้ศักย์ไฟฟ้าบวกกับด้านสารกึ่งตัวนำเมื่อเทียบกับด้านโลหะดังรูปที่ 2.12 (ก) กรณีนี้จะทำให้ระดับ E_{FM} อยู่สูงกว่าระดับ E_{FS} กำแพงศักย์ V_{bi} มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $(V_{bi} + V_R)$ และบริเวณปลอดพาหะจะขยายกว้างขึ้น

อิเล็กตรอนจากด้านสารกึ่งตัวนำไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปทางด้านโลหะได้ แต่จะมีอิเล็กตรอนจากด้านโลหะเคลื่อนที่ข้ามกำแพงข้อต่อศักย์เข้าไปทางด้านสารกึ่งตัวนำได้ ทำให้เกิดกระแส I_{SM} ไหลจากด้านสารกึ่งตัวนำไปยังด้านโลหะดังรูป 2.12 (ข) กระแส I_{SM} จะมีปริมาณคงที่ เท่ากับตอนสมดุลความร้อน เรียกว่ากระแสอิ่มตัวย้อนกลับ I_R (reverse saturation current) ซึ่งมีค่าตามสมการที่ 2.8

$$I_R = ART^2 \exp(-q\phi_B / KT) \quad (2.8)$$

2.4.5. ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของข้อต่อศักย์ไดโอดเปรียบเทียบกับไดโอดรอยต่อพีเอ็น

โลหะที่สัมผัสกับสารกึ่งตัวนำที่ถูกโด๊ปด้วยความเข้มข้นต่ำจนถึงปานกลางจะทำให้เกิดรอยต่อแบบเร็คติไฟร์ดังได้กล่าวมาแล้ว โดยโลหะจะทำหน้าที่เป็นบริเวณ p^+ ของรอยต่อ $p^+ - n$ กลไกการเกิดกระแสในข้อต่อศักย์ไดโอดจะแตกต่างจากไดโอดรอยต่อพีเอ็น กระแสข้อต่อศักย์ไดโอดคือกระแสการไหลของพาหะส่วนมาก ดังนั้นจะไม่เกิดปรากฏการณ์การสะสมพาหะส่วนน้อย ข้อต่อศักย์ไดโอดสามารถที่จะสวิตช์ได้เร็วกว่าไดโอดรอยต่อพีเอ็น และแรงดันนำกระแสที่แท้จริงของข้อต่อศักย์ไดโอดจะน้อยกว่าไดโอดรอยต่อพีเอ็น ส่วนกระแสอิ่มตัวย้อนกลับของข้อต่อศักย์ไดโอดจะขึ้นกับขนาดของกำแพงศักย์ข้อต่อศักย์ $q\phi_B$ ยิ่งกำแพงศักย์มีค่ามาก กระแสอิ่มตัวย้อนกลับก็จะมิต่ำน้อย



รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอดแบบ

ข้อต่อศักย์ และไดโอดแบบรอยต่อพีเอ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

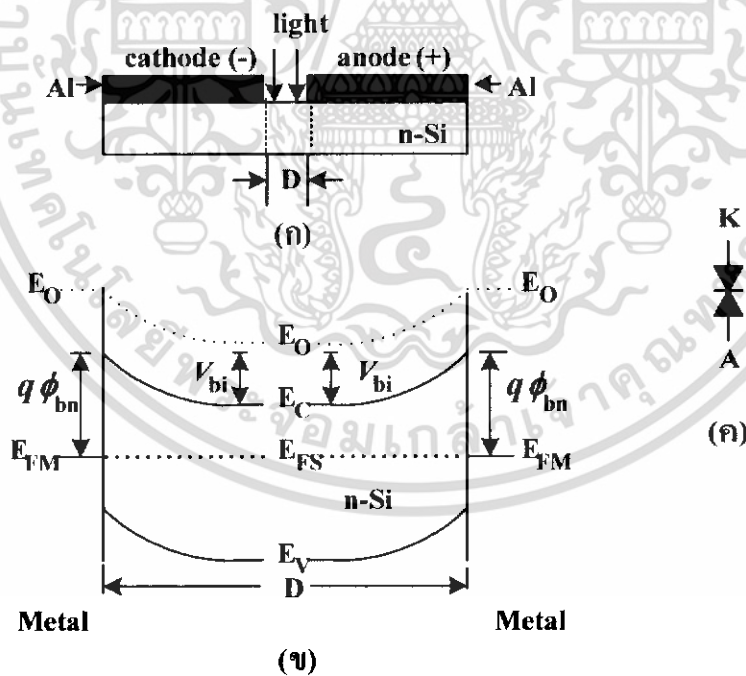
2.5 ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

ตัวตรวจวัดแสง MSM ประกอบด้วยรอยสัมผัสแบบช็อคคีร์ระหว่างโลหะอลูมิเนียมกับสารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิดเอ็นจำนวนสองรอยสัมผัส ซึ่งรอยสัมผัสทั้งคู่จะต่อแบบหันหลังชนกัน โครงสร้างและหลักการการทำงานของตัวตรวจวัดแสงชนิด MSM มีดังต่อไปนี้

2.5.1 โครงสร้างของ MSM ในสถานะสมดุลความร้อน

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ประกอบด้วยรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำสองรอยสัมผัส โดยมีระยะห่างระหว่างรอยสัมผัสทั้งสอง (D) หรือระยะห่างขั้วไฟฟ้า เป็นส่วนแยกรอยสัมผัสทั้งสองของโครงสร้าง MSM ระยะระหว่างขั้วไฟฟ้าซึ่งเป็นซิลิคอนจะทำหน้าที่เป็นส่วนรับสัญญาณทางแสงแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ก)

แถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ในสถานะสมดุลความร้อน จะเกิดบริเวณปลอดพาหะและเกิดกำแพงศักย์ขึ้นที่รอยสัมผัสทั้งสอง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของรอยสัมผัสที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีค่าที่เท่ากันเนื่องจากโครงสร้างเป็นแบบสมมาตร และใช้วัสดุชนิดเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ข) ส่วนในรูปที่ 2.14 (ค) เป็นสัญลักษณ์ของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM



รูปที่ 2.14 (ก) ภาพภาคตัดขวางของโครงสร้าง MSM

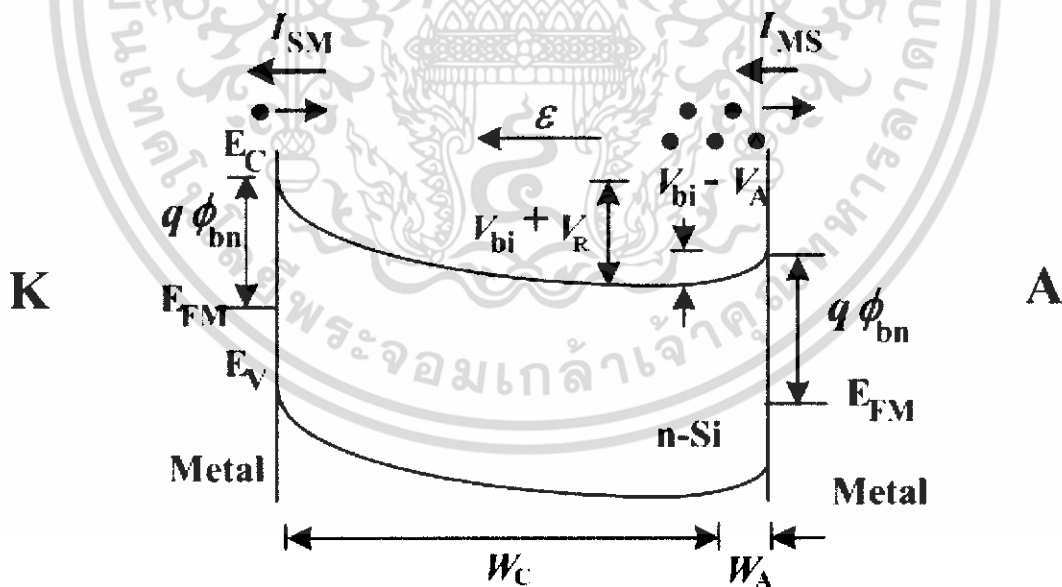
(ข) แถบพลังงานในสถานะสมดุลความร้อน

(ค) สัญลักษณ์ของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 โครงสร้าง MSM ขณะได้รับแรงดันไบแอส

โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM เมื่อได้รับการไบแอสดังแสดงในรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่าบริเวณปลอดพาหะของรอยสัมผัสแบบซีดต์คีย์แบรีเออร์ทางด้านคาโทด (W_C) มีขนาดกว้างขึ้นเนื่องจากได้รับการไบแอสย้อนกลับ ในขณะที่เดียวกันที่บริเวณปลอดพาหะทางด้านอโนด (W_A) กลับมีขนาดลดลงจากการไบแอสตรง สำหรับด้านที่ได้รับไบแอสย้อนกลับจะมีค่าของกำแพงศักย์เพิ่มขึ้นเท่ากับ $V_{bi} + V_R$ ดังนั้นอิเล็กตรอนจากทางด้านสารกึ่งตัวนำจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปยังด้านโลหะได้ จะมีเพียงอิเล็กตรอนจากทางด้านโลหะที่สามารถเคลื่อนที่ข้ามกำแพงศักย์เข้าไปในด้านที่เป็นสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ามีทิศทางที่ไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังด้านโลหะ (I_{SM}) ส่วนด้านที่ได้รับการไบแอสตรงจะมีค่าของกำแพงศักย์ลดลงเท่ากับ $V_{bi} - V_A$ ดังนั้นอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปทางด้านโลหะได้ และทำให้มีกระแสไฟฟ้า (I_{MS}) ไหลจากด้านโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำ แต่เนื่องจากมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากทางด้านคาโทดเข้ามาที่สารกึ่งตัวนำมีปริมาณน้อยอยู่แล้วจึงทำให้กระแสนี้มีค่าน้อยตามไปด้วย ซึ่งก็คือ กระแสรั่วไหลหรือกระแสมืด (dark current) ของ โครงสร้าง MSM



รูปที่ 2.15 แถบพลังงานภายหลังจากได้รับแรงดันไบแอส

2.5.3 ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะขณะได้รับแรงดันไบแอส

ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะรวม (W_T) ของโครงสร้าง MSM เป็นผลรวมของบริเวณปลอดพาหะทางด้านคาโทด (W_C) ที่ได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ และบริเวณปลอดพาหะทางด้านอโนด (W_A) ที่ได้รับแรงดันไบแอสตรง ดังสมการที่ 2.9

$$W_T = W_C + W_A \quad (2.9)$$

โดยที่

$$W_C = \sqrt{\frac{2\epsilon_S(V_{bi} + V_R)}{qN_D}} \quad (2.10)$$

$$W_A = \sqrt{\frac{2\epsilon_S(V_{bi} - V_A)}{qN_D}} \quad (2.11)$$

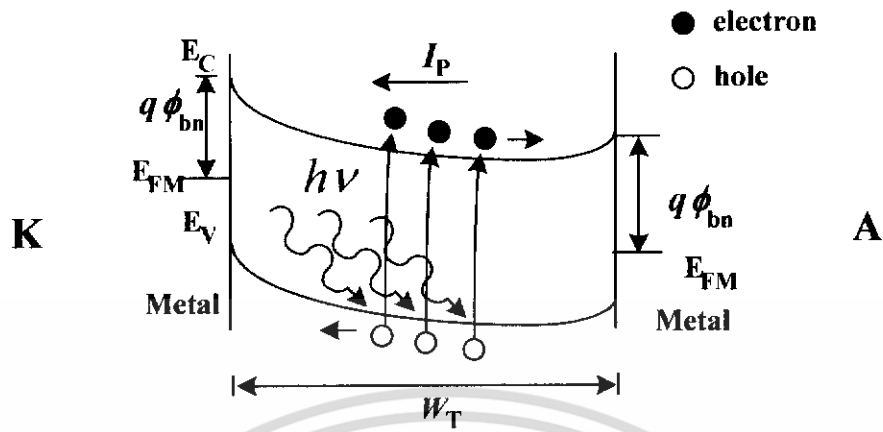
2.5.4 โครงสร้าง MSM ขณะได้รับแสงตกกระทบ

เมื่อโครงสร้าง MSM ได้รับแสงแล้ว จะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล โดยที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าไปยังขั้วอโนด ส่วนโฮลจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับสนามไฟฟ้าไปยังขั้วคาโทด ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลออกไปภายนอกอุปกรณ์ โดยกระแสแสง (I_p) ของโครงสร้าง MSM มีค่าดังสมการที่ (2.12)

$$I_p = I_{mea} - I_{dark} \quad (2.12)$$

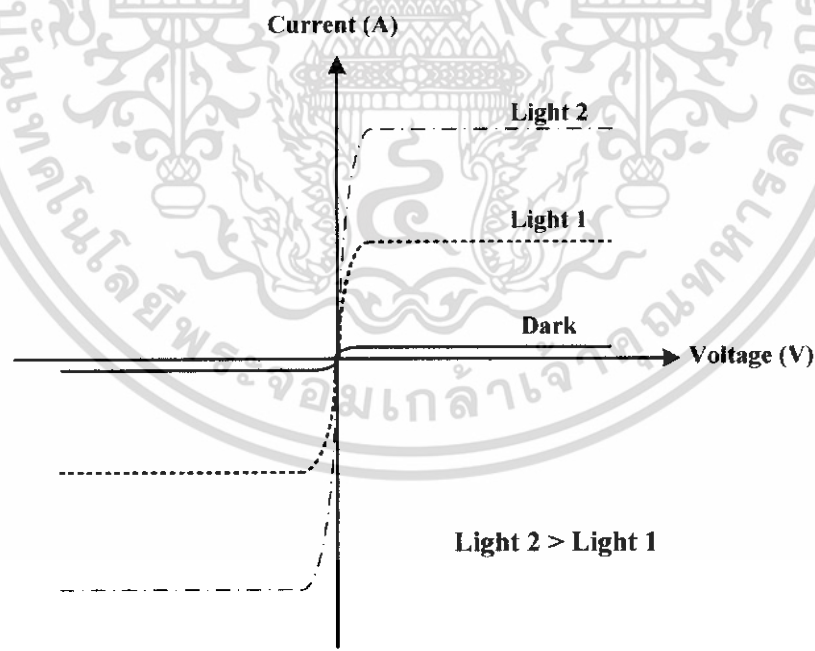
โดยที่ I_{mea} คือ กระแสที่ได้จากการวัด

I_{dark} คือ กระแสรั่วไหลหรือกระแสมืดของ MSM



รูปที่ 2.16 แถบพลังงานภายหลังจากที่ได้รับแรงดันไบแอสและมีแสงตกกระทบบ

ในรูปที่ 2.17 เป็นลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของ MSM ที่ได้รับแสงตกกระทบบนช่องรับแสงของโครงสร้าง MSM แบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำหันหลังชนกัน ทำให้ลักษณะสมบัติของ MSM มีความสมมาตรกันทั้งด้านที่ได้รับ ไบแอสตรงและด้านที่ได้รับ ไบแอสย้อนกลับ ซึ่งกระแสจะมีค่ามากขึ้นเมื่อให้แสงตกกระทบบมีความเข้มแสงมากขึ้น



รูปที่ 2.17 ลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันของ MSM เมื่อได้รับแสงตกกระทบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ (application) ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับ Visual Basic, Visual C++ แต่จะเป็นการเขียนโปรแกรมโดยใช้รูปในการพัฒนา (graphical-based programming) ซึ่งจะแตกต่างจากแนวคิดโปรแกรมที่ใช้ตัวอักษรในการพัฒนา (text-based programming) เช่น text-based จะทำงานจากบนลงล่าง แต่ LabVIEW จะทำงานแบบดาตาโฟลว์ (dataflow)

LabVIEW สามารถเขียนเป็นสมการต่างๆ ที่ซับซ้อนได้เหมือนโปรแกรมที่ใช้ตัวอักษร เช่น ภาษา C โดยใช้ฟอmula โหนด (formula node) และ LabVIEW การทำงานจะเน้นทางการติดต่อกับเครื่องมือหรือ ทรานสดิวเซอร์ (transducer) ที่ใช้วัดสัญญาณทางกายภาพต่างๆ และนอกจากนั้นสามารถนำประโยชน์จากคอมพิวเตอร์เทคโนโลยี และเน็ตเวิร์คเทคโนโลยี มาประยุกต์ใช้งาน เช่น เก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล (database) หรือส่งผ่านข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ทำให้ในหลายอุตสาหกรรมได้นำเอา LabVIEW มาประยุกต์ใช้กับงานวัดควบคุมและอัตโนมัติ (automation)

