

การศึกษาคุณสมบัติทางแสงแบบตรงของโครงสร้างแบบอินเตอร์ดิจิต
ของ Al/n - Si/Al

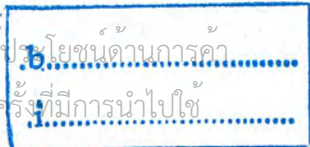
STUDY ON DC OPTICAL CHARACTERISTIC OF Al/n - Si/Al
INTERDIGITATED STRUCTURE



นาย สุรียา โปธิโสภณ
นาย ขจรวุฒิ ทิมบุญธรรม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 55443
วัน,เดือน,ปี - 9 พ.ค. 2548



การศึกษาคุณสมบัติทางแสงแบบตรงของโครงสร้างแบบอินเตอร์ดิจิต

ของ Al/n – Si/Al

STUDY ON DC OPTICAL CHARACTERISTIC OF Al/n – Si/Al

INTERDIGITATED STRUCTURE

โดย

นาย สุริยา โปธิโสภณ รหัส 44015225

นาย ขจรวุฒิ ทิมบุญธรรม รหัส 44015230

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2546

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การศึกษาคูสมบัติทางแสงแบบตรงของโครงสร้าง

แบบอินเตอร์ดิจิตของ Al/n – Si/Al

STUDY ON DC OPTICAL CHARACTERISTIC

OF Al/n – Si/Al INTERDIGITATED STRUCTURE

นักศึกษาผู้จัดทำ

นายสุรียา โพธิ์โสภณ รหัส 44015225

นาย ขจรวุฒิ ทิมบุญธรรม รหัส 44015230



(ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ

การศึกษาคุณสมบัติทางแสงแบบตรงของโครงสร้าง
แบบอินเตอร์ดิฟิเคตของ Al/n – Si/Al
STUDY ON DC OPTICAL CHARACTERISTIC
OF Al/n – Si/Al INTERDIGITATED STRUCTURE

นักศึกษาผู้จัดทำ

นาย สุริยา โพธิ์โสภณ รหัส 44015225
นาย ขจรวุฒิ ทิมบุญธรรม รหัส 44015230



ปริญญานิพนธ์นี้ได้ผ่านการตรวจสอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การศึกษาคุณสมบัติทางแสงแบบตรงของโครงสร้าง
แบบอินเตอร์ดิจิตัลของ Al/n – Si/Al

STUDY ON DC OPTICAL CHARACTERISTIC
OF Al/n – Si/Al INTERDIGITATED STRUCTURE

นักศึกษาผู้จัดทำ

นาย สุริยา โพธิ์โสภณ รหัส 44015225

นาย ขจรวุฒิ ทิมบุญธรรม รหัส 44015230

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

ปีการศึกษา

2546

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับตัวตรวจจับแสงที่เป็นโฟโตนิกไดโอด Al/n – Si/Al แบบ Interdigitated ซึ่งมีรอยสัมผัสแบบโลหะ – สารกึ่งตัวนำ เนื่องจากโครงสร้างนี้ไม่ทำให้เกิดตัวเก็บประจุระหว่างรอยต่อเหมือนกับโฟโตนิกไดโอดแบบพีเอ็น ทำให้มีการทำงานที่เร็วกว่า คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของโฟโตนิกไดโอดประเภทนี้สามารถใช้ทฤษฎีของรอยสัมผัสช็อตที่มาอธิบายได้ โครงงานนี้ได้ศึกษาผลของขนาดของตัวรับแสงต่อปริมาณกระแสแสงโดยทำการเปลี่ยนค่าของพื้นที่ที่รับแสงและพื้นที่ส่วนที่เป็นโลหะ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของปริมาณแสงที่ตกกระทบต่อปริมาณกระแสแสงของโครงสร้างดังกล่าวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การศึกษาคุณสมบัติทางแสงแบบตรงของ โครงสร้าง
แบบอินเตอร์ดิจิตของ Al/n – Si/Al

STUDY ON DC OPTICAL CHARACTERISTIC

OF Al/n – Si/Al INTERDIGITATED STRUCTURE

นักศึกษาผู้จัดทำ

นาย สุริยา โพธิ์โสภณ รหัส 44015225

นาย ขจรวุฒิ ทิมบุญธรรม รหัส 44015230

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

ปีการศึกษา

2546

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับตัวตรวจจับแสงที่เป็นโฟโตนิกไดโอด Al/n – Si/Al แบบ Interdigitated ซึ่งมีรอยสัมผัสแบบโลหะ – สารกึ่งตัวนำ เนื่องจากโครงสร้างนี้ไม่ทำให้เกิดตัวเก็บประจุระหว่างรอยต่อเหมือนกับโฟโตนิกไดโอดแบบพีเอ็น ทำให้มีการทำงานที่เร็วกว่า คุณสมบัติทางค่านไฟฟ้าของโฟโตนิกไดโอดประเภทนี้สามารถใช้ทฤษฎีของรอยสัมผัสช็อคกิ้งมาอธิบายได้ โครงงานนี้ได้ศึกษาผลของขนาดของตัวรับแสงต่อปริมาณกระแสแสงโดยทำการเปลี่ยนค่าของพื้นที่ที่รับแสงและพื้นที่ส่วนที่เป็นโลหะ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของปริมาณแสงที่ตกกระทบต่อปริมาณกระแสแสงของโครงสร้างดังกล่าวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Study on Dc Optical Characteristic of Al/n – Si/Al Interdigitated Structure
Authors Mr. Suriya Phosophon 44015225
Mr.khachonwut Thimbuntham 44015230
Thesis Advisor Asst.Prof. Surasak Niemcharoen
Year 2003

ABSTRACT

The Photodetector used in this is an Al/n – Si/Al interdigitated photodiode with metal – semiconductor contact . Because a metal – semiconductor contact doesn 't have capacitance effect at the contact as it does on a p – n contact , therefore it is more sensitive to light . The electrical characteristic of this structure can be explained by using the schottky contact theory . By changing the size of detector area and metal area , we study the effect of photodetector size on amount of dark current and photo current . In addition we also study the effect of amount of light on light current .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ ที่ได้กรุณาให้คำชี้แนะแนวทางการทำงานตลอดจนขอบเขตการทำงาน พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางการแก้ไขปัญหา รวมทั้งรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์