ระยะแรกผู้ใช้อาจจะไม่คุ้นเคยกับโปรแกรมแบบรูปภาพ (graphical-based) แต่เมื่อคุ้นเคยกับการพัฒนาแอปพลิเคชัน (application) แบบรูปภาพแล้วจะรู้สึกด้วยตัวเองว่า เป็นการพัฒนาแอปพลิเคชันที่รวดเร็ว ถึงแม้ว่าการเขียนโปรแกรมโดยใช้ LabVIEW จะเข้าใจง่าย อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้โปรแกรม LabVIEW ต้องมีการเรียนรู้ถึงวิธีการเขียนเช่นเดียวกับภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมอื่นๆ จึงจะสามารถพัฒนาแอปพลิเคชัน ได้เร็วและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นพื้นฐานการเขียนโปรแกรม LabVIEW จึงเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าไม่รู้พื้นฐานที่ดีตั้งแต่ตอนแรกจะทำให้เสียเวลามาก

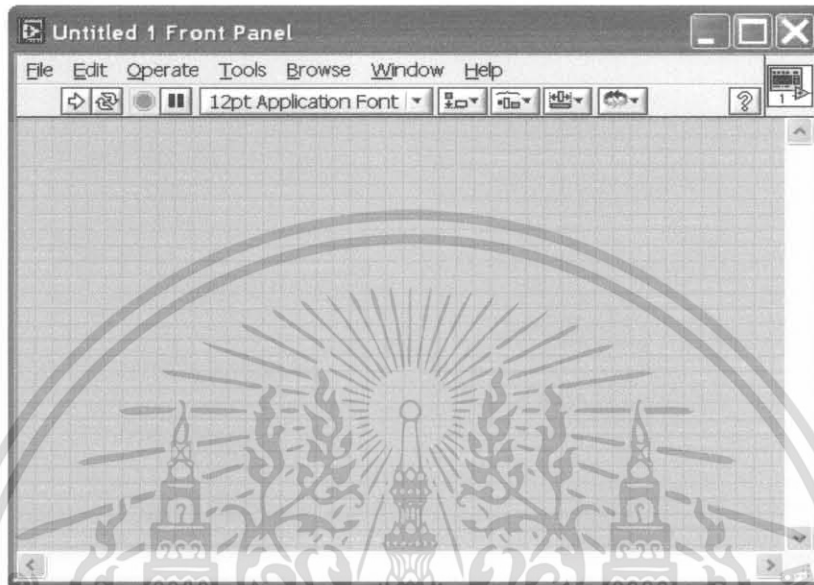
3.1 ความเป็นมาของ LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก laboratory visual instrument engineering workbench โปรแกรมที่พัฒนาโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่าเวอร์ชวลอินสตรูเมนต์ (virtual instrument) หรือเรียกย่อๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน

LabVIEW จะมีฟรอนต์พาเนล (front panel) ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงาน ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นเองได้อย่างรวดเร็วเพราะ LabVIEW มีส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้สำหรับออกแบบหน้าจอมากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่มหมุน (dial), และ สวิตช์ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทาง คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.1 ฟรอนท์พาด้านของโปรแกรม LabVIEW

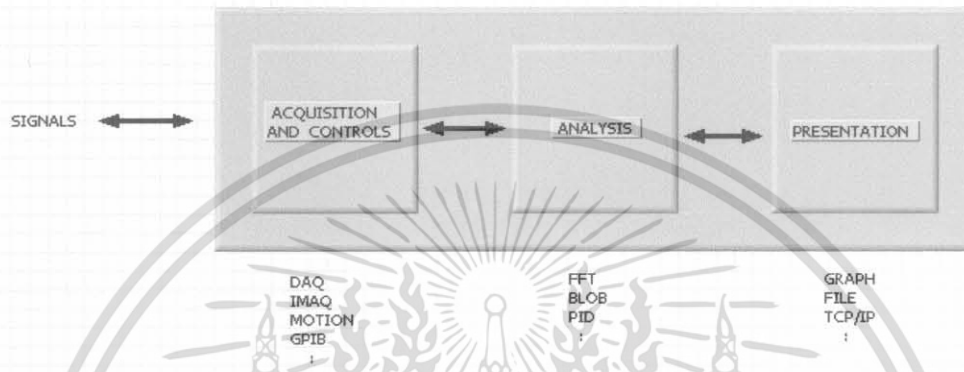
พื้นที่ส่วนที่เขียน โปรแกรมเรียกว่าบล็อกไดอะแกรมเปรียบเสมือนกับฮาร์ดแวร์ภายใน เครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabVIEW อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุม ทำให้ผู้ใช้สามารถ ออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

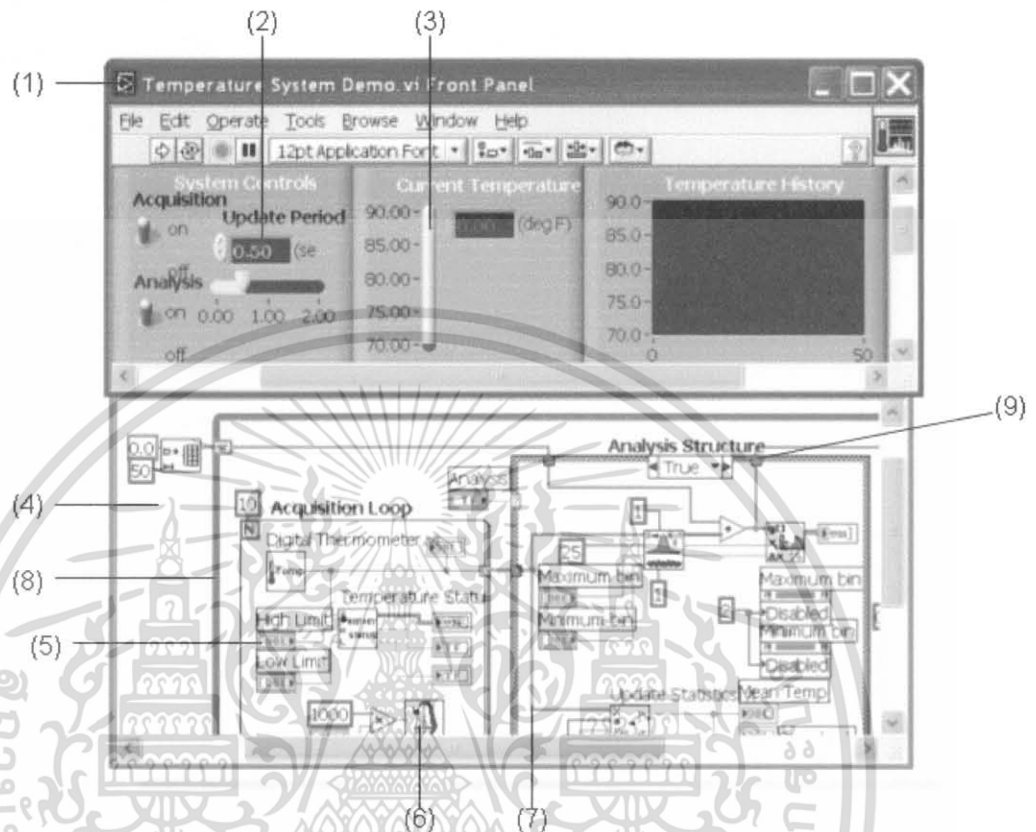


รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบหลักในการควบคุมเครื่องมือวัดผ่านโปรแกรม LabVIEW

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป), การ์ด GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)
2. หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสิ่งที่วัดได้และใช้งานได้
3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานโดยอาจแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (digital multimeter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลา (spectrum analyzer) จะแสดงสัญญาณในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนประกอบต่างๆใน LabVIEW



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบต่างๆใน LabVIEW

อธิบายจากรูปที่ 3.4 (ตามหมายเลข)

- (1) ฟรอนท์พैनล คือส่วนที่จะติดต่อกับผู้ใช้งาน (user interface) ซึ่งส่วนนี้จะประกอบด้วย คอนโทรล (control) หรืออินพุท (รับข้อมูลจากผู้ใช้) และอินดิเคเตอร์ (indicator) หรือ เอาท์พุท (แสดงผลให้ผู้ใช้เห็น)
- (2) คอนโทรล คือสิ่งที่ผู้ใช้งานจะป้อนค่าหรือเปลี่ยนค่าได้ ซึ่งก็คืออินพุทเข้าสู่ระบบในรูปแบบเมอริคคอนโทรล (numeric control)
- (3) อินดิเคเตอร์ เป็นสิ่งที่โปรแกรมแสดงผลออกมาให้ผู้ใช้งานเห็น ซึ่งก็คือเอาท์พุท ที่ออกมาจากระบบหรือแอปพลิเคชัน ที่เราพัฒนา ในรูปเป็นตัวอย่างของนัมเมอริคอินดิเคเตอร์ (numeric indicator)
- (4) บล็อกโคดอะแกรม คือส่วนที่ผู้พัฒนาใช้ในการเขียนโปรแกรม หรือส่วนของซอร์ซโคด (source code)

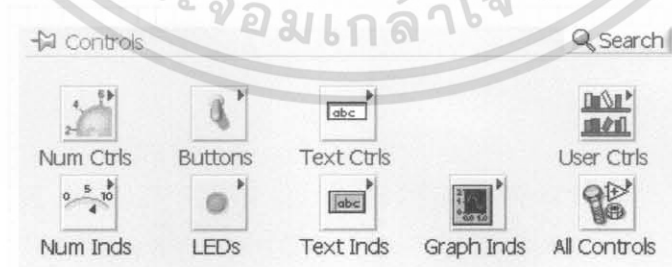
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (5) เทอร์มินอล (Terminal) จะมีสองรูปแบบ คือ จุดกำเนิด(source) หรือ เอาท์พุทเทอร์มินอล (output terminal) และจุดรับ (sink) หรืออินพุทเทอร์มินอล (input terminal)
- (6) ไอคอน (Icon) คือ ส่วนที่มีการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งเมื่อโปรแกรมทำงาน เช่น ฟังก์ชันซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่มีอยู่แล้วใน LabVIEW ได้แก่ แอด (add) , ซบัสแทรก (subtract) หรือ SubVIs ซึ่งจะหมายถึง VI ที่ถูกเรียกอ่านจากอีก VI หนึ่ง
- (7) สายไวร์ (wires) คือ เส้นทางของข้อมูลที่ส่งผ่านจุดกำเนิดข้อมูล (source) ไปจุดรับข้อมูล/จุดสิ้นสุด (sink)
- (8) สตรักเจอร์ (Structures) คือ ส่วนที่ควบคุมขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เช่น ไวลูป (while loop)
- (9) โหนด (nodes) คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างข้อมูลกับ SubVI , ฟังก์ชัน หรือ สตรักเจอร์

3.3 เครื่องมือในการออกแบบ VI

3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบฟรอนท์พาแนล

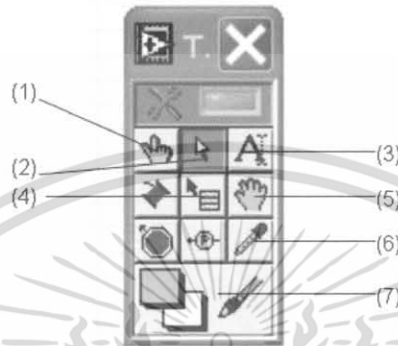
เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบฟรอนท์พาแนล จะใช้ คอนโทรลพาเลต (control palette) และ ทูลพาเลต (tools palette) LabVIEW มีคอนโทรลพาเลตที่ใช้ในการออกแบบฟรอนท์พาแนล ซึ่งเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (user interface) โดยจะจัดเป็นกลุ่มต่างๆ เช่น กลุ่มของตัวเลข (numeric) ซึ่งภายในกลุ่มจะมีคอนโทรลและ อินดิเคเตอร์ ต่างๆ ที่เกี่ยวกับตัวเลข



รูปที่ 3.5 คอนโทรลพาเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทูลแพเลต คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งจะใช้ทั้งการออกแบบ ฟรอนท์พาแนลและบล็อกลโคอะแกรม ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทูลแพเลต สำหรับการออกแบบฟรอนท์พาแนล วิธีเปิดทูลแพเลต ทำได้โดยคลิกที่ window >> show tools palette



รูปที่ 3.6 ทูลแพเลต สำหรับฟรอนท์พาแนล

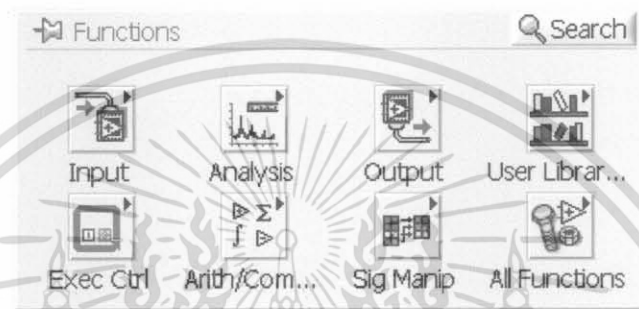
เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบฟรอนท์พาแนล

- (1) Operate value tool ใช้เปลี่ยนแปลงค่าของคอนโทรลหรืออินดิเคเตอร์
- (2) Position/size/select tool ใช้สำหรับเลือก จัดวางตำแหน่งใหม่หรือการปรับขนาดของคอนโทรลหรืออินดิเคเตอร์
- (3) Edit text tool ใช้ในการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษรหรือเพิ่มข้อความลงบนฟรอนท์พาแนล
- (4) Object shortcut menu tool ใช้สำหรับแสดงและเลือกเมนูที่เกี่ยวข้องกับสิ่งต่างๆ บนฟรอนท์พาแนลและบล็อกลโคอะแกรม
- (5) Scroll window tool ใช้สำหรับการเลื่อนทั้งฟรอนท์พาแนลและบล็อกลโคอะแกรม
- (6) Get color เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคัดลอกสีที่เราเลือกจากวัตถุหนึ่งเพื่อที่จะนำไปใช้ในการเปลี่ยนสีของอีกวัตถุหนึ่งให้สีเหมือนกับวัตถุที่เราคัดลอกสีมาโดยใช้คัลเลอร์ทูล (color tool)
- (7) Set color tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสีของสิ่งของที่เราต้องการเปลี่ยนสี ซึ่งสามารถเปลี่ยนสีได้ทั้งสีด้านบนและสีพื้นของสิ่งใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

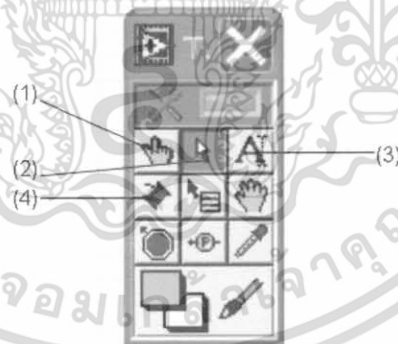
3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมบนบล็อกไดอะแกรม

LabVIEW ใช้ฟังก์ชันพาเลต (function palette) ซึ่งจะมีฟังก์ชันและ SubVI ต่างๆ ที่มีอยู่แล้วให้ผู้ใช้เลือกใช้ โดยฟังก์ชันและ SubVI จัดเป็นกลุ่มๆ เช่น นัมเมอริกฟังก์ชันจะมีฟังก์ชันต่างๆ เกี่ยวกับตัวเลข เช่น บวก ลบ คูณ หาร



รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันพาเลต

ทูลพาเลตที่ใช้ในการออกแบบ โปรแกรมบน บล็อกไดอะแกรม



รูปที่ 3.8 ทูลพาเลตสำหรับบล็อกไดอะแกรม

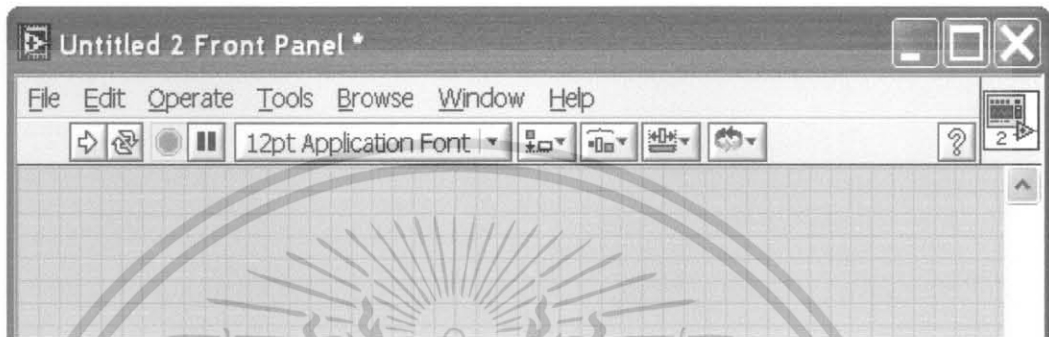
- (1) Operating tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าหรือเลือกค่าคงที่ในบล็อกไดอะแกรม
- (2) Position / size / select ใช้ในการเลือก / เคลื่อนย้าย / จัดขนาดของสิ่งที่สร้างขึ้นบนบล็อกไดอะแกรม
- (3) Edit text tool ใช้ในการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษร หรือเพิ่มข้อความลงบน

ฟรอนท์พาเนล













เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (4) Wiring tool ใช้ในการโยงสายระหว่างเทอร์มินอลหรือโหนด ซึ่งสายที่โยงนี้จะ
เป็นทางเดินของข้อมูล

3.3.3 เครื่องมือบนฟรอนท์พาแนล

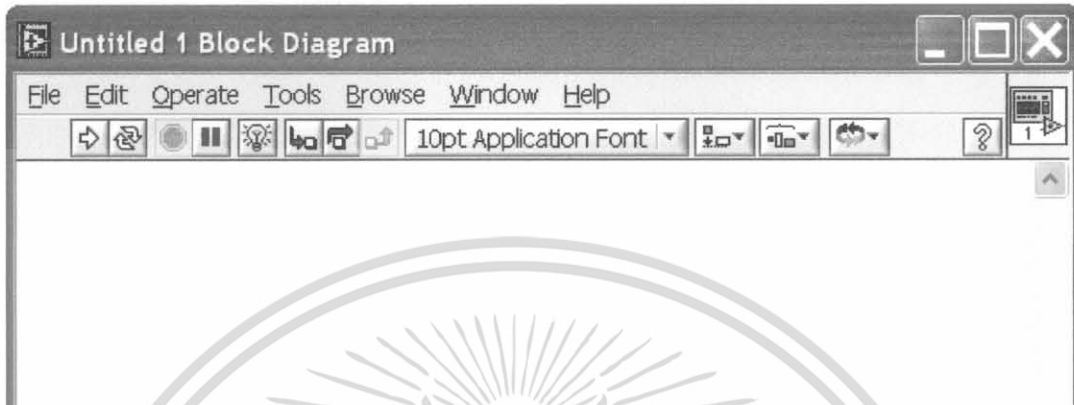


รูปที่ 3.9 เครื่องมือบนฟรอนท์พาแนล

-  โปรแกรมสามารถรันได้เมื่อคลิกปุ่มนี้บนทูลบาร์ (toolbar)
-  โปรแกรมกำลังรันอยู่
-  โปรแกรมมีข้อผิดพลาดถ้าคลิกจะแสดงรายการผิดพลาด (error list)
-  โปรแกรมสามารถรันแบบต่อเนื่อง เมื่อคลิกปุ่มนี้
-  กำลังรันอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งคลิกปุ่ม stop/pause
-  เมื่อ โปรแกรมกำลังรันอยู่สามารถหยุดการทำงานของโปรแกรมเมื่อคลิกปุ่มนี้
-  หยุดชั่วคราว เพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม ซึ่งสามารถรันต่อไปได้เมื่อคลิกปุ่ม หรือกดปุ่มอีกครั้ง
-  12pt Application Font เลือกหรือแก้ไขรูปแบบอักษรที่ต้องการ
-  จัดแนวของสิ่งต่างๆ
-  จัดระยะทางระหว่างสิ่งต่างๆ
-  ปรับขนาดสิ่งต่างๆที่อยู่บนฟรอนท์พาแนลหลายๆ สิ่งซ้อนกัน
-  จัดลำดับของวัตถุ (objects) ที่วางซ้อนกัน
-  แสดงคำอธิบาย (context help)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 เครื่องมือบนบล็อกไดอะแกรม



รูปที่ 3.10 เครื่องมือบนบล็อกไดอะแกรม

สิ่งที่เพิ่มเติมจาก เครื่องมือบนพรอนท์พาเนลในส่วนของบล็อกไดอะแกรมมีดังต่อไปนี้



Highlight execution เมื่อคลิกแล้ว ในการรันโปรแกรมจะทำให้โปรแกรมรันช้าลง เพื่อให้เราเห็นถึงการไหลของข้อมูล และการทำงานของโปรแกรม



เมื่อคลิก แล้วจะออกจากโหมดที่โปรแกรมรันช้า



เป็นการรันโปรแกรมแบบทีละคำสั่ง และจะลงไปถึงคำสั่งของ SubVI



เป็นการรันโปรแกรมแบบทีละคำสั่งแต่จะไม่ลงไปถึงคำสั่ง SubVI



ให้รันจนออกจากลูป (loop) และ SubVI

3.4 การพัฒนาโปรแกรม

ก่อนที่จะพัฒนาโปรแกรมควรรู้จักหลักการการทำงานของโปรแกรมในรูปแบบ ดาตาโฟลว์ และรูปแบบข้อมูล (data type) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 หลักการทำงานของ Dataflow programming

โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วย LabVIEW จะทำงานโดยอาศัยหลักการของคาตาโพล์ว ซึ่งมีหลักการดังต่อไปนี้ คือ

1. ฟังก์ชันหรือ SubVI จะทำงานเมื่อมีข้อมูล (input)
2. เมื่อฟังก์ชันทำงานเสร็จจะให้ข้อมูล (output) ไปยังฟังก์ชันอื่นๆ ที่ต้องการข้อมูล
3. ข้อมูลจะถูกส่งผ่านโดยสาย (wire)

3.4.2 ประเภทของข้อมูล (Data type)

เช่นเดียวกันกับภาษาโปรแกรมอื่นๆ เช่นภาษา C ที่มีประเภทของข้อมูล ประเภทของข้อมูลใน LabVIEW ที่สำคัญจะประกอบด้วย นัมเมอริก, บูลีน, สตริงและเวฟฟอร์ม (waveform) ซึ่งแต่ละรูปแบบของประเภทข้อมูลจะมีการแยกสีให้แตกต่างกัน (color code) ซึ่งแต่ละประเภทของข้อมูลจะมีฟังก์ชันที่แยกตามประเภทกัน รวมทั้งสีของ (wiring) จะขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูล

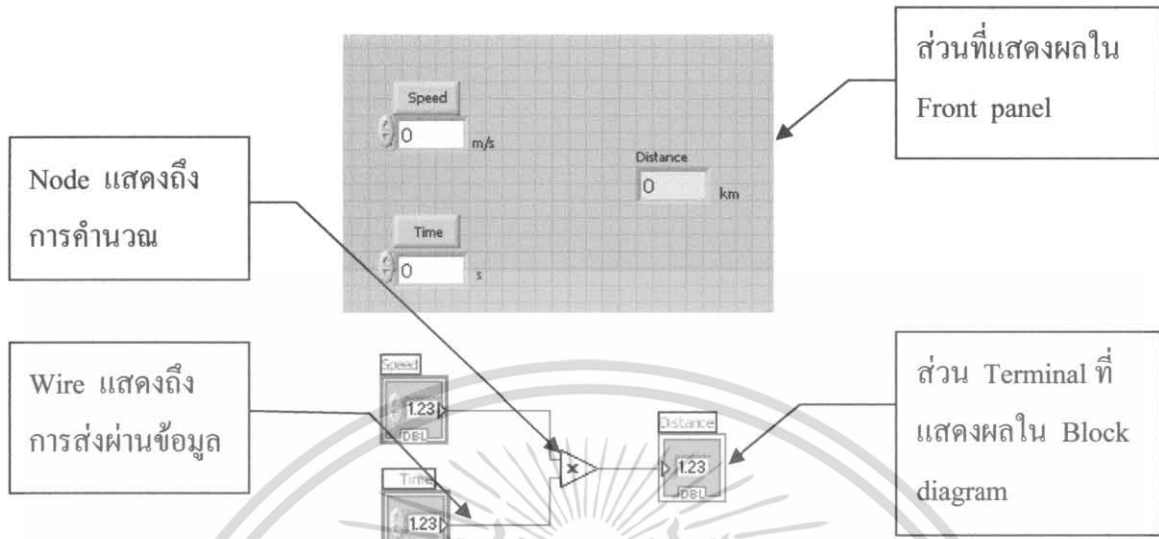
ประเภทของข้อมูลมีความสำคัญในการเขียนโปรแกรมเพราะฟังก์ชันหรือ SubVI รับรูปแบบอินพุตและให้เอาต์พุตแตกต่างกันไป เช่น ฟังก์ชันคูณรับข้อมูลประเภทตัวเลขหรืออาร์เรย์ (array) ของตัวเลข ซึ่งถ้านำเอาข้อมูลประเภทตัวอักษร (string data type) มาป้อนที่ด้านอินพุตเทอร์มินอล แล้ว LabVIEW จะแสดงเป็นเส้นประ ซึ่งเราสามารถดูอธิบายได้โดยการเลื่อน เคอร์เซอร์ (cursor) ไปเหนือเส้นประนั้น หรือคลิกที่ปุ่มรันเพื่อให้แสดงรายการผิดพลาด

หลังจากที่เราทำการออกแบบและสร้าง ฟรอนท์พาแนล เสร็จเรียบร้อยแล้วเราสามารถสร้าง Programming code ที่ใช้ควบคุมการทำงานของ ฟรอนท์พาแนล ได้โดยเขียนโปรแกรมในบล็อกโคอะแกรม โดยที่ Object (เฉพาะ controls และ indicators) ใดๆที่เราวางไว้ในฟรอนท์พาแนลจะเป็นสิ่งที่เรียกว่า เทอร์มินอล (terminal) ใน บล็อกโคอะแกรม



เทอร์มินอล จะแทนชนิดของข้อมูลของ Control object ใน ฟรอนท์พาแนล อีกทั้งยังเป็นจุดแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง User interface object (อย่างเช่นปุ่มกด) เข้าสู่การทำงานของโปรแกรม สัญลักษณ์ DBL ที่เห็นได้เทอร์มินอล แสดงถึงว่าข้อมูลที่ได้จาก Object นี้จะเป็นแบบ Double precision , floating point numeric

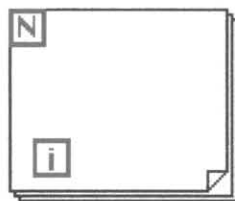
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อของภาพในบล็อกโคอะแกรม แสดงถึงการโปรแกรมแบบ GPL เพื่อคำนวณและแสดงผลจากค่าที่วัดได้

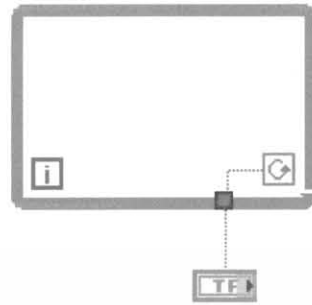
รูปที่ 3.11 แสดงการเชื่อมต่อของข้อมูลระหว่างฟรอนท์พาเนลและบล็อกโคอะแกรมจากภาพข้อมูลของ Speed และ Time จะเป็นข้อมูลอินพุต จาก User เข้ามาจากฟรอนท์พาเนลโดยมีเทอร์มินอล Speed และ Time เป็นจุดส่งผ่านข้อมูลข้อมูลจะถูกค่าโดยสิ่งที่เรียกว่า Wire ซึ่งสีและลักษณะของ Wire จะเป็นตัวบ่งชี้ชนิดของข้อมูล ข้อมูลจะถูกค่าโดยสิ่งที่เรียกว่า Node ซึ่งจะเป็นส่วนประมวลผลข้อมูล ซึ่งในที่นี้จะทำการคูณกัน ข้อมูลที่ได้จาก Node จะถูกส่งผ่านไปยังเทอร์มินอลที่ใช้แสดงค่า Distance ในฟรอนท์พาเนลอีกที

การทำงานของโปรแกรมข้างต้นจะเป็นการทำงานครั้งเดียวหลังจากสั่งให้โปรแกรมทำงานแล้ว ซึ่งในการเขียนโปรแกรมการทำงานจริงๆ แล้ว เราอาจต้องทำงานซ้ำๆ กัน หรือมีโครงสร้างการทำงานที่ซับซ้อนกว่านี้ ซึ่งการควบคุมการทำงานต่างๆ เหล่านี้จะมีหลักการคล้ายๆ กับ Text based programming

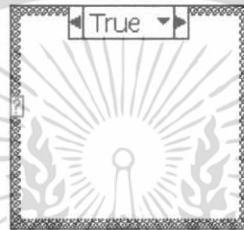


(a) For-Loop structure

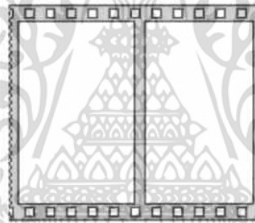
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



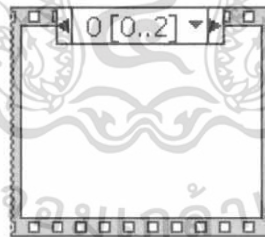
(b) While-Loop structure



(c) Case structure



(d) Flat sequence structure
































(e) Stacked sequence structure

รูปที่ 3.12 ลักษณะของ Structure ต่างๆ ในโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน of โปรแกรมที่เขียนขึ้น











รูปที่ 3.12 จะเป็นลักษณะของ Structure ที่ใช้ควบคุมการทำงาน of โปรแกรม โดยรูปที่ (a) เป็น For-Loop ซึ่งส่วนของโปรแกรมที่อยู่ภายใน กรอบ For-Loop จะทำงานซ้ำกันจนครบจำนวน N ครั้งที่ตั้งไว้ (b) เป็นลักษณะของ While-Loop โดยส่วนของโปรแกรมที่อยู่ภายใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรอบ While-Loop จะทำงานซ้ำๆ กันไปเรื่อยๆ จนกว่า Logic ที่ใช้ควบคุมจะเป็นเท็จ (c) เป็นลักษณะของ Case structure โดยส่วนของโปรแกรมที่อยู่ภายในกรอบของ Case structure จะเกิดขึ้นต่อเมื่อ Logic ที่ใช้ควบคุมจะเป็นจริงส่วน (d)-(e) เป็นลักษณะของ Sequence structure ซึ่งส่วนของโปรแกรมที่อยู่ภายในกรอบของ Sequence structure จะทำงานเป็นขั้นๆ เหมือน film ภาพยนตร์

ตารางต่อไปนี้จะแสดงถึงสัญลักษณ์ ที่ใช้แทนชนิดของข้อมูลในโปรแกรม LabVIEW

Control	Indicator	Data Type	Color	Default Values
		Single-precision floating-point numeric	Orange	0.0
		Double-precision floating-point numeric	Orange	0.0
		Extended-precision floating-point numeric	Orange	0.0
		Complex single-precision floating-point numeric	Orange	0.0 + i0.0
		Complex double-precision floating-point numeric	Orange	0.0 + i0.0
		Complex extended-precision floating-point numeric	Orange	0.0 + i0.0
		8-bit signed Integer numeric	Blue	0
		16-bit signed Integer numeric	Blue	0
		32-bit signed Integer numeric	Blue	0
		8-bit unsigned Integer numeric	Blue	0
		16-bit unsigned Integer numeric	Blue	0
		32-bit unsigned Integer numeric	Blue	0
		<64.64>-bit time stamp	Brown	Date and time (local)
		Enumerated type	Blue	-
		Boolean	Green	FALSE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control	Indicator	Data Type	Color	Default Values
		String	Pink	Empty string
		Array-Encloses the data type of its elements in square brackets and takes the color of that data type.	Varies	-
 	 	Cluster-Encloses several data type. Cluster data types are brown if all elements of the cluster are numeric or pink if the elements of the cluster are different types.	Brown or Pink	-
		Path	Aqua	<Not A Path>

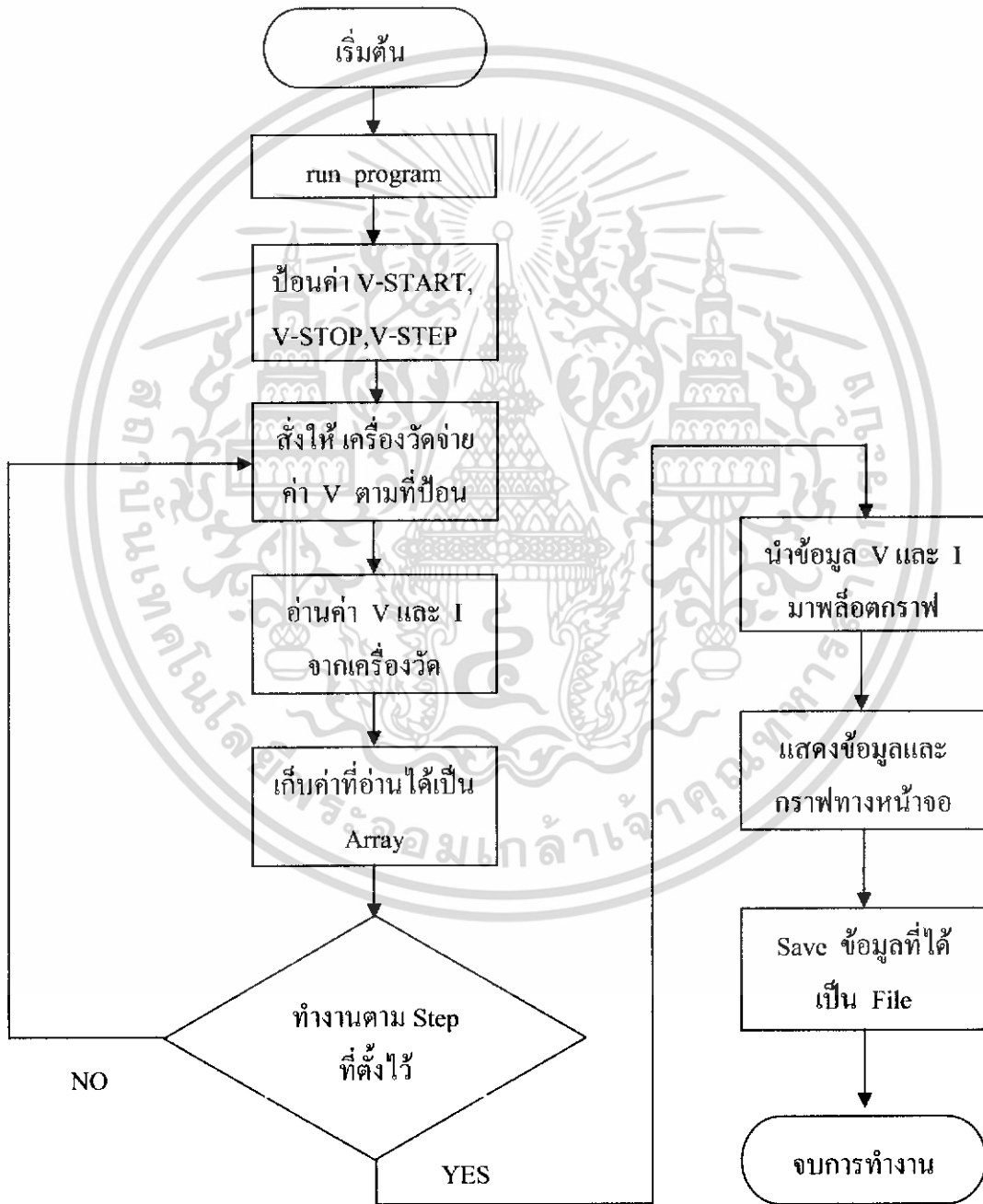
รูปที่ 3.13 ชนิดของข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การเขียนโปรแกรมและการเตรียมชิ้นงาน