ขอบคุณรุ่นพี่ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือในทุกด้านด้วยดีตลอดมา จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงมาได้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ช่วยให้กำลังในตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีควอนตัมของแสง	3
2.2 โฟโตดีเทกเตอร์หรือตรวจจับแสง (Photo Detector)	4
2.3 ความสัมพันธ์ของแสงกับความกว้างของแถบพลังงาน	4
2.4 ความสัมพันธ์ของความถี่และความยาวคลื่น	5
2.5 สารกึ่งตัวนำแถบช่องตรงและแถบช่องไม่ตรง	6
2.6 พฤติกรรมของอิเล็กทรอนิกส์อนตอแสงในสารกึ่งตัวนำชนิดแถบช่องไม่ตรง	7
2.7 รอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเฮเทอโรจังก์ชัน	8
2.8 แถบพลังงานของโครงสร้าง MSM	10
2.8.1 แถบพลังงานของโครงสร้างซอติดีไอโอด	10
2.8.2 แถบพลังงานของโฟโต้ไดโอดในสถานะสมดุลความร้อน	11
2.8.3 แถบพลังงานเมื่อได้รับไบอัสของโฟโต้ไดโอด	12
2.8.3.1 ผลของแสงต่ออิเล็กทรอนิกส์อนในโลหะและสารกึ่งตัวนำในรอยสัมผัสที่ 1	12
2.8.3.2 กระแสรั่วไหลที่รอยสัมผัสที่ 1	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.3.3 ผลของแสงต่ออิเล็กทรอนิกส์ในโลหะและสารกึ่งตัวนำในรอย สัมผัสที่ 2	13
2.8.3.4 กระแสรั่วไหลที่รอยสัมผัสที่ 2	14
2.8.3.5 แถบพลังงานเมื่อได้รับไบอัสของรอยสัมผัสโลหะ สารกึ่งตัวนำ	14
2.8.4 กราฟกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดในทางอุดมคติ	15
บทที่ 3 การออกแบบ	17
3.1 การออกแบบโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM	17
3.1.1 ลักษณะทั่วไปของการออกแบบและพารามิเตอร์ที่สำคัญ	17
3.1.2 การออกแบบชุด A (ชุดที่ 1)	20
3.1.3 การออกแบบชุด B (ชุดที่ 2)	24
3.1.4 การออกแบบชุด C (ชุดที่ 3)	28
3.2 กระบวนการสร้างกระจกมาส์กต้นแบบ	31
3.2.1 การเตรียมน้ำยาฟیکเซอร์ (Fixer)	31
3.2.2 การเตรียมน้ำยาดิวเวลลอปเปอร์ (Developer)	32
3.2.3 การเตรียมกระจกมาส์ก	32
3.2.4 การถ่ายกระจกมาส์ก	32
3.2.5 ขั้นตอนการขึ้นลวดลาย	32
3.3 กระบวนการสร้างโฟโตไดโอด	33
3.3.1 ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง AI/n – Si/AI	35
3.4 กระบวนการแพกเกจจิ้ง	38
3.4.1 การแยกชิปแต่ละตัว	38
3.4.2 การติดตั้งชิปบนแผ่น PCB	38
3.4.3 การเชื่อมแพคเข้ากับหลักต่อสาย	38
3.4.4 การเชื่อมต่อระหว่างแพค	38
3.5 การจัดคุณลักษณะทางกระแสไฟฟ้าและแรงดัน	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	40
4.1 ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของจำนวนคู่ของโฟโตไดโอด ต่อการไหลของกระแสมีด	40
4.1.1 ผลของกระแสมีดต่อโฟโตไดโอด A	40
4.2 ผลทดลองการหาความสัมพันธ์ของจำนวนคู่ของโฟโตไดโอด ต่อการไหลของกระแสแสง	44
4.3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของความเข้มแสงค่าต่าง ๆ ต่อการไหลของกระแสแสง	46
4.4 ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของกระแสกับพารามิเตอร์ ของโฟโตไดโอดชุด A, B และ C	48
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	49
หนังสืออ้างอิง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ไฟฟ้าแสง	3
2.2 การทำงานของโฟโตคอนดักเตอร์ชนิดโฟโตคอนดักทีฟ	4
2.3 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากชั้นแถบความนำมายังแถบอินยอมของ สารกึ่งตัวนำแถบช่องตรงและแถบช่องไม่ตรง	6
2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำแถบช่องตรง	7
2.5 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของรอยสัมผัสระหว่างโลหะ และสารกึ่งตัวนำ	9
2.6 Back to Back Diode	10
2.7 แถบพลังงานของซีกกึ่งไดโอด สองตัวที่มีความสมมาตรกันใน โครงสร้าง โฟโตไดโอด Al/n-Si/Al	11
2.8 แถบพลังงานของโฟโตไดโอด MSM ในสถานะสมดุลความร้อน	11
2.9 การต่อไบอัสให้รอยสัมผัสทั้งสองของโฟโตไดโอด	12
2.10 แถบพลังงานของรอยสัมผัส โลหะสารกึ่งตัวนำที่รอยสัมผัสที่ 1	12
2.11 แถบพลังงานของรอยสัมผัส โลหะ – สารกึ่งตัวนำที่รอยสัมผัสที่ 1	13
2.12 ลักษณะแถบพลังงานของโฟโตไดโอด MSM กรณี Narrow Band ขณะได้รับไบอัส	14
2.13 กราฟกระแสอิ่มตัวของโฟโตไดโอดในทางอุดมคติ	15
2.14 กราฟกระแสแสงของโฟโตไดโอดในทางอุดมคติ	16
3.1 โครงสร้างโฟโตไดโอด MSM แบบพลาการี่	17
3.2 ลวดลายของโฟโตไดโอดที่ใช้ทำกระจกมาสก์	17
3.3 ลักษณะของส่วนที่เป็นโลหะและพื้นที่รับแสง	18
3.4 ค่าพารามิเตอร์ของโฟโตไดโอดชุด A	21
3.5 โฟโตไดโอดหมายเลข A1 , A2	21
3.6 โฟโตไดโอดหมายเลข A3 , A4	22
3.7 โฟโตไดโอดหมายเลข A5, A6	22
3.8 โฟโตไดโอดหมายเลข A7 , A8	23

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 โฟโตไดโอดหมายเลข A9 , A10	23
3.10 โฟโตไดโอดหมายเลข A11 , A12	24
3.11 ค่าพารามิเตอร์ของโฟโตไดโอดชุด B	25
3.12 โฟโตไดโอดหมายเลข B1 , B2	25
3.13 โฟโตไดโอดหมายเลข B3 , B4	26
3.14 โฟโตไดโอดหมายเลข B5 , B6	26
3.15 โฟโตไดโอดหมายเลข B7 , B8	27
3.16 โฟโตไดโอดหมายเลข B9 , B10	27
3.17 โฟโตไดโอดหมายเลข B11 , B12	28
3.18 ค่าพารามิเตอร์ของโฟโตไดโอดชุด C	29
3.19 โฟโตไดโอดหมายเลข C1 , C2	29
3.20 โฟโตไดโอดหมายเลข C3 , C4	30
3.21 โฟโตไดโอดหมายเลข C5 , C6	30
3.22 แสดงการผสมน้ำยา Fixer	31
3.23 แผนผังแสดงขั้นตอนการขึ้นลวดลาย	32
3.24 กระบวนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n - Si/Al	33
3.24 กระบวนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n - Si/Al (ต่อ)	34
3.25 ลำดับขั้นตอนการสร้างโฟโตไดโอด	34
3.26 การวัดค่ากระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดขณะไม่มีแสง	39
3.27 การวัดค่ากระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดขณะมีแสง	39
4.1 กระแสมืดของโฟโตไดโอด A	41
4.2 กระแสมืดของโฟโตไดโอด B	41
4.3 กระแสมืดของโฟโตไดโอด C	42
4.4 กระแสแสงของโฟโตไดโอด A (10 ไมครอน)	43
4.5 กระแสแสงของโฟโตไดโอด B (60 ไมครอน)	43
4.6 กระแสแสงของโฟโตไดโอด C (2000 ไมครอน)	44
4.7 กระแสแสงของโฟโตไดโอด A	45
4.8 กระแสแสงของโฟโตไดโอด B	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 กระแสแสงของโฟโตไดโอด C	46
4.10 กระแสแสงของโฟโตไดโอด A ที่ความเข้มค่าต่าง ๆ	47
4.11 กระแสแสงของโฟโตไดโอด B ที่ความเข้มค่าต่าง ๆ	47
4.12 กระแสแสงของโฟโตไดโอด C ที่ความเข้มค่าต่าง ๆ	48
4.13 กระแสของโฟโตไดโอด A เมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ S	49
4.14 กระแสของโฟโตไดโอด B เมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ W	49
4.15 กระแสของโฟโตไดโอด C เมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ L	50
4.16 เปรียบเทียบกระแสแสงของชุด A, B, C	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปรตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าความกว้างแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ	5
3.1 ขนาดของพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง	19
3.2 ขนาดพารามิเตอร์ S ของโฟโตไดโอดชุด A	20
3.3 ขนาดพารามิเตอร์ W ของโฟโตไดโอดชุด B	24
3.4 ขนาดพารามิเตอร์ L ของโฟโตไดโอดชุด C	28
4.1 ค่าพารามิเตอร์ A , B , C ขณะกระแสมีด	40
4.2 กระแสมีดที่แรงดัน 5 V	40
4.3 ค่าของกระแสมีดของโฟโตไดโอดทั้ง 3 ชุด	42
4.4 ค่าพารามิเตอร์ชุด A , B , C ขณะกระแสแสง	44
4.5 กระแสแสงของโฟโตไดโอดชุด A , B , C ที่แรงดัน 5 V	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำตัวหนึ่งที่มีการใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวางในปัจจุบันคืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง (Optical Electronics) ซึ่งได้มีการพัฒนาขีดความสามารถในการทำงานรวมทั้งวัสดุที่เลือกใช้ให้เหมาะสำหรับการใช้งานมาตามลำดับ ตัวตรวจจับแสง (Photodetector) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงตัวหนึ่งที่น่าสนใจในศึกษาค้นคว้า จากที่ทราบกันมาว่าอุปกรณ์เช่นเซออร์ที่ติดตั้งต้องมีการทำงานที่เชื่อถือได้ มีความถูกต้องแม่นยำสูง อุปกรณ์เช่นเซออร์ทางแสงนั้นจะไม่มีผลกระทบระหว่างอุปกรณ์และสิ่งที่ต้องการตรวจวัดจึงทำให้การใช้งานสะดวก การทำงานรวดเร็วถูกต้องสูง น้ำหนักเบา ไม่มีส่วนที่ต้องเคลื่อนที่ ผลของสภาวะแวดล้อมมีผลน้อยมากต่อการทำงาน จึงได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง

ตัวตรวจจับแสงจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงที่ตกกระทบให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการที่แสงเป็นอนุภาคที่เรียกว่าโฟตอน ในการเลือกวัสดุที่นำมาสร้างจำเป็นต้องมีการศึกษาคุณสมบัติที่สำคัญต่อการทำงานคือ คุณสมบัติการดูดกลืนแสง (Optical Absorption) ความไวต่อรังสีของแสง (Optical Radiation) จากการทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับแสงจึงได้ถูกนำไปใช้ในวงจรส่วนที่เป็นภาครับ (Receiver) เช่น ในส่วนรับสัญญาณรีโมทคอนโทรลในเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือทำงานในลักษณะที่เรียกว่า Demodulator เพื่อแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าในเครื่องเล่นคอมแพคดิสก์ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al โดยการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของลวดลายที่ออกแบบ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อการไหลของกระแสและความเข้มของแสงที่ตกกระทบ จากนั้นจึงสร้างกระจกมาสก์ตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วทำการสร้างตัวอุปกรณ์ขึ้นมา เนื่องจากตัวตรวจจับแสงที่สร้างขึ้นและถูกนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรมในปัจจุบันนี้ ถูกสร้างขึ้นจากแกเลียมอาเซไนด์ (GaAs) เป็นส่วนใหญ่ด้วยเหตุผลที่ว่าการทำงานในย่านความถี่สูงนั้นแกเลียมอาเซไนด์จะทำงานได้ดีกว่าซิลิคอน และด้วยจุดเด่นอีกข้อของแกเลียมอาเซไนด์ในงานทางด้านแสงก็คือ การที่แกเลียมอาเซไนด์มีแถบพลังงานที่เป็นแบบช่องตรง (Direct Band Gap) ทำให้การปลดปล่อยและการดูดกลืนแสงทำได้ดีกว่าซิลิคอนที่มีแถบพลังงานเป็นแบบแถบช่องไม่ตรง (Indirect Band Gap) แต่เนื่องด้วยซิลิคอนนั้นเป็นสารกึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำที่หาได้ง่ายและราคาถูกกว่า อีกทั้งเทคโนโลยีเกี่ยวกับซิลิคอนนั้นก็พัฒนาไปมาก เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่เลือกใช้ซิลิคอนใน โครงสร้างของตัวตรวจจับแสงในงานวิจัยนี้

1.3 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Interdigitated ของ Al/n-Si/Al
2. ศึกษาการออกแบบลวดลายที่ใช้ในการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Interdigitated ของ Al/n-Si/Al
3. ศึกษากระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Interdigitated ของ Al/n-Si/Al

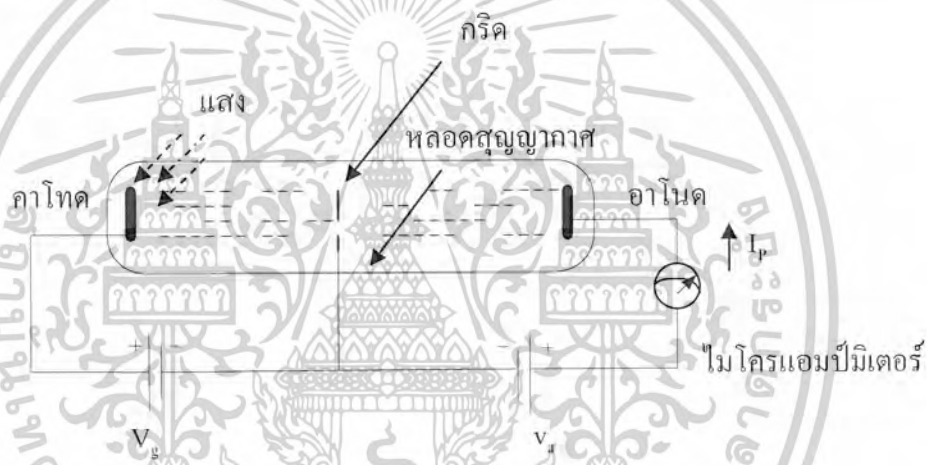


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีควอนตัมของแสง [4]

แสงเป็นกลุ่มของพลังงานควอนตัม หรือเรียกว่า โฟตอน (Photon) จำนวนมาก สามารถนำทฤษฎีควอนตัมแสงมาอธิบายปรากฏการณ์ไฟฟ้าแสง จากการทดลองของเฮนริค เฮิร์ตซ์ (Henric Hertz) ได้ทำการทดลองและพบว่า กระแสไฟฟ้าสามารถข้ามช่องว่างได้ดี ถ้าหากขั้วไฟฟ้าทั้งสองได้รับการฉายแสงที่เกิดจากไฟอาร์ค (Arc Light) เมื่อพลังงานของแสงมีค่ามากพอจะสามารถทำให้อิเล็กตรอนที่ขั้วคาโทดซึ่งเป็นโลหะหลุดออกมา เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศและมาถึงขั้วแอโนดจะทำให้เกิดกระแสไหลได้



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ไฟฟ้าแสง

จากปรากฏการณ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการให้พลังงานแสงตกกระทบผิวโลหะที่มีค่ามากกว่าระดับพลังงานค่าหนึ่งในโลหะที่เรียกว่าฟังก์ชันงาน จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล ปรากฏการณ์ที่แสงมีผลทำให้อิเล็กตรอนหลุดหนีออกไปจากผิวโลหะได้นี้เรียกว่า “ปรากฏการณ์ไฟฟ้าแสง” (Photo Electric Effect)