4.1 การเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของตัวตรวจวัดแสง



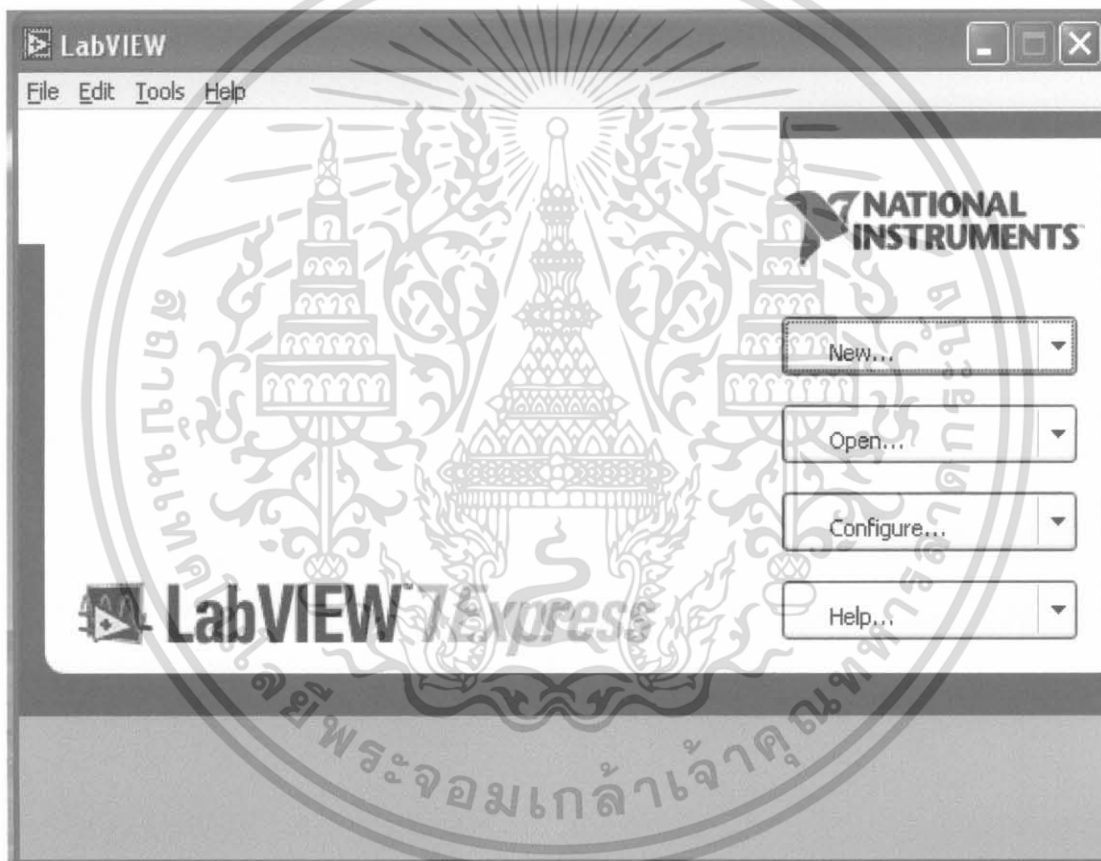
รูปที่ 4.1 บล็อกโคอะแกรมการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากได้รู้จักเครื่องมือที่จะใช้ในการออกแบบโปรแกรมแล้วจากบทที่ 3 ต่อไปจะได้ทำการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ ซึ่งการทำงานหลักๆ ของโปรแกรมคือ ติดต่อกับเครื่องวัด source - meter Keithley 2400 series ให้ทำการจ่ายแรงดันและวัดกระแสของตัวทรานซิสเตอร์ที่แรงดันค่าต่างๆ โดยควบคุมแรงดันและจำกัดค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์ พร้อมทั้งแสดงตารางข้อมูลและกราฟ สามารถแสดงขั้นตอนต่างๆ ได้ดังรูปที่ 4.1

4.1.1 การเข้าโปรแกรม LabVIEW เพื่อเริ่มเขียนโปรแกรม

1. START >> PROGRAM >> LABVIEW จะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 หน้าต่างเมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW

2. Click ที่ new... เพื่อสร้างโปรแกรมใหม่
3. Click ที่ blank VI และ click OK... เพื่อสร้าง VI ใหม่โดยไม่ต้องอาศัยโครงสร้างโปรแกรม

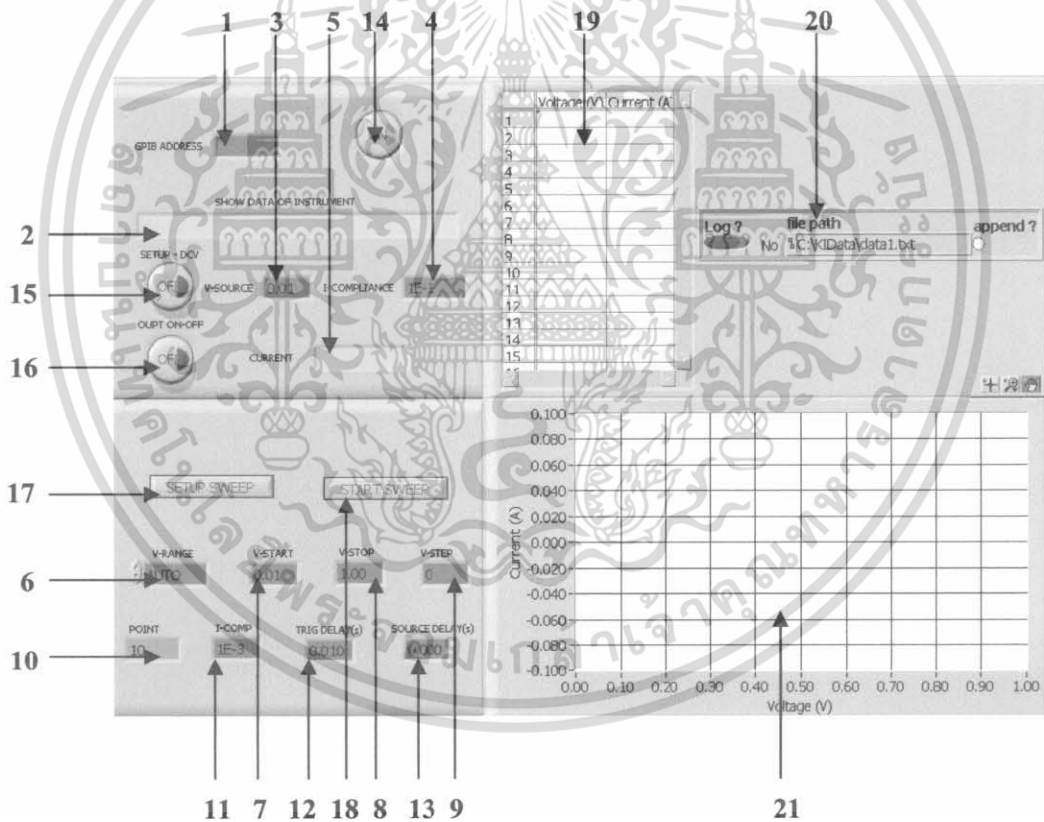
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อได้ front panel แล้ว click ที่เมนู window >> show block diagram เพื่อที่จะแสดง block diagram ซึ่งเป็นพื้นที่ในการเขียน โปรแกรม

5. กลับไปที่ front panel click ที่เมนู window >> show tools palette เพื่อที่จะแสดง tools palette ซึ่งเป็นเครื่องมือในการช่วยเขียน โปรแกรม เมื่อได้ tools palette แล้วให้ click automatic tool selection เพื่อที่จะออกแบบ front panel โดยที่เครื่องมือการออกแบบจะเปลี่ยนให้โดยอัตโนมัติ

4.1.2 การเขียนโปรแกรม

จากการทำงานหลักๆของ โปรแกรมจะทำให้เราทราบว่าบน ฟรอนท์พาเนล จะต้องมียะไร อยู่บ้าง สำหรับ โปรแกรมที่ออกแบบมาบน ฟรอนท์พาเนล จะประกอบไปด้วยเครื่องมือต่างๆ ดัง รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ฟรอนท์พาเนล ของ โปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบแล้ว

อธิบายจากรูปที่ 4.3 (ตามหมายเลข)

(1) GPIB ADDRESS เป็น string control ทำหน้าที่กำหนดค่า address ของ GPIB ทำให้ โปรแกรมสามารถติดต่อกับเครื่องมือวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) SHOW DATA OF INSTRUMENT เป็น string indicator ทำหน้าที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องวัด

(3) V - SOURCE เป็น numeric control ทำหน้าที่กำหนดค่าแรงดันไฟตรง เพื่อส่งให้เครื่องมือวัดจ่ายไฟให้กับโหลด

(4) I - COMPLIANCE เป็น numeric control ทำหน้าที่กำหนดค่ากระแสสูงสุดที่เครื่องมือวัดจะจ่ายกระแสให้กับโหลด

(5) CURRENT เป็น string indicator ทำหน้าที่แสดงค่ากระแสไฟตรงที่วัดได้

(6) V - RANGE เป็น enum control ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าช่วงของแรงดันที่เครื่องมือวัดจ่ายให้กับโหลด

(7) V - START เป็น Numeric Control ทำหน้าที่กำหนดค่าแรงดันเริ่มต้นของการ sweep

(8) V - STOP เป็น numeric control ทำหน้าที่กำหนดค่าแรงดันสุดท้ายของการ sweep

(9) V - STEP เป็น numeric control ทำหน้าที่กำหนด step ของการ sweep

(10) POINT เป็น numeric indicator ทำหน้าที่แสดงค่าจำนวนจุดของการวัด

(11) I - COMP เป็น numeric control ทำหน้าที่กำหนดค่ากระแสสูงสุดที่เครื่องมือวัดจะจ่ายให้กับโหลด

(12) TRIG DELAY (s) เป็น numeric control ทำหน้าที่ในการกำหนดเวลาในการดีเลย์สัญญาณทริกเกอร์ของการวัด

(13) SOURCE DELAY (s) เป็น numeric control ทำหน้าที่ในการกำหนดเวลาในการดีเลย์ของแหล่งจ่ายในการ step ค่า

(14) QUIT เป็น button switch สำหรับการ ON - OFF โปรแกรม

(15) SETUP - DCV เป็น button switch สำหรับเลือกโหมดการวัด dc volt ค่าเดียว

(16) OUPUT ON - OFF เป็น button switch สำหรับกำหนดค่า output ของเครื่องวัด

(17) SETUP SWEEP เป็น button switch สำหรับการเลือกโหมดการวัดแบบ sweep

(linear staircase sweep) และทำการ set ค่าต่างๆ ตามที่กำหนด

(18) START SWEEP เป็น button switch สำหรับเริ่มทำการวัดแบบ sweep ตามค่าที่กำหนด

(19) DATA TABLE เป็น ตารางแสดงค่าข้อมูลที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

(20) SAVE DATA TABLE เป็นการกำหนด path ในการบันทึกค่าที่วัดได้

(21) GRAPH เป็นการแสดงเส้นกราฟของแรงดันกับกระแสในแนวแกน x และ y

4.1.2.1 การเรียกใช้เครื่องมือตามทีออกแบบบนฟรอนท์พาด

1. String control ใช้สำหรับรับค่าจากแป้นพิมพ์แล้วนำไปดำเนินการตามหน้าที่ที่กำหนดใน block diagram ซึ่งสามารถรับค่าได้ทั้งตัวหนังสือ, ตัวเลข และรหัส ASCII ตามที่เราที่กำหนดไว้ใน properties การเรียกใช้บน front panel right – click >> text Ctrl >> string Ctrl แล้วนำไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ ตั้งชื่อตามที่กำหนด right - click เพื่อกำหนด properties

2. String indicator ใช้สำหรับการแสดงค่าจากการประมวลผลของโปรแกรมใน block diagram ซึ่งสามารถแสดงค่าได้ทั้งตัวหนังสือ, ตัวเลขและรหัส ASCII ตามที่กำหนดใน properties การเรียกใช้บน front panel right – click >> text Inds >> string Ind แล้วนำไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ ตั้งชื่อตามที่กำหนด right - click เพื่อกำหนด properties

3. Numeric control ใช้สำหรับรับค่าตัวเลขจากแป้นพิมพ์แล้วนำไปดำเนินการตามหน้าที่ที่กำหนดใน block diagram ซึ่งสามารถรับค่าได้ตามชนิดที่เลือกใน properties การเรียกใช้งานบน front panel right – click >> num Ctrl >> num Ctrl แล้วนำไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ ตั้งชื่อตามที่กำหนด right - click เพื่อกำหนด properties

4. Numeric indicators ใช้สำหรับการแสดงค่าในการประมวลผลของโปรแกรมใน block diagram ซึ่งสามารถแสดงค่าได้ตามที่กำหนดใน properties การเรียกใช้งานบน front panel right-click >> num Inds >> num Ind แล้วนำไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ ตั้งชื่อตามที่กำหนด right-click เพื่อกำหนด properties

5. Enum control ใช้สำหรับกำหนดค่าส่วนประกอบต่างๆ ตามที่กำหนดใน properties การเรียกใช้งานบน front panel right – click >> all – controls >> ring 2 Enum >> Enum แล้วนำไปวางไว้ในตำแหน่งที่ต้องการ ตั้งชื่อตามที่กำหนด right – click เพื่อกำหนด properties

6. Button switch ใช้สำหรับเป็นสวิตช์ปิดเปิดตามหน้าที่ที่กำหนดใน block diagram ซึ่งคุณสมบัติของสวิตช์สามารถเลือกได้ใน properties การเรียกใช้งานบน front panel right – click >> Buttons >> เลือก Switch หรือ button แล้วนำไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ ตั้งชื่อตามที่กำหนด right – click เพื่อกำหนด properties

7. DATA TABLE ใช้สำหรับรับค่าข้อมูลที่เป็นค่าต่างๆ มาแสดงในรูปของตาราง การเรียกใช้งานบน front panel right – click >> text Inds >> table แล้วนำไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ ตั้งชื่อตามที่กำหนด right - click เพื่อกำหนด properties