จากการทดลองปรากฏการณ์ไฟฟ้าแสงทำให้ได้ข้อสรุปว่า อิเล็กตรอนจะหลุดจากโลหะได้ก็ต่อเมื่อความถี่ของแสงมีค่าเท่ากับ หรือมากกว่าความถี่ขีดเริ่ม (Threshold Frequency) ความถี่ที่ต่ำกว่านี้แม้จะมีความเข้มมากก็ไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ไฟฟ้าแสงได้ และวัสดุต่างชนิดกัน ความถี่ขีดเริ่มจะต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

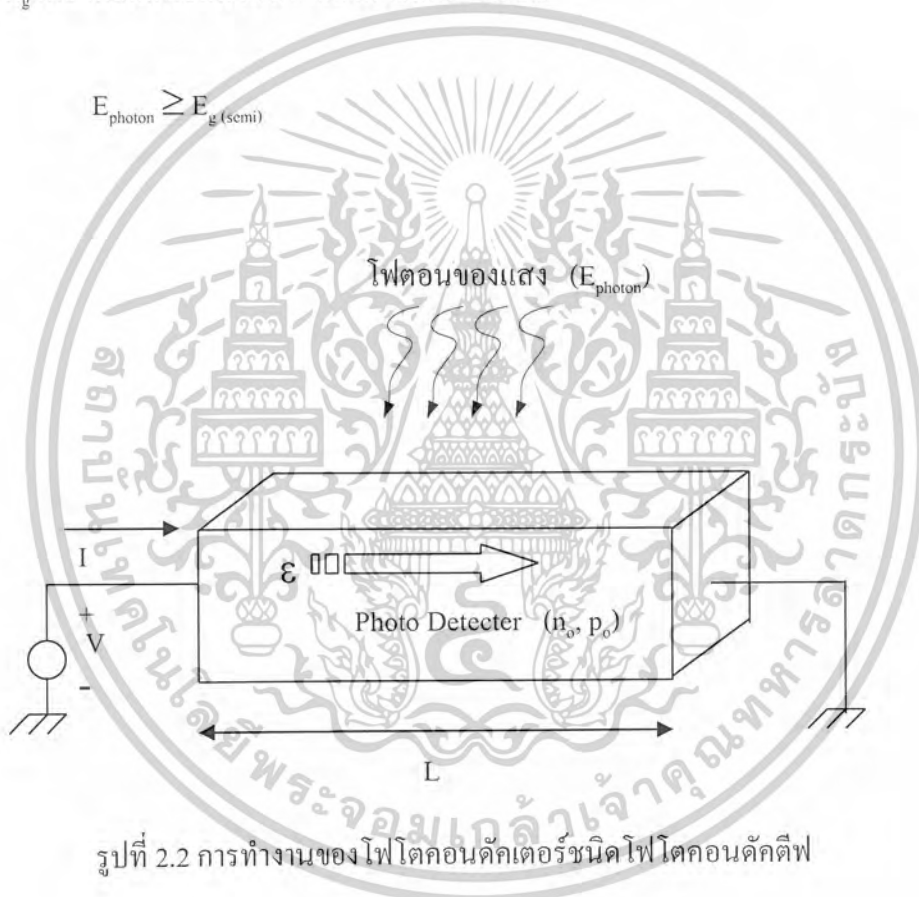
2.2 โฟโตดีเทคเตอร์หรือตัวตรวจจับแสง (Photo Detector) [4]

สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำถูกนำมาใช้เป็นตัวตรวจจับแสง โดยใช้หลักการของการตกกระทบของแสงในหัวข้อ 2.1 พลังงานของโฟตอนแสงจะมีค่าดังสมการที่ 2.1

$$E_{\text{photon}} = h\nu \quad \dots 2.1$$

โดยพลังงานของแสงที่ตกกระทบสารกึ่งตัวนำต้องมีค่ามากกว่าความกว้างของแถบพลังงานต้องห้าม E_g เพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลได้ดังสมการที่ 2.2

$$E_{\text{photon}} \geq E_{g(\text{semi})} \quad \dots 2.2$$



รูปที่ 2.2 การทำงานของโฟโตคอนดักเตอร์ชนิดโฟโตคอนดักตีฟ

2.3 ความสัมพันธ์ของแสงกับความกว้างของแถบพลังงาน [4]

การที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวของโลหะเมื่อได้รับแสงที่มีความถี่เท่ากับความถี่ขีดเริ่มนั้น เปรียบได้กับการที่อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจะเปลี่ยนระดับพลังงานระหว่างแถบนิยอม (Allow Band) และแถบความนำ (Conduction Band) ได้ต้องการระดับพลังงานหนึ่ง มีค่าเท่ากับ $E = h\nu$ และในสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันระดับพลังงานที่ต้องการในการเปลี่ยนชั้นของอิเล็กตรอนก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าไม่เท่ากันด้วย จึงทำให้คุณสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ระดับพลังงานที่กล่าวถึงนี้คือแถบพลังงานต้องห้าม E_g (Energy Band Gap) แสดงในตารางที่ 2.1

สารกึ่งตัวนำ	$E_g(300^\circ\text{K})$
GaAs	1.412 eV
Si	1.125 eV
Ge	0.663 eV

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความกว้างแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ

ในซิลิคอนความกว้างแถบพลังงานต้องห้ามจะมีค่า 1.125 eV แกลเลียมอาร์เซไนด์มีค่า 1.422 eV จะเห็นได้ว่าแกลเลียมอาร์เซไนด์ใช้พลังงานในการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนชั้นพลังงานมากกว่าซิลิคอน

ค่าความถี่แสงที่ทำให้อิเล็กตรอนสามารถข้ามแถบพลังงานต้องห้ามได้นั้นหาได้จากสมการที่ 2.3

$$E_g = h\nu \quad \dots 2.3$$

เมื่อ E_g คือค่าของระดับแถบพลังงานต้องห้าม (eV)

h คือค่าคงที่ของพลังค์ มีค่า 6.626×10^{-34} (J-Sec)

ν คือค่าความถี่ของแสงที่ตกกระทบ (Hz)

2.4 ความสัมพันธ์ของความถี่และความยาวคลื่น [4]

จากระดับพลังงานแถบต้องห้ามที่ต่างกันทำให้ความถี่ของแสงที่ตกกระทบเพื่อให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนชั้นพลังงานนั้นต่างกัน ดังสมการที่ 2.4

$$\nu = c / \lambda \quad \dots 2.4$$

เมื่อ c คือค่าความเร็วแสงมีค่า 3×10^8 m/s

λ คือค่าความยาวคลื่น (m)