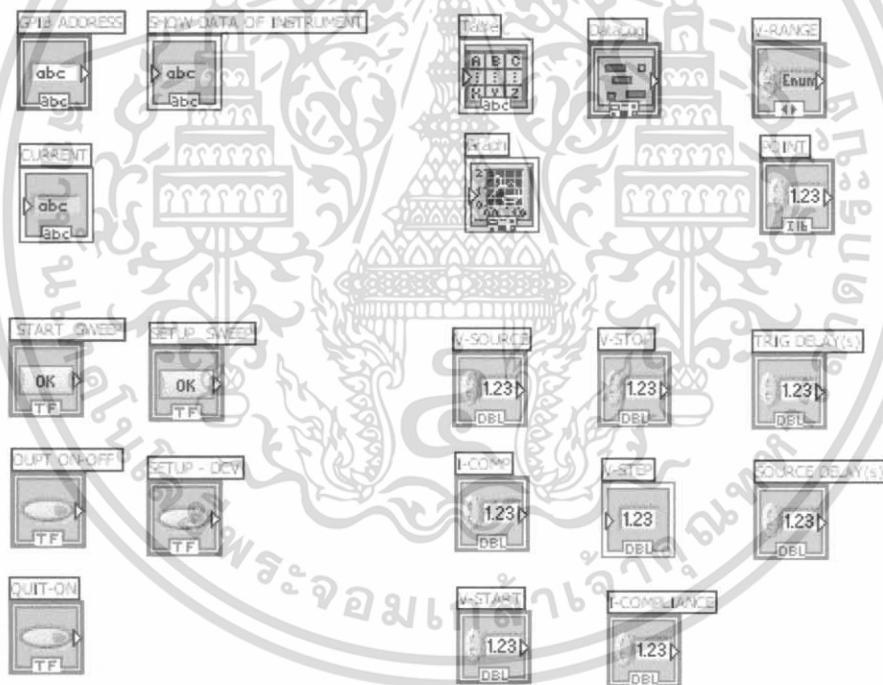
8. GRAPH ใช้สำหรับรับค่าข้อมูลต่างๆ มาแสดงในรูปกราฟ การเรียกใช้งานบน front panel right – click >> graph Inds >> XY graph แล้วนำไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ ตั้งชื่อตามที่กำหนด right - click เพื่อกำหนด properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. SAVE DATA TABLE เป็น cluster ที่สร้างขึ้นสำหรับบันทึกค่าข้อมูลในตาราง การเรียกใช้ cluster right – click >> all controls >> array & cluster >> cluster แล้วนำไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ โดยภายใน cluster ประกอบไปด้วย button switch การเรียกใช้เหมือนข้อ 6. ส่วน file path เป็นการระบุตำแหน่งข้อมูล การเรียกใช้ right – click >> all control >> string & path >> file path control นำไปวางใน cluster และ append ก็เป็นสวิตช์ตัวหนึ่งที่ใช้ใน cluster การเรียกใช้ right – click >> all control >> classic control >> classic boolean >> dialog radio button แล้วนำไปวางใน cluster ตั้งชื่อตามที่กำหนด

4.1.2.2 การเขียนโปรแกรมบนบล็อกโคอะแกรม

เมื่อเราได้เรียกใช้เครื่องมือบนพรอนท์พาเนล แล้วจะปรากฏสัญลักษณ์ของเครื่องมือทุกอย่างที่เราเรียกใช้บนบล็อกโคอะแกรม ดังรูปที่ 4.4




รูปที่ 4.4 สัญลักษณ์ของเครื่องมือบนบล็อกโคอะแกรม

ที่เราต้องทำต่อไปคือนำสัญลักษณ์ที่ปรากฏมาเชื่อมต่อกันตามการทำงานของแต่ละตัว โดยอาศัยเครื่องมือที่มีใช้อยู่ภายในบล็อกโคอะแกรม และเพื่อให้การเขียนโปรแกรมง่ายขึ้นอาจจะใช้ structure ต่างๆ มาช่วยในการเขียน สำหรับ structure ที่ใช้ในโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. While loop คือการกำหนดให้ code หรือ program ใน loop ทำงานจนกระทั่ง condition ของ while loop เป็นไปตามที่กำหนด การเรียกใช้งานบน block diagram right-click >> all functions >> structures >> while loop แล้วนำมาวางและเพิ่มพื้นที่ได้ตามต้องการ

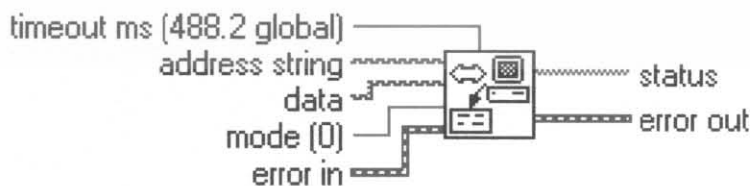
2. Case structure ใช้ในการเลือกทำงานเฉพาะ code ที่อยู่ในแต่ละกรณี โดยการเปรียบเทียบค่าที่เข้ามาใน  เท่ากันกับค่าตัวเลือกใน case ที่เราได้ทำการออกแบบไว้หรือเปล่า ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบอาจเป็นค่าตรรกะ, ตัวเลข, ตัวอักษร หรืออื่นๆ ก็ได้ ไม่จำเป็นต้องเป็น boolean เสมอไป การเรียกใช้งานบน block diagram right-click >> all function >> structures >> case structures นำมาวางและเพิ่มพื้นที่ได้ตามต้องการ ถ้าเรามีตัวเลือกมากกว่า 2 ตัวเลือก ให้ right-click ที่ตัวเลือก >> add case after หรือ add case before แล้วกำหนดค่าตัวเลือก

3. Event structure ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมที่ซับซ้อนให้ง่ายขึ้น เช่น สามารถตรวจสอบเมื่อมีการกดปุ่มแล้วจึงไปทำงานตามที่ปุ่มนั้นกำหนดไว้ การเรียกใช้งานบน block diagram right-click >> all functions >> structures >> event structure นำไปวางใน block diagram และเพิ่มพื้นที่ได้ตามต้องการ การเพิ่ม event ทำได้โดย right-click ที่ event >> add event case >> เลือก event source >> event

4. Sequence structure เป็นการควบคุมการไหลของโปรแกรมตามลำดับ frame คล้ายกับฟิล์มรูป โปรแกรมจะเริ่มทำงานตั้งแต่ frame แรกไล่ไปเรื่อย ไม่สามารถย้อนกลับได้ การเรียกใช้งานบน block diagram right-click >> all functions >> structures >> flat sequence นำไปวางใน Block Diagram และเพิ่มพื้นที่ได้ตามต้องการ ถ้าต้องการเพิ่ม frame ทำได้โดย right-click ที่ frame >> add frame after หรือ add frame before

ไอคอนพิเศษที่ใช้สำหรับการส่งงานผ่านทางการ์ด GPIB คือ

1. GPIB Write

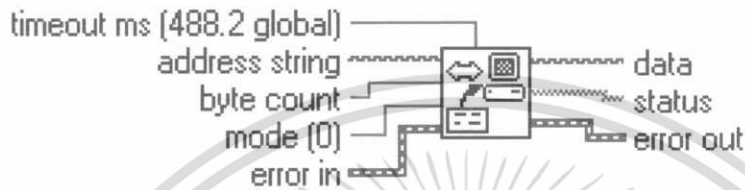


รูปที่ 4.5 GPIB Write

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการบอกให้ GPIB สั่งงานเครื่องมือตามข้อมูลที่ป้อนให้ทางขา data และคำสั่งที่ใช้จะดูได้จากคู่มือของเครื่องมือวัดแต่ละเครื่อง การเรียกใช้งาน right-click >> all functions >> Instrument I/O >> GPIB >> GPIB Write

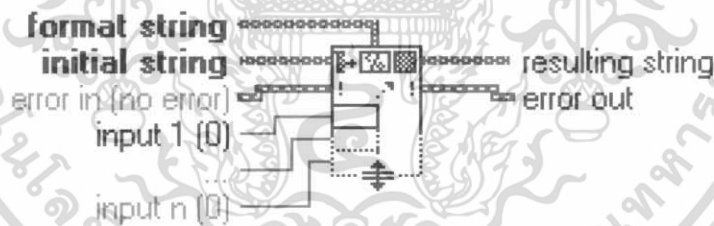
2. GPIB Read



รูปที่ 4.6 GPIB Read

เป็นการบอกให้ GPIB อ่านค่าจากเครื่องมือวัดแล้วนำมาแสดงผลต่อไป การเรียกใช้งาน right-click >> all functions >> Instrument I/O >> GPIB >> GPIB Read

3. Formal into String



รูปที่ 4.7 Formal into String

เป็นการแปลงค่า Input ต่างๆ ที่รับเข้ามาให้เป็น String แล้วส่งให้กับ GPIB Write ต่อไป การเรียกใช้งาน right-click >> all functions >> String >> Formal into String

สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์แต่ละตัวถ้าไม่ได้เลือก Auto tool palette ไว้ก็ให้เลือก connect wire บน tool palette แล้วเลื่อน cursor ไปยังอุปกรณ์ตัวที่เราต้องการ ถ้าได้เลือก auto tool palette ไว้แล้วก็เลื่อน cursor ไปยังจุดที่เราต้องการลากสายต่อจนกว่าสัญลักษณ์ของ connect ขึ้นแล้วก็ click เพื่อลากสายได้เลย ใน LabVIEW การเชื่อมต่อเครื่องมือแต่ละตัวถ้าข้อมูลระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของตัวที่เราเชื่อมต่อเป็นข้อมูลคนละชนิดกันแล้วจะไม่อนุญาตให้เชื่อมต่อกันได้

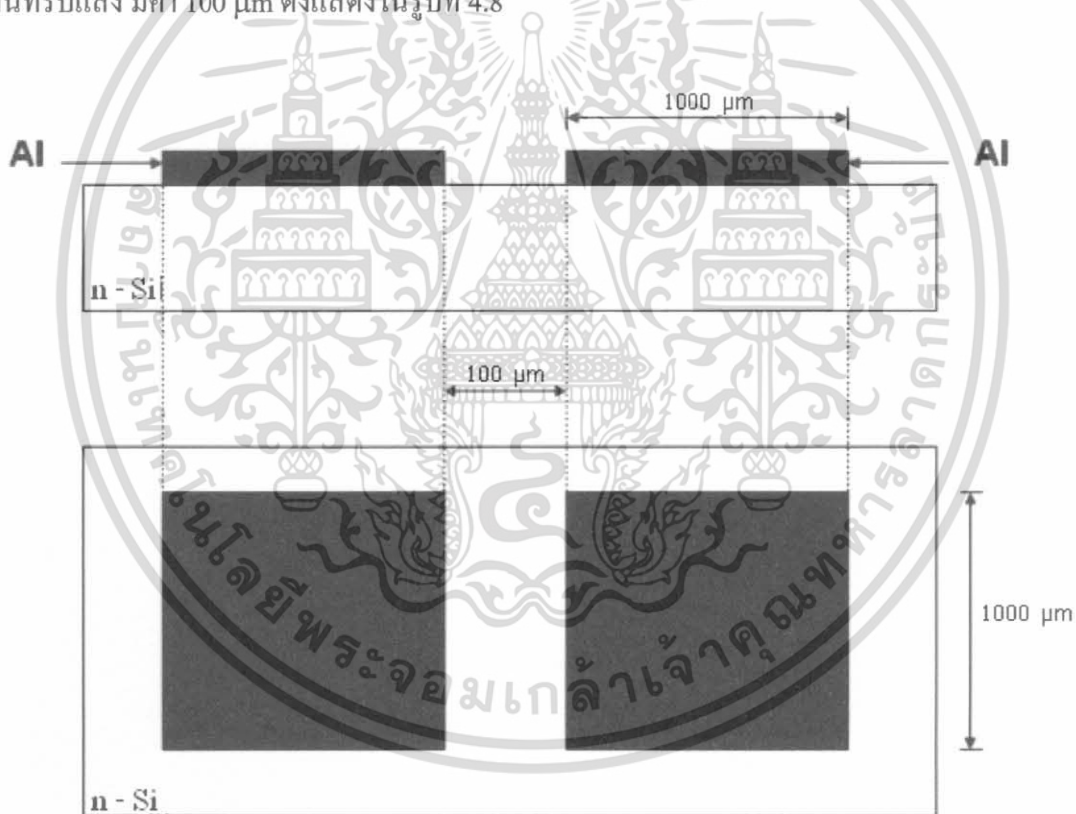
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเตรียมชิ้นงานตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ แบบพลาแนร์ สามารถสร้างได้ง่ายซึ่งมีกระบวนการสร้างด้วยกระจกต้นแบบเพียง 1 แผ่น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างที่ใช้ในการศึกษา กระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ต่อไป

4.2.1 ลวดลายของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al

โครงสร้าง MSM ชนิด Al / n-Si / Al ประกอบด้วยรอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียม-ซิลิคอนจำนวนสองรอยสัมผัส ในโครงงานนี้จะใช้ขั้วโลหะที่มีขนาดเท่ากันทั้งสองด้านเป็นอลูมิเนียมมีขนาด $1 \times 1 \text{ mm}^2$ ส่วนสารกึ่งตัวนำจะเลือกใช้เป็นซิลิคอนชนิดเอ็น ซึ่งวัสดุทั้งสองสามารถหาได้ง่ายและยังเป็นวัสดุที่สำคัญในการสร้างวงจรรวม สำหรับระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ใช้เป็นส่วนของพื้นที่รับแสง มีค่า $100 \mu\text{m}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ลวดลายของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 กระบวนการสร้าง

กระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al จะใช้เทคโนโลยีการสร้างวงจรรวมเป็นหลัก โดยหลังจากการเตรียมกระจกต้นแบบ (mask) แล้ว จะนำแผ่นซิลิคอนมาทำการสร้าง ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำความสะอาดแผ่นซิลิคอนเบื้องต้น

- ultrasonic ด้วยน้ำจืดไอออนแล้ว (De - Ionization water : DI) 5 นาที เพื่อกำจัดฝุ่น
- จุ่มใน DI 1 แก้ว
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มในกรดไนตริก (nitric acid) 2 แก้วๆ ละ 5 นาที เพื่อกำจัดเศษโลหะ
- จุ่มใน DI 1 แก้ว
- ต้มใน DI 2 แก้วๆ ละ 5 นาที
- จุ่มใน DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มในไตรโคโลเอทรีน (trichloroethylene) 5 นาที เพื่อกำจัดไขมัน
- ultrasonic ในอะซิโตน (acetone) 2 นาที
- จุ่มใน DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- จุ่มในกรดกัดแก้ว (hydrofluoric) ที่มีความเข้มข้น 5 % (HF 5 %) 10-30 วินาที
- จุ่มใน DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

2. กระบวนการเคลือบโลหะ

เคลือบอลูมิเนียมด้านหน้าของแผ่น ด้วยเทคนิคการเคลือบโลหะในสุญญากาศ (vacuum evaporation) ที่ความดันประมาณ 2×10^{-6} Torr

- วางแผ่นเวเฟอร์ในครอบแก้ว (glass chamber)
- ดูดอากาศออกจากครอบแก้ว
- เมื่อความดันลดต่ำลงจนถึง 2×10^{-6} Torr เริ่มให้กระแสเพื่อทำให้อลูมิเนียมละลาย
- เปิดชัตเตอร์ (shutter) เพื่อเริ่มทำการเคลือบอลูมิเนียม

3. กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี (photolithography)

นำแผ่นซิลิคอนที่ได้ทำการเคลือบอลูมิเนียมแล้ว มาสร้างเป็นส่วนขั้วไฟฟ้าและพื้นที่รับแสงของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อบแผ่นเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 30 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก (AZ P1350) ด้วยเครื่องสปินเนอร์ ที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 40 วินาที
- อบแผ่นครั้งแรก (pre bake) ให้น้ำยาไวแสงแห้ง ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 30 นาที

- ฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบ ด้วยเครื่อง Mask aligner
- การขึ้นลวดลาย (develop)

- จุ่มใน AZ developer 2 แก้วๆ ละ 15 วินาที
- จุ่มใน DI 2 แก้ว
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

- อบครั้งที่สอง (post bake) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 30 นาที

4. การกัดชั้นอลูมิเนียม

ทำการกัดชั้นของอลูมิเนียมในส่วนที่ไม่ต้องการออกด้วยสารละลายกัดชั้นอลูมิเนียม (Al etching) ที่มีส่วนผสมของ H_3PO_4 : HNO_3 : CH_3COOH : H_2O ในอัตราส่วน 80 : 5 : 5 : 10

- จุ่มใน Al etching ที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 20 วินาที
- จุ่มใน DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

5. การลอกฟิล์มน้ำยาไวแสง

- จุ่มในอะซิโตน 2 แก้วๆ ละ 1 นาที
- จุ่มใน DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

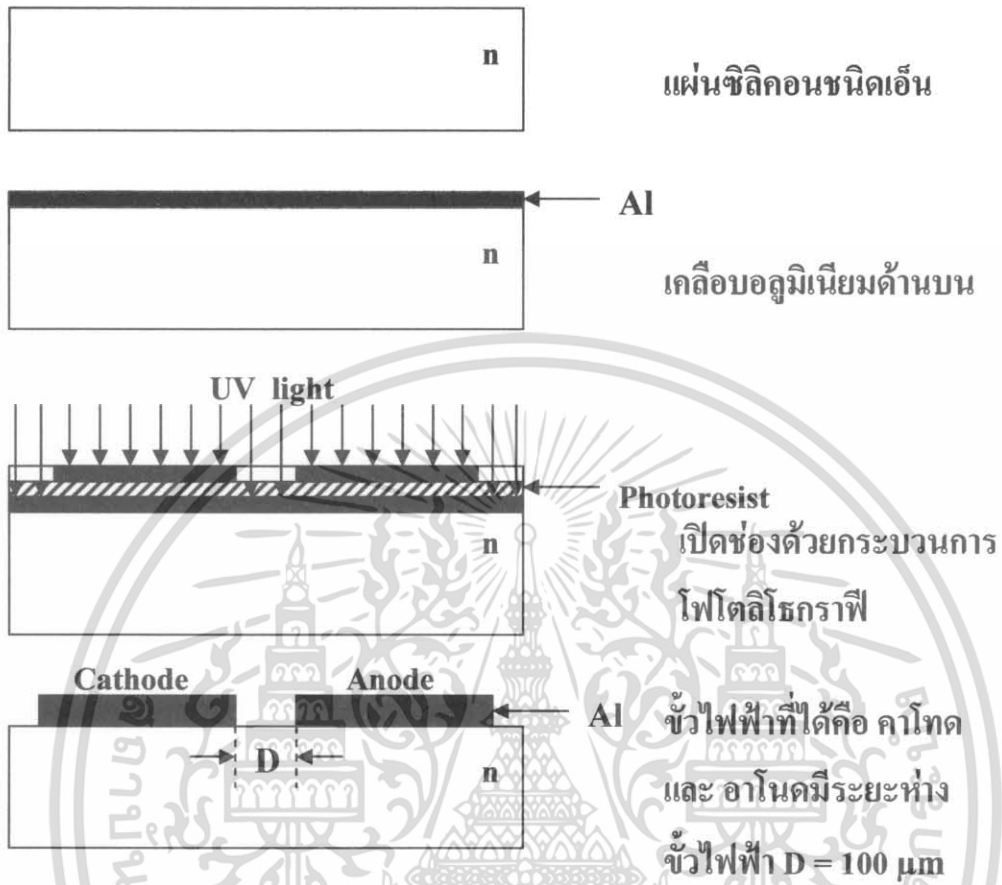
6. กระบวนการซินเตอร์ริง (sintering)

กระบวนการซินเตอร์ริงเป็นกระบวนการทางความร้อนที่ทำให้รอยสัมผัสของอลูมิเนียมและซิลิคอนสมบูรณ์ขึ้น

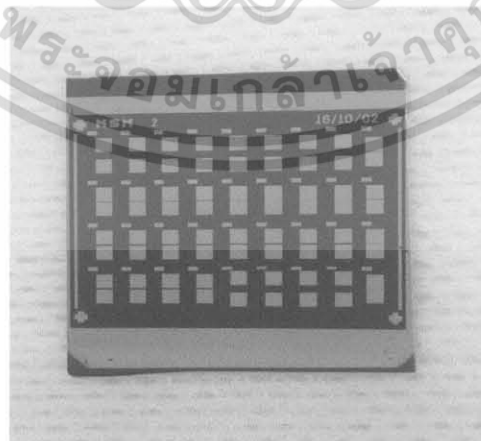
- นำชิ้นงานไปไว้ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1 ลิตร/นาที โดยมีอุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งเป็นเงื่อนไขของเวลาที่ทำให้ได้รอยสัมผัสที่ดีและมีกระแสรั่วไหลต่ำ

ในรูปที่ 4.9 แสดงภาพภาคตัดขวางของกระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง Al/n-Si/Al และรูปที่ 4.10 เป็นรูปด้านบนของอุปกรณ์ที่สร้างเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

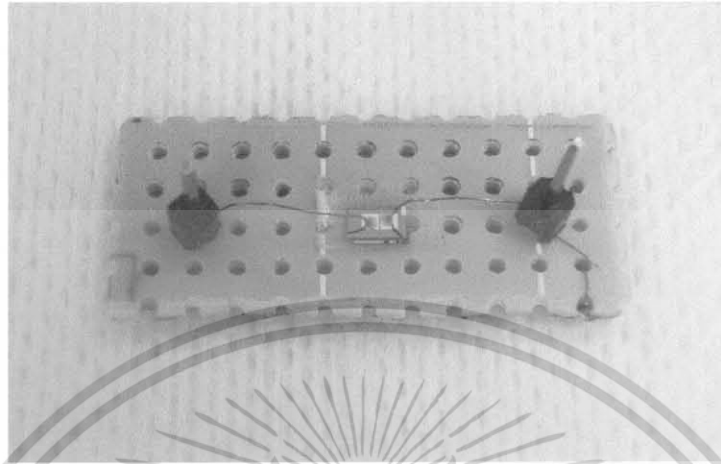


รูปที่ 4.9 ภาพภาคตัดขวางของกระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง Al/n-si/Al



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายของอุปกรณ์ Al/n-Si/Al ที่สร้างเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายของอุปกรณ์ Al/n-Si/Al อุปกรณ์ที่ผ่านการเชื่อมต่อดำเนินการ
ที่มีขนาดขั้วไฟฟ้าเท่ากับ $1 \times 1 \text{ mm}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

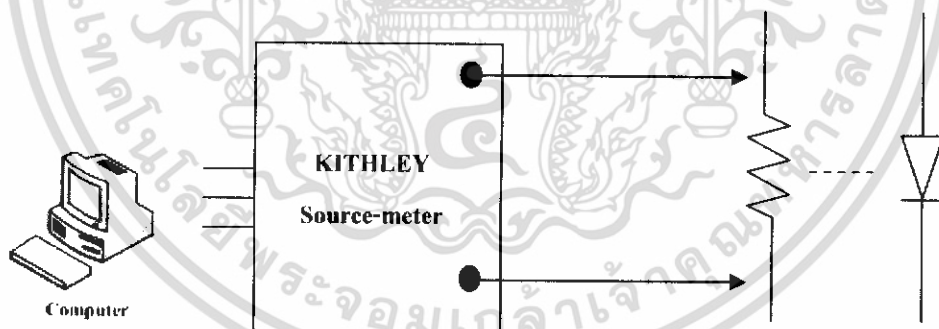
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองซึ่งประกอบไปด้วย การวัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวต้านทานและไดโอดเพื่อทดสอบโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบ การศึกษาลักษณะสมบัติ กระแส – แรงดัน ในแบบสัญญาณแสงกระแสตรงโดยจะวัดด้วยเครื่อง source-meter Keithley 2400 ซึ่งควบคุมด้วยโปรแกรม LabVIEW และสัญญาณแสงกระแสสลับโดยจะเป็นการวัด ลักษณะการตอบสนองสัญญาณรูปไซน์ด้วยออสซิลโลสโคป

5.1 ผลการทดลองวัดตัวต้านทานและไดโอด

เป็นการนำเอาตัวต้านทานและไดโอดมาทำการวัดเพื่อหาความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันในแบบสัญญาณกระแสตรง

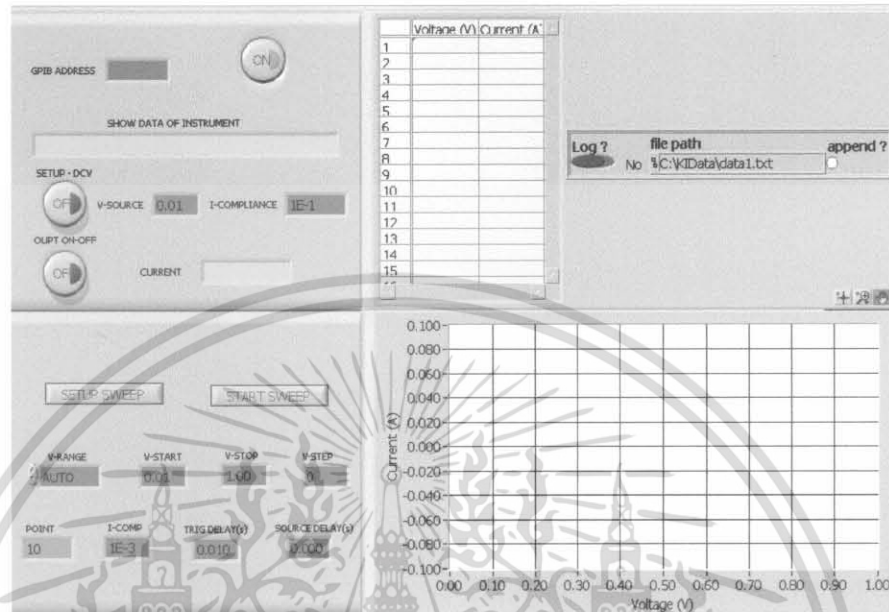
1.) ตัวอย่างรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 วงจรการทดลองวัดตัวต้านทานและไดโอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) เปิดโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการวัด



รูปที่ 5.2 หน้าต่าง โปรแกรมที่ใช้ในการวัด

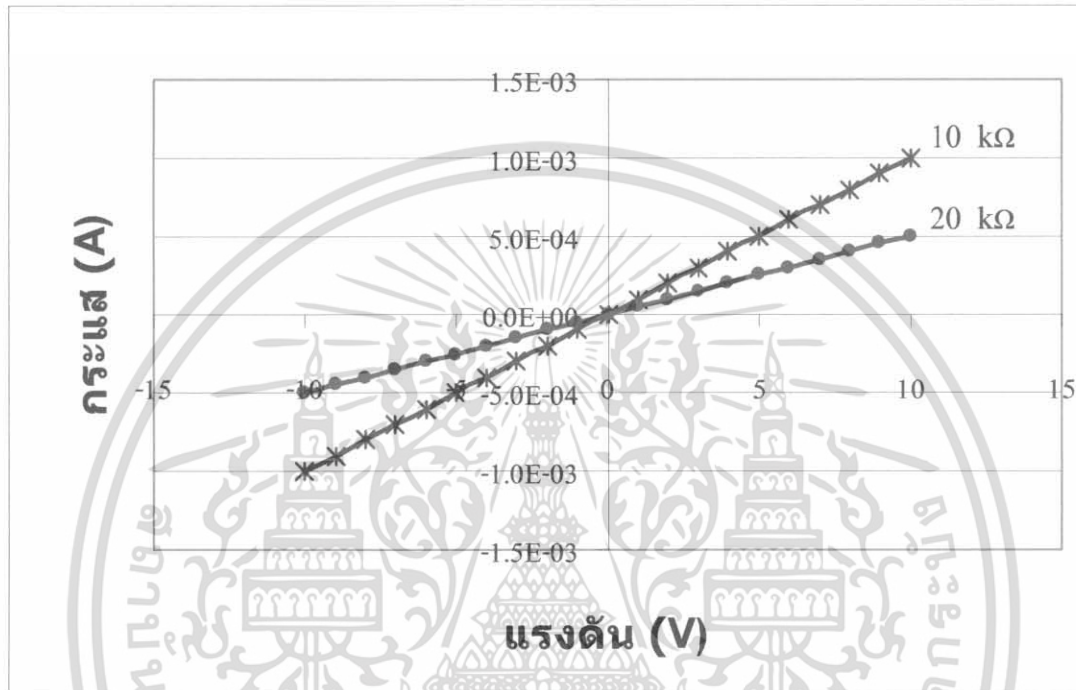
เมื่อเปิดโปรแกรมการวัดแล้วให้ทำการเซตค่าต่างๆดังนี้

1. หลังจากเปิดเครื่องมือวัดและเปิดโปรแกรม LabVIEW แล้วป้อนตำแหน่ง address ที่ช่อง GPIB address โดยใส่ตำแหน่งที่ 24
2. ทำการ RUN โปรแกรมโดย click ที่ปุ่ม 
3. Click ที่ปุ่ม  ตัวบนสุดให้เป็นแสงสีเขียวและแสดงคำว่า ON
4. ทำการป้อนค่าแรงดันเริ่มต้นที่จะทำการวัดที่ช่อง V- START
5. ทำการป้อนค่าแรงดันสิ้นสุดที่จะทำการวัดที่ช่อง V - STOP
6. ทำการป้อนค่า step ในการวัดที่ช่อง V - STEP
7. กำหนดตำแหน่งที่จะทำการบันทึกข้อมูลที่ช่อง file path เช่น C:\KIData\... .txt
8. Click ที่ปุ่ม Log? ให้เป็นสีเขียวเพื่อทำการบันทึกข้อมูล
9. Click ที่ปุ่ม append? ให้เป็นสีเขียวในกรณีต้องการบันทึกข้อมูลต่อจากข้อมูลเดิม (ถ้ามีข้อมูลเดิมอยู่)
10. Click ที่ปุ่ม SETUP SWEEP เพื่อทำการเซตค่าที่ป้อนให้ทั้งหมด
11. Click ที่ปุ่ม START SWEEP เพื่อทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เปลี่ยนค่าความต้านทานแล้วทำการวัดใหม่

จากการทดลองวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของตัวต้านทานค่า 10 k Ω และ 20 k Ω แล้วนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของรีซิสเตอร์

เนื่องจากเป็นตัวต้านทานซึ่งมีคุณสมบัติสามารถนำกระแสได้ทั้งสองด้าน ดังนั้นไม่ว่าจะจ่ายไฟบวกหรือไฟลบก็สามารถนำกระแสได้ดังกราฟที่ได้จะสมมาตรกันทั้งสองด้าน จากค่าที่วัดได้นำมาคำนวณกลับเพื่อหาค่าความต้านทานตามสมการที่ 5.1 เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

$$R = V/I \quad (5.1)$$

จากกราฟของตัวต้านทาน 10 k Ω ที่แรงดัน 10 V กระแสที่วัดได้ 1mA

$$\begin{aligned} R &= 10V/1 \text{ mA} \\ &= 10 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

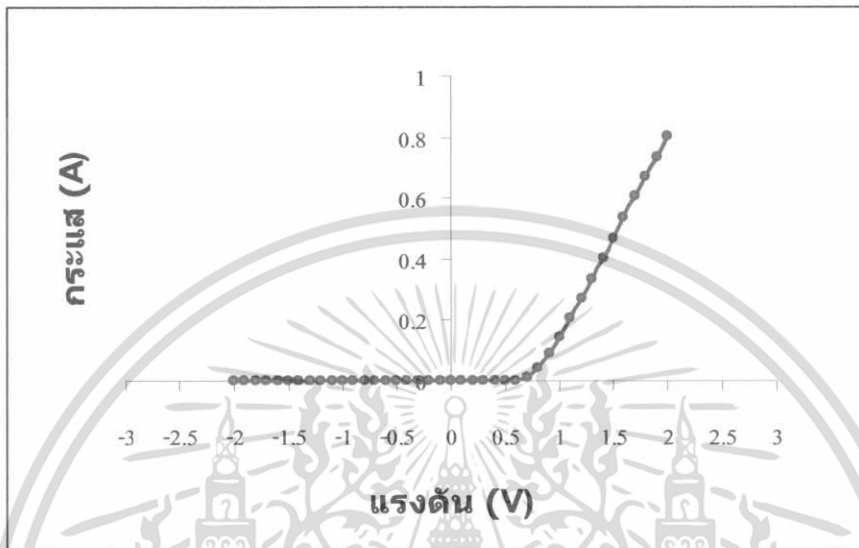
จากกราฟของตัวต้านทาน 20 k Ω ที่แรงดัน 10 V กระแสที่วัดได้ 0.503 mA

$$\begin{aligned} R &= 10 \text{ V}/0.503 \text{ mA} \\ &= 19.88 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) เปลี่ยนจากการวัดตัวต้านทานเป็นการวัดไดโอด

จากการวัดลักษณะสมบัติกระแสแรงดันของไดโอด แล้วนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของไดโอด

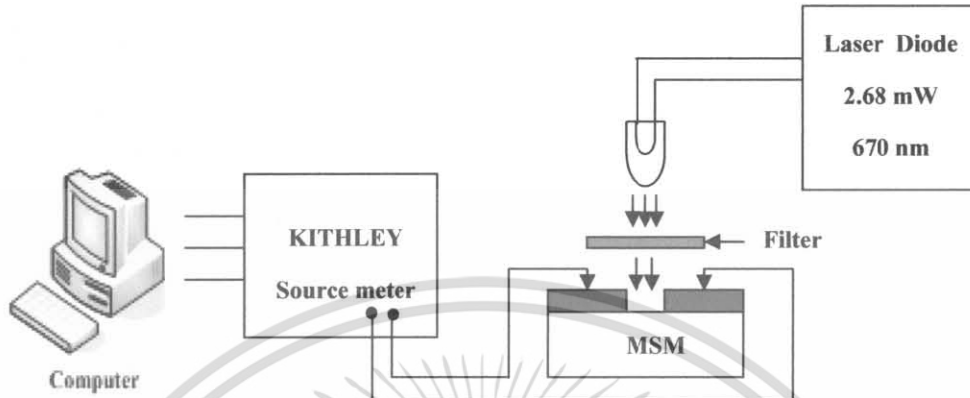
จากกราฟพบว่าค่ากระแสด้านไบแอสกลับมีค่าน้อยมาก ส่วนกระแสด้านไบแอสตรงจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่ค่าแรงดันประมาณ 0.7 โวลท์ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีไดโอด

จากการวัดทดสอบตัวต้านทานและไดโอดแล้วได้ค่าที่เป็นไปตามทฤษฎีของตัวอุปกรณ์ เป็นการแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบมาสามารถนำไปใช้วัดตัวตรวจวัดแสงได้

5.2 ผลการทดลองวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al ในแบบสัญญาณแสงกระแสตรง ซึ่งควบคุมด้วยโปรแกรม LabVIEW