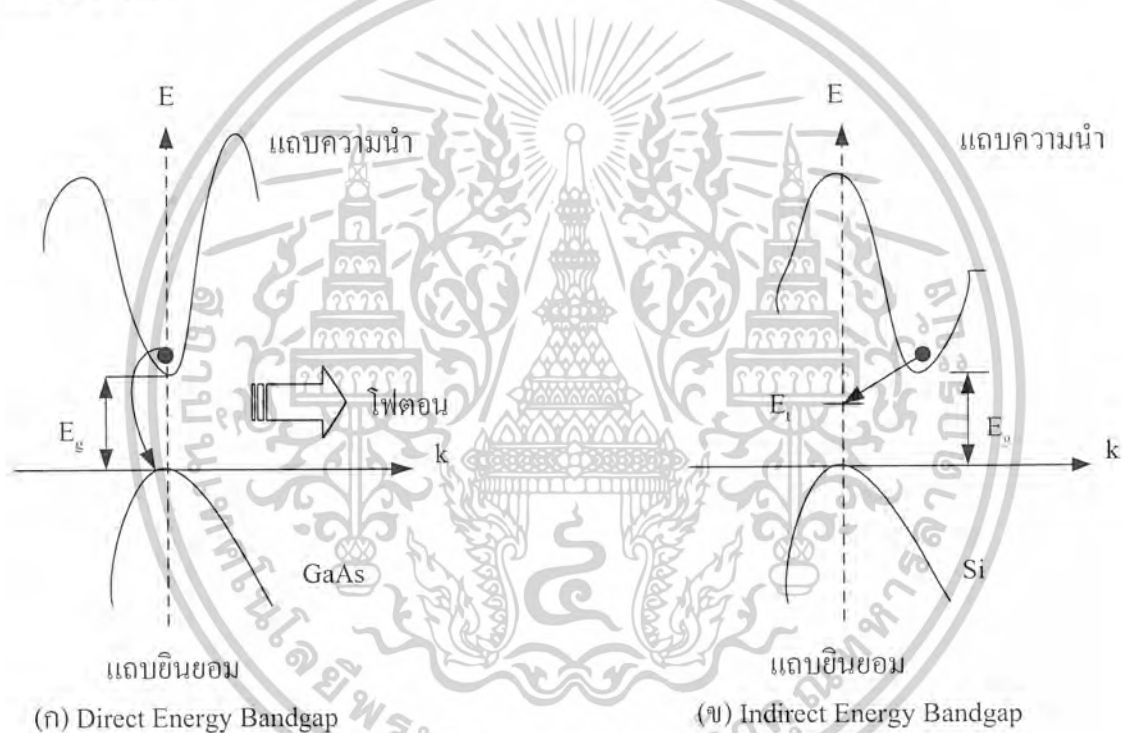
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของความถี่และความยาวคลื่นแสดงให้เห็นว่าความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบสารกึ่งตัวนำจนทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานมากกว่า E_g ในกรณีที่สารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันจะมีค่าต่างกันด้วย โดยความยาวคลื่นสูงสุดที่ทำให้เกิดการดูดกลืนแสงได้จะมีค่าดังสมการที่ 2.5

$$\lambda_{\max} = hc / E_g \quad \dots 2.5$$

2.5 สารกึ่งตัวนำแถบช่องตรงและแถบช่องไม่ตรง [3]

สารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานแถบช่องตรงจะมีคุณสมบัติทางแสงดีกว่าแบบแถบช่องไม่ตรง สารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานแบบช่องตรงได้แก่ GaAs ส่วนซิลิคอนมีแถบพลังงานเป็นแบบแถบช่องไม่ตรง



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากชั้นแถบความนำมายังแถบอินยอมของสารกึ่งตัวนำแถบช่องตรงและแถบช่องไม่ตรง

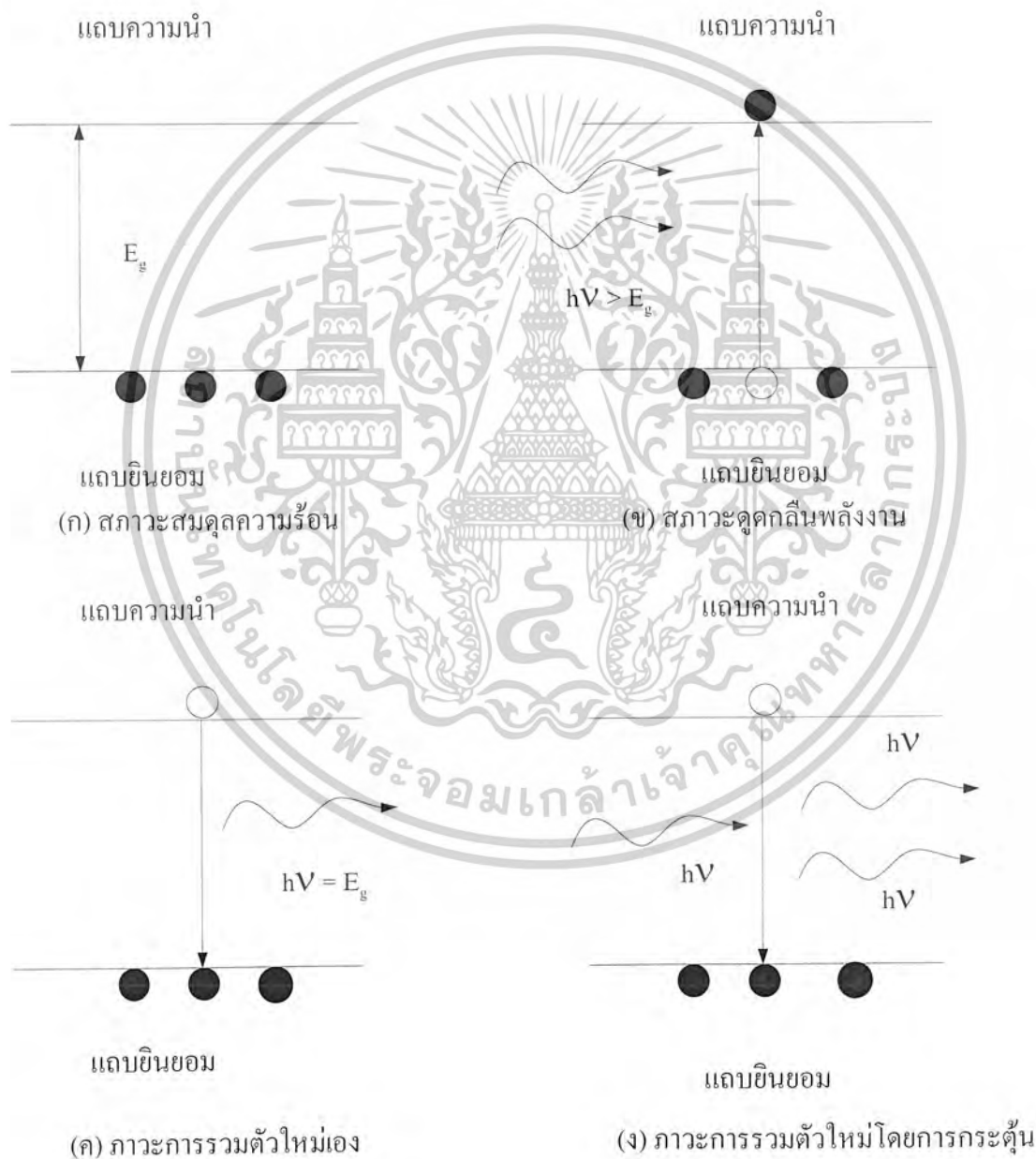
ในกรณีของสารกึ่งตัวนำแถบช่องตรง พลังงานโฟตอนจากแสงมีค่าเท่ากับ $h\nu$ สามารถที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากจุดสูงสุดของแถบอินยอม ให้ขึ้นไปอยู่จุดต่ำสุดของแถบความนำได้โดยตรง และอิเล็กตรอนที่จุดต่ำสุดของแถบความนำก็สามารถที่จะตกลงมาโดยตรงยังจุดสูงสุดของแถบอินยอม โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัม การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนกรณีนี้เกิดได้โดยง่ายทำให้สารกึ่งตัวนำกลุ่มนี้ (GaAs) ดูดกลืนพลังงานได้ดี ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิคอน อิเล็กตรอนในแถบความนำไม่สามารถตกลงมาบนแถบยีนยอมได้โดยตรง เพราะจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานก่อน โดยการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัม เพื่อให้อยู่ที่จุดต่ำสุดของแถบความนำก่อนแล้วจึงตกลงสู่แถบความนำ ดังนั้นซิลิคอนจึงมีการดูดกลืนพลังงานที่ไม่ค่อยดีแต่ยังพอที่จะสามารถนำมาใช้ได้

2.6 พฤติกรรมของอิเล็กตรอนต่อแสงในสารกึ่งตัวนำชนิดแถบช่องไม่ตรง

เมื่ออิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำได้รับการกระตุ้นด้วยพลังงานแสงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำแถบช่องไม่ตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4(ก) ที่ภาวะสมดุลความร้อนการเกิดอิเล็กตรอนอิสระและการรวมตัวใหม่มีค่าเท่ากันเสมือนว่าไม่มีเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานใดๆจนกระทั่งในรูปที่ 2.4(ข) อิเล็กตรอนได้รับพลังงานภายนอกจึงมีการเปลี่ยนชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบนิยอมนไปยังแถบความนำทิ้งให้เกิดโฮลที่แถบนิยอมนพลังงานที่ใช้กระตุ้นให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานนี้จะต้องมีค่ามากกว่า E_g ของสารกึ่งตัวนำ ในรูปที่ 2.4(ค) เมื่อไม่ได้รับพลังงานภายนอกอิเล็กตรอนในแถบความนำจะเปลี่ยนระดับพลังงานมาแถบนิยอมนเพื่อรวมตัวใหม่ขณะที่เปลี่ยนระดับพลังงานนี้จะปลดปล่อยพลังงานออกมามีค่า $h\nu = E_g$ และรูปที่ 2.4(ง) ถ้ามีการกระตุ้นด้วยพลังงานด้วยการเปลี่ยนชั้นพลังงานและการปลดปล่อยพลังงานจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2.7 รอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นในอุดมคติ [4]

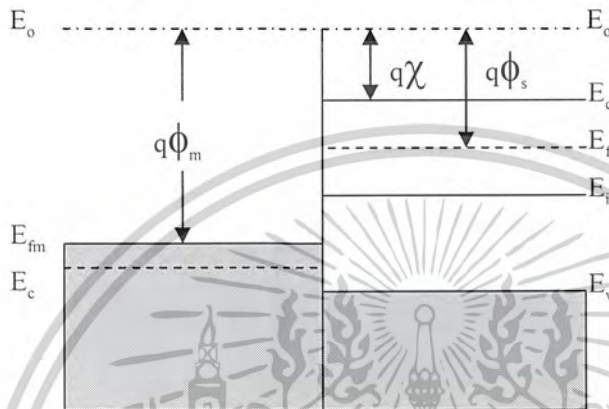
ลักษณะแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำในอุดมคติของโฟโตไดโอด MSM จะมีลักษณะเดียวกันกับการนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำในชนิดที่ไดโอด เมื่อ $q\phi_m > q\phi_s$ ในภาวะเมื่อเริ่มสัมผัส เขียนแสดงได้ดังในรูปที่ 2.5(ข) จะเห็นว่าแถบพลังงานมีลักษณะเป็นแถบราบเป็นปกติ แต่ภายหลังกการสัมผัสจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เนื่องจากค่าฟังก์ชันงานของสารทั้งสองไม่เท่ากัน โดยฟังก์ชันงานของโลหะ $q\phi_m$ มีค่ามากกว่า $q\phi_s$ ของสารกึ่งตัวนำดังนั้นจะเห็นว่าระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำอยู่สูงกว่าระดับเฟอร์มิของโลหะ จึงทำให้เกิดมีการถ่ายเทประจุระหว่างโลหะทั้งสอง กล่าวคืออิเล็กตรอนจากด้านสารกึ่งตัวนำจะเคลื่อนที่แพร่เข้าไปทางด้านโลหะ ทิ้งให้เกิดไอออนบวกของอะตอมสารเจือผู้ให้ปรากฏอยู่บริเวณรอยสัมผัสด้านสารกึ่งตัวนำและกลายเป็นบริเวณปลอดพาหะมีความกว้างเท่ากับ w

อิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำซึ่งเคลื่อนที่แพร่เข้าไปในโลหะ จะไปสะสมอยู่ในโลหะเฉพาะบริเวณผิวสัมผัสเท่านั้น ไม่ได้กระจายเข้าไปในส่วนใดของโลหะ ประจุบวกที่เกิดขึ้นจากไอออนบวกของอะตอมผู้ให้ย่านปลอดพาหะ จะมีค่าเท่ากับประจุลบซึ่งสะสมอยู่ที่ผิวสัมผัส (Surface Interface) ทางด้านโลหะ และประจุบวกเหล่านี้จะทำให้มีสนามไฟฟ้าภายในเกิดขึ้นที่บริเวณปลอดพาหะด้านสารกึ่งตัวนำ สนามไฟฟ้างกล่าวนี้ จะมีทิศทางจากด้านสารกึ่งตัวนำไปยังด้านโลหะ เป็นทิศทางที่ต่อต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากด้านสารกึ่งตัวนำไม่ให้แพร่เข้าไปยังด้านโลหะ อย่างไรก็ตาม ในช่วงเวลาแรกๆสนามไฟฟ้าจะมีค่าน้อยจึงไม่สามารถต่อต้านการแพร่ของอิเล็กตรอนได้ทั้งหมด การแพร่ของอิเล็กตรอนจึงยังคงสามารถดำเนินการต่อไปได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไป สนามไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งในที่สุดก็จะมีค่ามากพอที่จะหยุดยั้งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนได้อย่างสมบูรณ์ ขณะนี้รอยสัมผัสจะเข้าสู่ภาวะสมดุลความร้อน ซึ่งกระแสสุทธิที่ไหลผ่านรอยสัมผัสจะมีค่าเป็นศูนย์ สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบริเวณปลอดพาหะด้านสารกึ่งตัวนำ สามารถสังเกตเห็นได้ จากการโค้งงอของแถบพลังงานด้านสารกึ่งตัวนำ ดังรูป 2.5 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

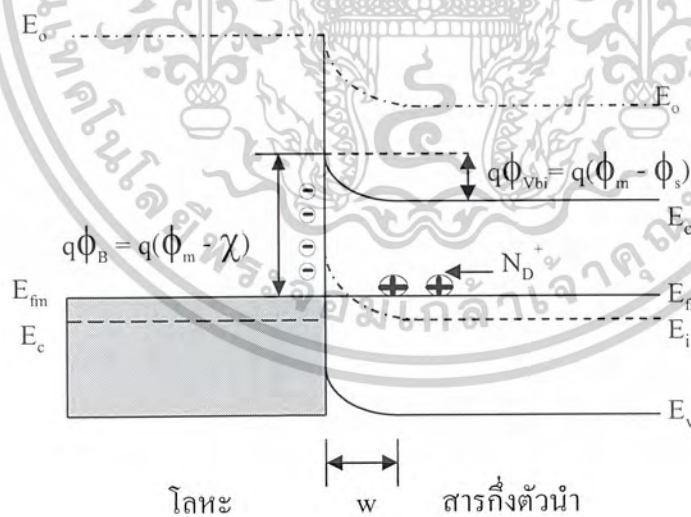


(ก)



โลหะ สารกึ่งตัวนำ

(ข)



โลหะ w สารกึ่งตัวนำ

(ค)