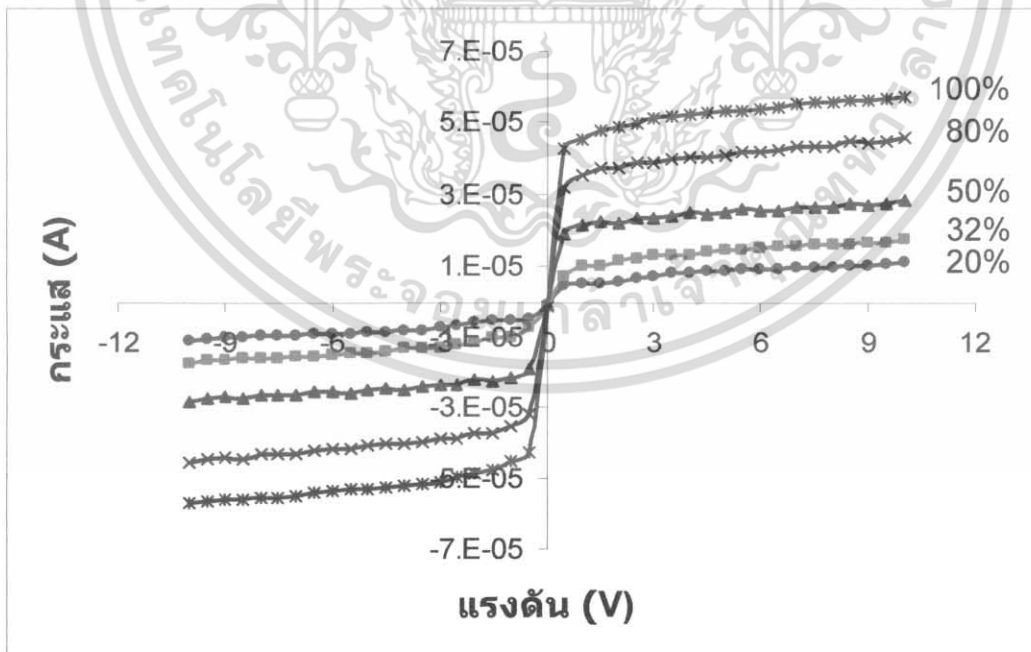
เป็นการนำเอาตัวตรวจวัดแสงมาทำการหาความสัมพันธ์ของกระแสเมื่อได้รับแรงดันไบแอสค่าต่างๆ เพื่อทดสอบลักษณะสมบัติของตัวตรวจวัดแสงในขณะที่ได้รับแสงตกกระทบ และเมื่อไม่ได้รับแสงตกกระทบในแบบสัญญาณแสงกระแสตรง

1.) ตัวอย่างรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 วงจรการทดลองวัดตัวตรวจวัดแสง

- 2.) เปิดโปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการวัด
 - 3.) ทำการเซตค่าต่างๆ ให้เรียบร้อยแล้วทำการวัด
 - 4.) เปลี่ยนแผ่นฟิลเตอร์ที่ใช้สำหรับกรองแสงแล้วทำการวัดและบันทึกค่าใหม่
- จากขั้นตอนการทดลองด้านบนเราสามารถนำค่าที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 5.6

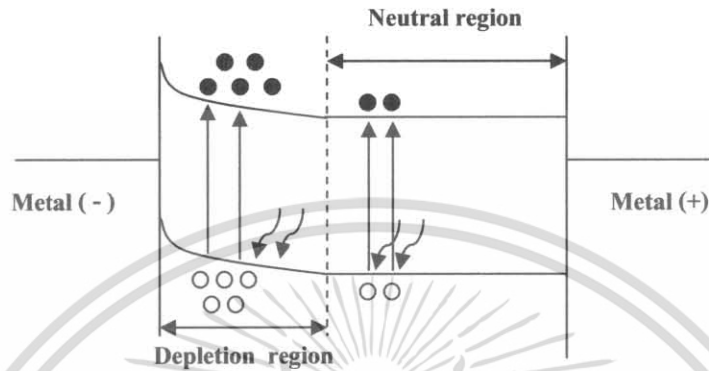


รูปที่ 5.6 ลักษณะสมบัติกระแส – แรงดัน ของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอด ที่ควบคุมความเข้มแสงค่าต่างๆ โดยผ่านฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

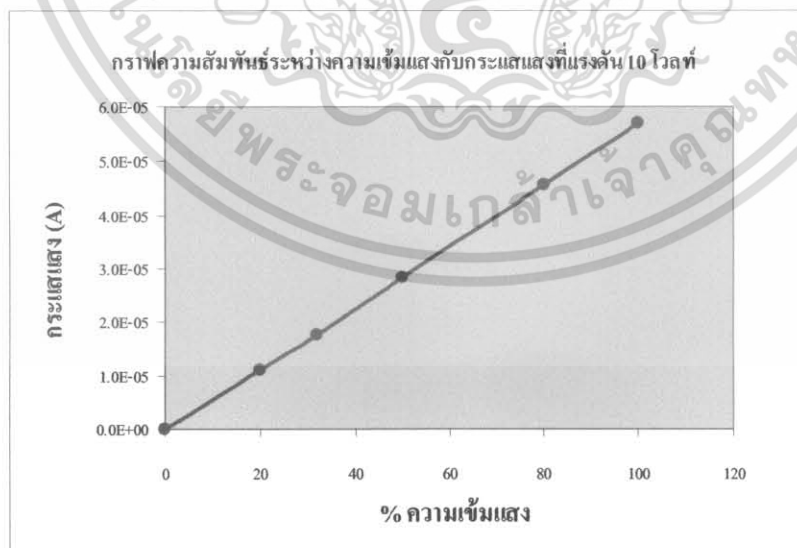
จากกราฟที่ได้เราสามารถวิเคราะห์ได้เป็นสองกรณีคือ

1. กระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีแสงตกกระทบมากขึ้น โดยกระแสที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แผนภาพแถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแรงดันไบแอส

จากรูปที่ 5.7 เป็นกลไกการเกิดกระแสของตัวตรวจวัดแสงเมื่อได้รับแรงดันไบแอส จะแบ่งกระแสได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เกิดจากบริเวณ depletion (I_D) และส่วนที่เกิดจากบริเวณ Neutral (I_C) ซึ่งการเกิดกระแสของตัวตรวจวัดแสงจะขึ้นอยู่กับพาหะบริเวณ depletion ซึ่งมีจำนวนมากกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณ neutral และเมื่อได้รับแสงตกกระทบมากขึ้นในบริเวณ depletion จะเกิดคู่พาหะ อิเล็กตรอน-โฮล มากขึ้นทำให้มีกระแสเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสจะเป็นแบบเชิงเส้นกับความเข้มแสงซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5.8

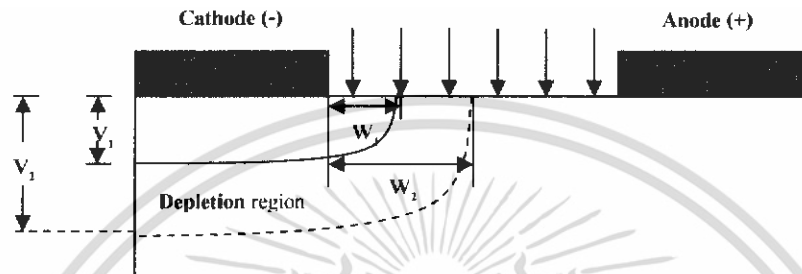


รูปที่ 5.8 ลักษณะสมบัติกระแสแสง- ความเข้มแสง ของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับ

แรงดันไบแอส 10 โวลต์ ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ที่ความเข้มแสงเท่าเดิมกระแสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแรงดันไบแอสมากขึ้น โดยแรงดันไบแอสที่มากขึ้นจะมีผลทำให้ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะเพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 5.9 ส่งผลให้กระแสที่เกิดจากบริเวณปลอดพาหะมีค่ามากขึ้นตามบริเวณปลอดพาหะที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันไบแอส ส่วนกระแสที่เกิดบริเวณ neutral จะมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นการควบคุมกระแสของตัวตรวจวัดแสงให้มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากจะเพิ่มความเข้มแสงแล้วยังสามารถเพิ่มแรงดันไบแอสได้อีกทางหนึ่ง

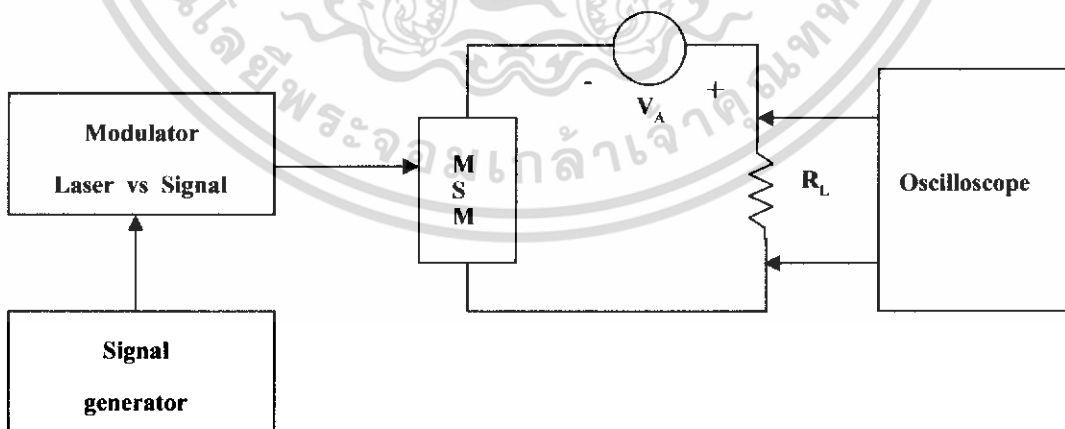


รูปที่ 5.9 ความกว้างบริเวณปลอดพาหะที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแรงดันไบแอสสูงขึ้น

5.3 ผลการทดลองลักษณะการตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง

Al/n-Si/Al ในแบบสัญญาณ กระแสสลับ

เป็นการวัดลักษณะการตอบสนองสัญญาณรูปไซน์ของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al โดยใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 670 nm, กำลังงาน 2.68 mW ซึ่งถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณคลื่นรูปไซน์ที่มีขนาด 200 mV_{p-p} เข้ากับแสงเลเซอร์ และความถี่ของคลื่นรูปไซน์จะเปลี่ยนแปลงในช่วง 100 Hz – 4 MHz โดยจะต่อวงจรการทดลองดังรูปที่ 5.10

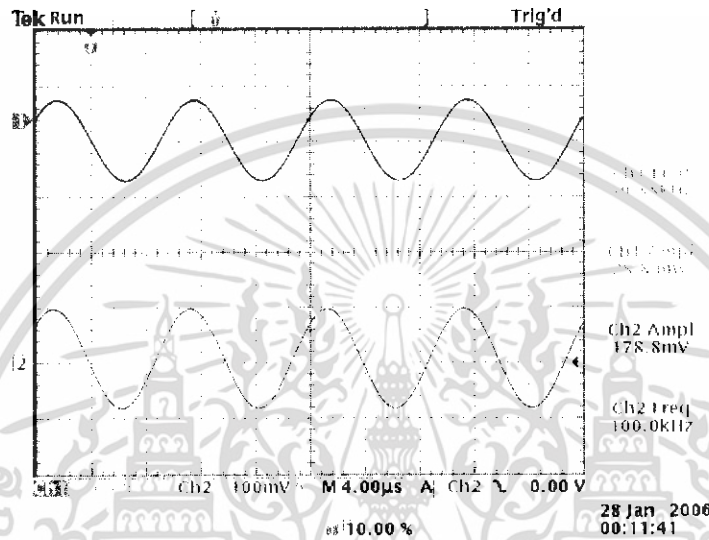


รูปที่ 5.10 แผนภาพที่ใช้ในการทดลองลักษณะการตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง

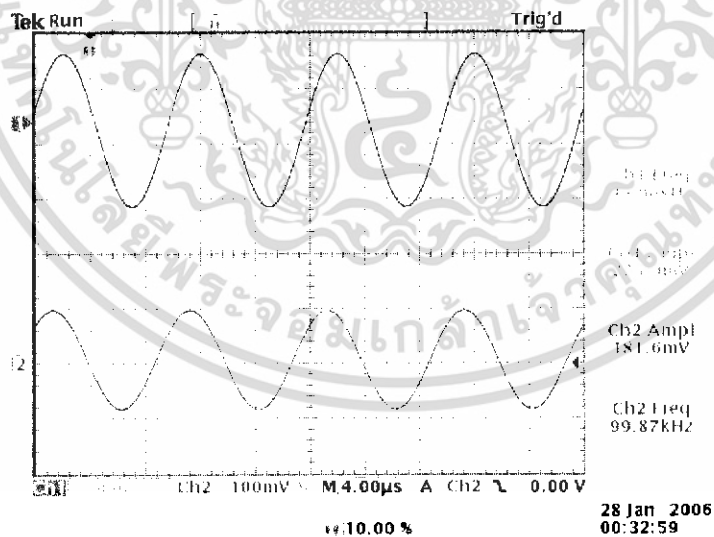
Al/n-si/Al

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) ผลการทดลองลักษณะการตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ที่ขึ้นกับโหนดความต้านทาน ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 5.10 โดยให้แรงดันไบแอส V_A คงที่ที่ 10 V และโหนดความต้านทาน (R_L) มีค่า 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω และ 100k Ω ตามลำดับ ทำการวัดสัญญาณที่โหนด R_L ด้วยออสซิลโลสโคปได้ดังรูปที่ 5.11



(ก)



(ข)

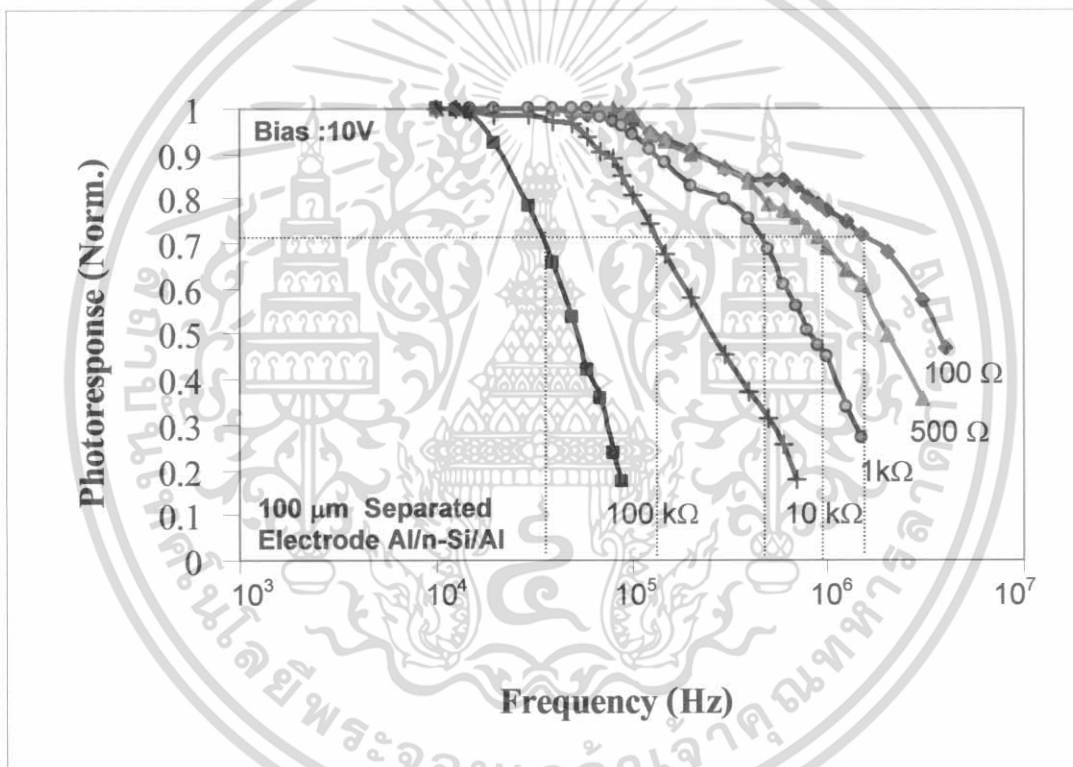
รูปที่ 5.11 กราฟจากออสซิลโลสโคปของโหนดความต้านทานที่แรงดันไบแอส 10 V

(ก) โหนดความต้านทาน 1 k Ω (ข) โหนดความต้านทาน 10 k Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.11 เป็นกราฟที่ได้จากการวัดด้วยออสซิลโลสโคป โดยโหลดความต้านทานมีค่าเท่ากับ $1\text{ k}\Omega$ และ $10\text{ k}\Omega$ ตามลำดับ โดยมีแรงดันไบแอสคงที่ที่ 10 V ซึ่งสัญญาณที่ป้อนให้กับเลเซอร์ดังแสดงใน Ch2 เป็นสัญญาณรูปไซน์ที่ได้จากเครื่องกำเนิดความถี่ มีค่าแรงดันประมาณ $200\text{ mV}_{\text{p-p}}$ และสัญญาณที่ได้จากการวัดดังแสดงใน Ch1 ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นลักษณะรูปไซน์เหมือนกับแหล่งจ่าย

จากผลการทดลองที่วัดได้ที่โหลดความต้านทานในแต่ละค่าเมื่อทำการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นค่าแอมพลิจูดที่ตกคร่อมโหลดความต้านทานจะมีค่าลดลง เมื่อนำมา normalize แล้วจะได้กราฟดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ลักษณะการตอบสนองสัญญาณทางแสงของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า $100\ \mu\text{m}$ แรงดันไบแอส 10 โวลต์ โหลดความต้านทานมีค่า $100\ \Omega$, $500\ \Omega$, $1\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$ และ $100\text{ k}\Omega$ ตามลำดับ