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานของรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นในอุดมคติโดย $q\phi_m > q\phi_s$ (ก) รอยสัมผัสระหว่างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ (ข) ขณะเริ่มสัมผัส (ค) ภายหลังจากสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.5(ข) สภาวะสมดุลความร้อน ระดับเฟอร์มิของสารทั้งสอง จะปรับอยู่ในระดับเดียวกันโดยตลอด การโค้งงอของแถบพลังงานด้านสารกึ่งตัวนำบริเวณรอยสัมผัสโลหะ มีความหมายว่ามีศักย์สัมผัส (Contact Potential : V_{bi}) หรือกำแพงศักย์ (Potential Barrier) เกิดขึ้นในด้านสารกึ่งตัวนำและทำหน้าที่ป้องกันการแพร่ของอิเล็กตรอนในแถบความนำของสารกึ่งตัวนำไม่ให้เข้าไปในด้านโลหะ การโค้งงอของแถบพลังงานในสารกึ่งตัวนำจะมีผลทำให้เกิดการโค้งงอของระดับสูญญากาศในด้านสารกึ่งตัวนำด้วย เนื่องจากอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี $q\chi$ ต้องมีค่าคงที่ การโค้งงอของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำจะมีค่ามากที่สุด ที่ตำแหน่งผิวสัมผัสกับโลหะ ดังนั้นสนามไฟฟ้าที่จุดนี้จะมีค่ามากที่สุด ขณะที่รอยสัมผัสอยู่ในสภาวะสมดุล กระแสที่เกิดขึ้นจากอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ จากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ และจากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำจะมีค่าเท่ากัน กระแสสุทธิที่ผ่านรอยสัมผัสสัมผัสจึงมีค่าเป็นศูนย์ ศักย์สัมผัสหรือแรงดันภายในรอยสัมผัส V_{bi} ซึ่งเป็นกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนจากด้านสารกึ่งตัวนำ มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างฟังก์ชันงานของโลหะและของสารกึ่งตัวนำ ดังนั้น กำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนด้านสารกึ่งตัวนำ คือ

$$q\phi_{vbi} = q(\phi_m - \phi_s) \quad \dots 2.6$$

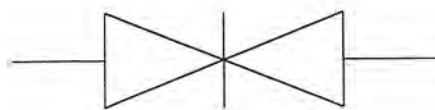
และกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนด้านโลหะซึ่งจะกั้นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากฝั่งโลหะไปด้านสารกึ่งตัวนำซึ่งเราเรียก “ ซ็อตตี้แบริเออร์ ” หรือกำแพงซ็อตตี้มีค่าดังสมการที่ 2.7

$$q\phi_b = q(\phi_m - \chi) \quad \dots 2.7$$

2.8 แถบพลังงานของโครงสร้าง MSM [3]

2.8.1 แถบพลังงานของโครงสร้างซ็อตตี้ไดโอด

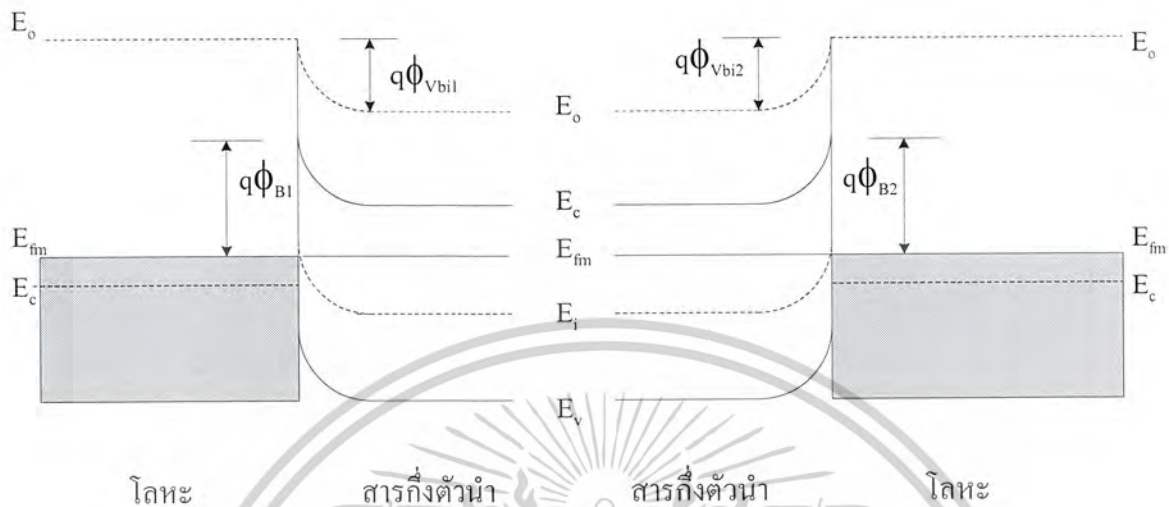
โครงสร้างของโฟโตไดโอด โครงสร้าง MSM คล้ายกับซ็อตตี้ไดโอดสองตัวหันหลังชนกัน (Back to Back Diode) ดังรูปที่ 2.6 ลักษณะที่สมมาตรกันของส่วนที่เป็นโลหะสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำนี้สามารถใช้แถบพลังงานของซ็อตตี้ไดโอดสองตัวที่หันหลังชนกันมาอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของรอยสัมผัสแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะได้



รูปที่ 2.6 Back to Back Diode

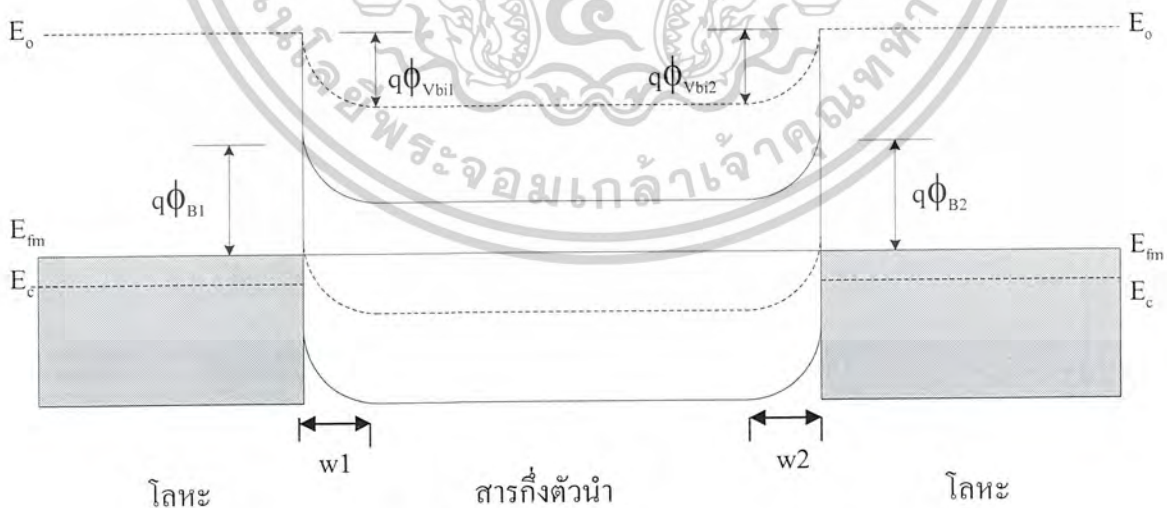
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุนี้แถบพลังงานที่เกิดขึ้นจึงสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบของข้อต่อที่โคโอดที่มีความสมมาตรกันดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แถบพลังงานของข้อต่อโคโอดสองตัวที่มีความสมมาตรกันในโครงสร้างโฟโตโคโอด Al/n-Si/Al