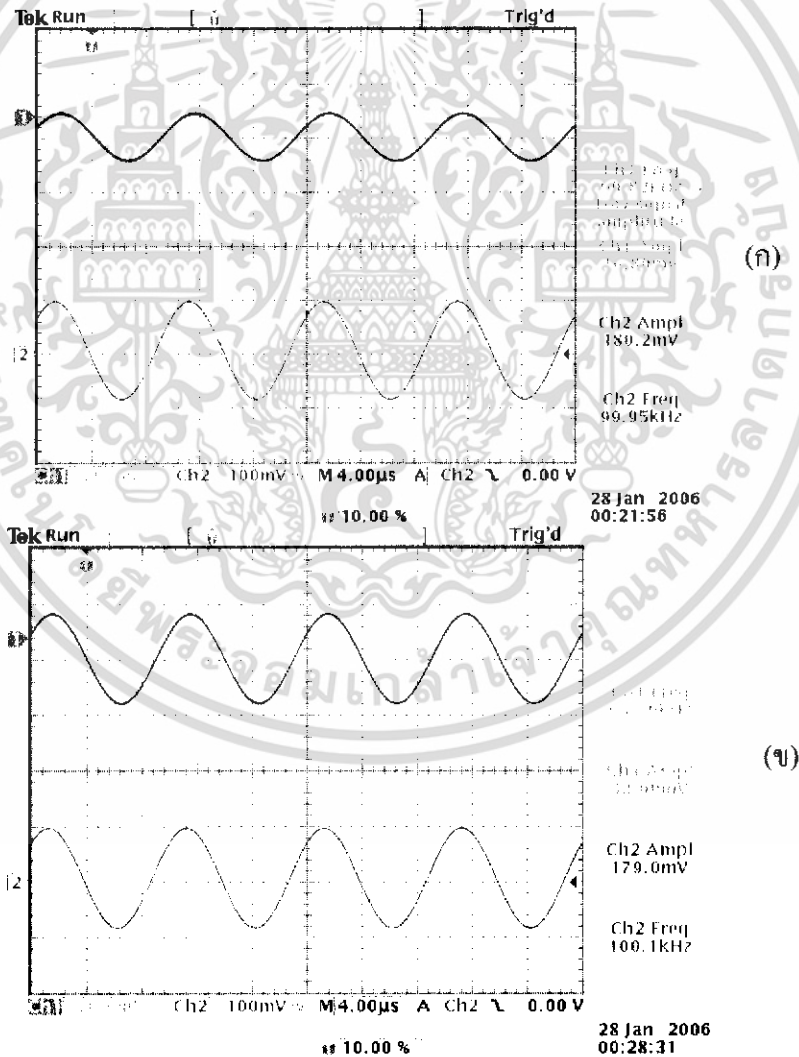
จากการทดลองพบว่าเส้นกราฟของโหลดความต้านทาน ที่มีค่าน้อยประมาณ $100\ \Omega$ – $1\text{ k}\Omega$ การตอบสนองทางแสงจะมีลักษณะเป็นสองช่วง โดยช่วงแรกเป็นผลมาจากบริเวณนิวทริล ส่วนช่วงที่สองเป็นผลมาจากบริเวณพลาสมา ส่วนที่โหลดความต้านทานค่ามากๆ คือ 10 – $100\text{ k}\Omega$ ขนาดสัญญาณจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นผลมาจากค่าคงที่ทางเวลา (RC time constant) มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นจึงทำให้เห็นการตอบสนองในช่วงเดียว และจากกราฟสามารถวิเคราะห์ได้ว่าตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ถ้านำไปใช้กับโหนดความต้านทานค่าน้อยๆ จะสามารถตอบสนองความถี่หรือมีความถี่คutoff (cutoff frequency) สูงกว่าที่โหนดความต้านทานค่ามากๆ

2.) ผลการทดลองลักษณะการตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ที่ขึ้นกับแรงดันไบแอส

ทำการวัดลักษณะการตอบสนองสัญญาณทางแสงของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ซึ่งมีการทดลองดังรูปที่ 5.10 โดยเปลี่ยนแรงดันไบแอส (V_A) มีค่าเท่ากับ 1.5, 3 และ 6 โวลต์ตามลำดับ และโหนดความต้านทานคงที่มีค่าเท่ากับ 1 k Ω เพื่อศึกษาผลกระทบของแรงดันไบแอสที่มีต่อตัวตรวจวัดแสง เมื่อทำการวัดสัญญาณที่โหนดความต้านทาน R_L ด้วยออสซิลโลสโคปได้ดังรูปที่ 5.13

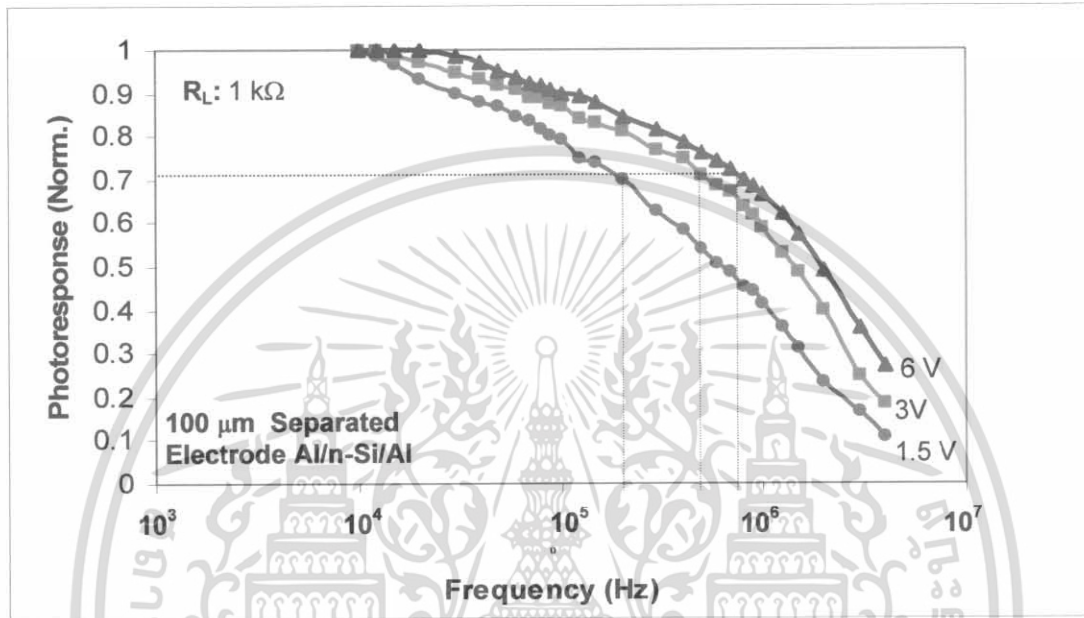


รูปที่ 5.13 กราฟจากออสซิลโลสโคปของโหนดความต้านทาน 1 k Ω

(ก) แรงดันไบแอส 3 โวลต์ (ข) แรงดันไบแอส 6 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่วัดได้ที่โหนดความต้านทานคงที่ในแต่ละค่าของแรงดันไบแอส เมื่อทำการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นค่าแอมพลิจูดที่ตกคร่อมโหนดความต้านทานจะมีค่าลดลง เมื่อนำมาอนุกรมोलไลซ์แล้วจะได้กราฟดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 ลักษณะการตอบสนองสัญญาณทางแสงของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ที่โหนดความต้านทาน 1 kΩ แรงดันไบแอส 1.5, 3 และ 6 โวลต์ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.14 พบว่าลักษณะการตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al มีลักษณะการตอบสนองที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันไบแอสที่ให้ โดยเป็นผลมาจากความกว้างของบริเวณปลอดพาหะที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันไบแอสซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับการทดลองลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน ในแบบสัญญาณแสงกระแสตรงที่ผ่านมาก็คือ ให้แรงดันไบแอสมาก กระแสก็จะมาก และ ความถี่คัทออฟก็จะสูงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากความจุไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อ มีความแปรผกผันกับบริเวณปลอดพาหะทำให้เมื่อได้รับแรงดันไบแอสมากขึ้นบริเวณปลอดพาหะเพิ่มขึ้นค่าความจุไฟฟ้าลดลง เมื่อความจุไฟฟ้าลดลงทำให้ความถี่คัทออฟสูงขึ้นได้ ดังนั้นในการเพิ่มความถี่ใช้งานให้สูงขึ้นนอกจากจะลดค่าโหนดความต้านทานให้มีค่าน้อยแล้วก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มแรงดันไบแอสได้อีกด้วย

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในปริญญาณิพนธ์นี้เป็นการศึกษากระบวนการสร้าง การวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและลักษณะการตอบสนองทางแสง ของตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง MSM ที่มีฐานรองเป็นซิลิคอน ส่วนโลหะที่ใช้เป็นอลูมิเนียมทำให้ได้โครงสร้างเป็นแบบ Al/n-Si/Al ซึ่งมีการสร้างที่ง่าย และเหมาะสมที่จะนำไปใช้สร้างเป็นวงจรรวมต่อไปซึ่งได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็นสองส่วนคือ การออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงแบบกระแสดตรง และในส่วนของกระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสง

ตัวตรวจวัดแสงที่ได้ศึกษานี้ มีความกว้างของระยะห่างขั้วไฟฟ้าเท่ากับ $100\ \mu\text{m}$ ขนาดของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ $1 \times 1\ \text{mm}^2$ สภาพต้านทานของซิลิคอนมีค่าประมาณ $21\ \Omega\text{-cm}$ ทำการซินเตอร์ที่ 500 องศาเซลเซียส เพื่อให้รอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมกับซิลิคอนสมบูรณ์ขึ้น

จากการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงแบบกระแสดตรงก่อนที่จะนำไปวัดตัวตรวจวัดแสง ได้มีการวัดทดสอบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอื่นๆ ก่อน เพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม เช่น การนำไปวัดตัวต้านทานค่า $10\ \text{k}\Omega$, $20\ \text{k}\Omega$ และไดโอดเบอร์ 1N4001 ซึ่งจากการวัดความต้านทานและลองนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า ปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกันกับค่าความต้านทานที่ใช้วัดมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเกิดมาจากค่าความผิดพลาดของตัวต้านทาน และจากการวัดไดโอดพบว่ากระแสในช่วงลบมีค่าน้อยมากและกระแสในช่วงบวกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่แรงดันประมาณ 0.7 โวลต์ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีสมบัติของไดโอด ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่ออกแบบมาสามารถนำไปวัดสัญญาณ แบบกระแสดตรงได้

จากการทดลองลักษณะสมบัติกระแส—แรงดัน ของตัวตรวจวัดแสงพบว่ากระแสแสงที่เกิดขึ้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มแสงที่ตกกระทบช่องรับแสงมีค่ามากขึ้น เนื่องจากการเกิดคูพาหะอิเล็กตรอน—โฮล ที่มากขึ้นเมื่อได้รับความเข้มแสงมากขึ้น และกระแสแสงที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเชิงเส้นกับความเข้มแสง โดยความเข้มแสงจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแสงที่ทะลุผ่านฟิลเตอร์ไปได้ และนอกจากนี้กระแสแสงยังสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการให้แรงดันไบแอสกับตัวตรวจวัดแสงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายกว้างของบริเวณปลอดพาหะ

จากการทดลองลักษณะการตอบสนองทางแสงพบว่า ที่โวลต์ความต้านทาน มีค่าน้อย $100\ \Omega\text{-}1\ \text{k}\ \Omega$ การตอบสนองทางแสงจะมีลักษณะเป็นสองช่วง โดยช่วงแรกเป็นผลมาจากบริเวณนิวทรัล และช่วงที่สองเป็นผลมาจากบริเวณปลอดพาหะซึ่งเป็นกระแสแสงส่วนมากของตัวตรวจวัด

แสงและจากการทดลองพบว่า โวลต์ความต้านทานที่มีค่าน้อยจะมีความถี่คutoffที่สูงกว่าโวลต์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานที่มีค่ามาก เนื่องจากค่าคงที่ทางเวลามีค่าน้อยกว่า ทำให้การตอบสนองทางความถี่สูงกว่า และที่โหนดความต้านทานเท่าเดิม การให้ไบแอสมากกว่าจะทำให้ตัวตรวจวัดแสงสามารถตอบสนองความถี่ได้สูงกว่า เนื่องจากการขยายตัวของบริเวณปัดลอคพาหะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อมีค่าลดลงค่าคงที่ทางเวลาก็จะมีค่าน้อยลงด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] สมเกียรติ สุกเดช. **เซมิคอนดักเตอร์ดีไวซ์**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [2] คุสิต เครื่องาม. **สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ เทคโนโลยี และการใช้งาน เล่ม 1**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
- [3] สมเกียรติ สุกเดช. **เซมิคอนดักเตอร์ฟิสิกส์**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [4] ชนศ โชะเหม. “การออกแบบและการสร้างตัวตรวจวัดแสงชนิด Al/n-Si/Al แบบพลาแนร์” วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [5] เจริญ เพชรมณี. **เรียนลัด LabVIEW**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



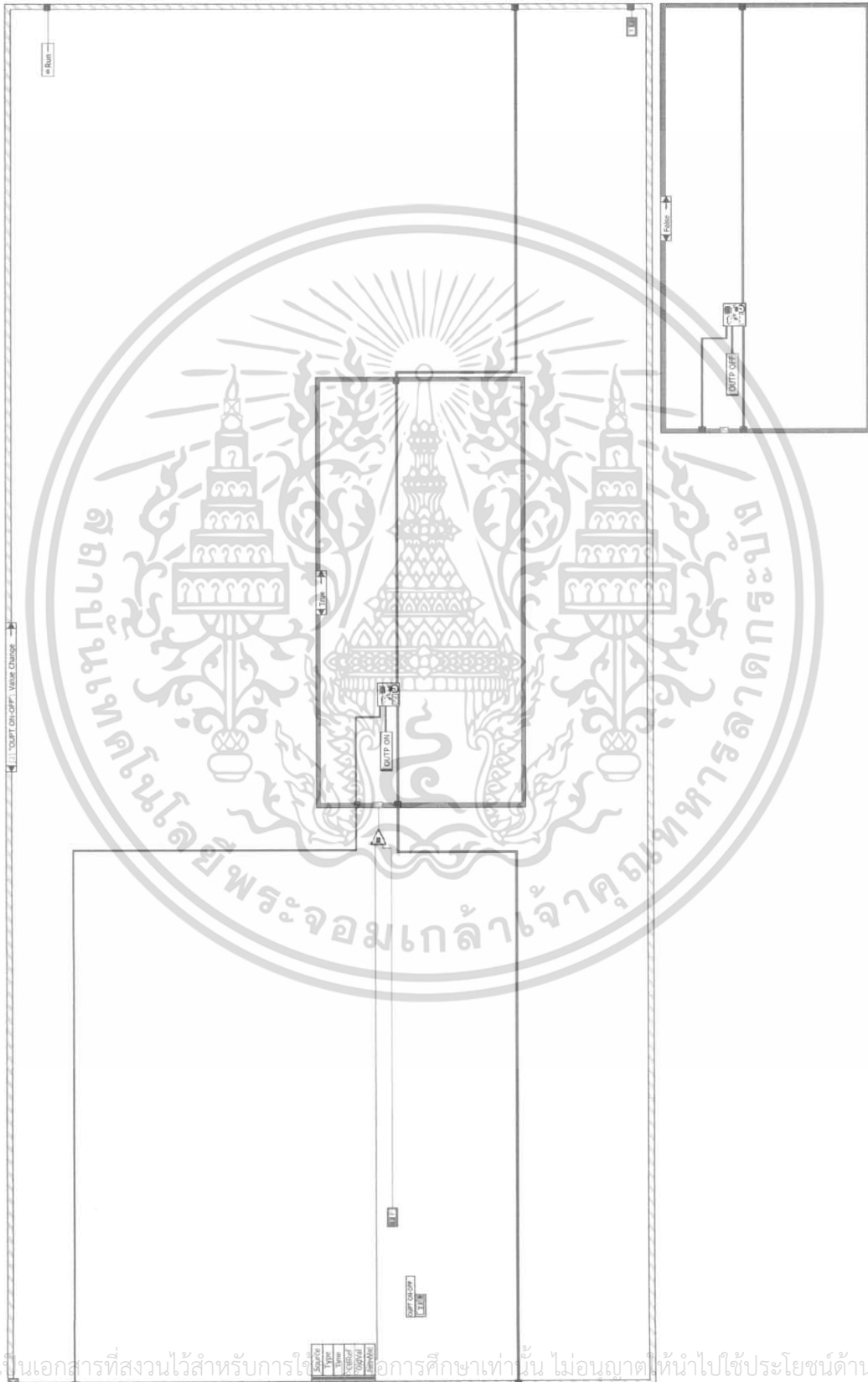
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้