2.8.2 แถบพลังงานของโฟโตโคโอดในสถานะสมดุลความร้อน

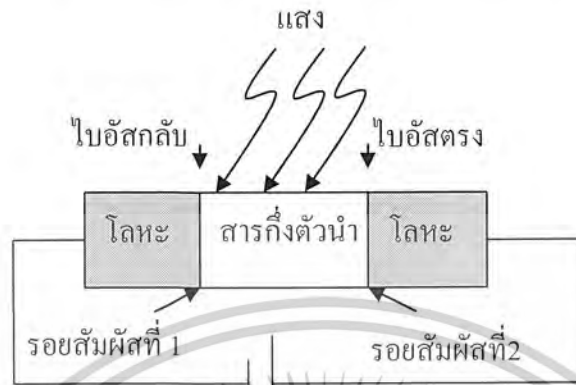


รูปที่ 2.8 แถบพลังงานของโฟโตโคโอด MSM ในสถานะสมดุลความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 แถบพลังงานเมื่อได้รับไบอัสของโฟโตไดโอด

รอยสัมผัสของโฟโตไดโอด MSM มี 2 รอยสัมผัส ผลของแรงดันไบอัสจะทำให้รอยสัมผัสที่ 1 ได้รับไบอัสกลับ และรอยสัมผัสที่ 2 ได้รับไบอัสตรงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การต่อไบอัสให้รอยสัมผัสทั้งสองของโฟโตไดโอด

2.8.3.1 ผลของแสงต่ออิเล็กตรอนในโลหะและสารกึ่งตัวนำในรอยสัมผัสที่ 1

เมื่อได้รับไบอัสกลับรอยสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำที่ 1 จะเกิดการโค้งงอของแถบพลังงาน

ดังรูป 2.10



รูปที่ 2.10 แถบพลังงานของรอยสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำที่รอยสัมผัสที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของพลังงานแสงที่ตกกระทบบรอยสัมผัสแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

ในกรณีที่ $h\nu > q\phi_{Bn}$ อิเล็กตรอนฝั่งโลหะสามารถถูกคู้่นให้ข้ามกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนไปได้บ้าง ซึ่งจะเกิดกระแสไหลจำนวนหนึ่งผ่านโฟโตไดโอด กระแสนี้จะไปรวมกับกระแสรั่วไหล I_0 (Dark Current) จำนวนอิเล็กตรอนที่ข้ามกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนไปได้จะขึ้นอยู่กับความสูงของ $q\phi_{Bn}$

ในกรณีที่ $h\nu > E_g$ ถ้าให้พลังงานกระตุ้นที่มากกว่าแถบพลังงานต้องห้าม ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นในสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนในแถบนิยอมจะข้ามแถบพลังงานต้องห้ามไปยังแถบความนำไฟฟ้าได้ คู่ของอิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นพาหะนำกระแสทำให้กระแสแสงไหล (Photocurrent)

2.8.3.2 กระแสรั่วไหลที่รอยสัมผัสที่ 1

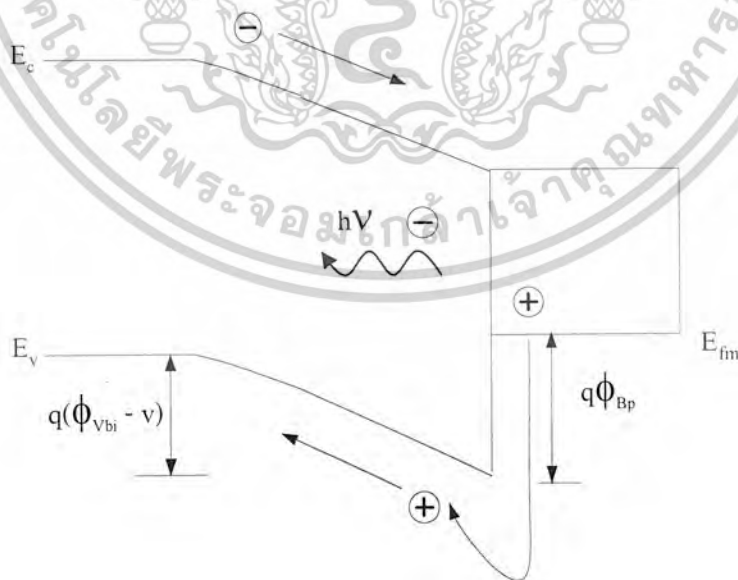
กระแสนี้จะเกิดขึ้นขณะที่รอยสัมผัสที่ 1 ไม่มีแสงตกกระทบบซึ่งมีค่าดังสมการที่ 2.8

$$j_0 = A_n * T^2 e^{\frac{-q\phi_{Bn}}{kT}} \dots 2.8$$

2.8.3.3 ผลของแสงต่ออิเล็กตรอนในโลหะและสารกึ่งตัวนำในรอยสัมผัสที่ 2

เมื่อยรอยสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำที่ 2 ได้รับไปอัสเกิดการโค้งงอของแถบพลังงานดัง

รูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แถบพลังงานของรอยสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำที่รอยสัมผัสที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของพลังงานแสงที่ตกกระทบบรอยสัมผัสแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

ในกรณีที่ $h\nu > q\phi_{Bp}$ ในกรณีนี้โพลฝั่งโลหะสามารถถูกกระตุ้นให้ข้ามกำแพงศักย์ของโพลไปได้อย่างน้อยหนึ่งจำนวนหนึ่งผ่านโฟโตไดโอด กระแสนี้จะไปรวมกับกระแสรั่วไหล I_0 (Dark Current)

ในกรณีที่ $h\nu > E_g$ ถ้าให้พลังงานกระตุ้นที่มากกว่าแถบพลังงานต้องห้ามทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นในสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนในแถบนิยวมจะข้ามแถบพลังงานต้องห้ามไปยังแถบความนำไฟฟ้าได้ ทั้งให้เกิดโพลที่แถบนิยวม คู่อิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นนี้จะพาหะนำกระแสทำให้กระแสแสงไหล (Photocurrent)

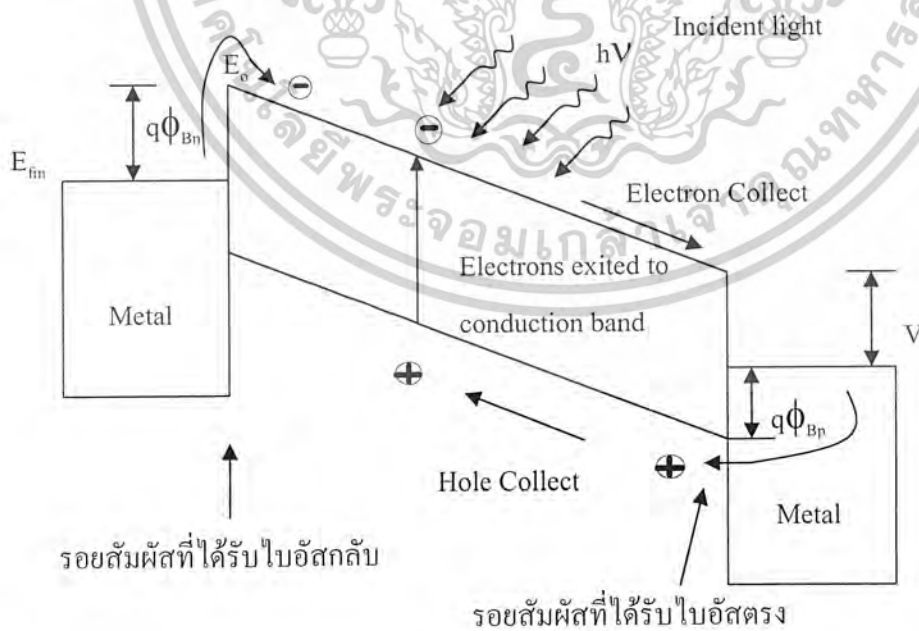
2.8.3.4 กระแสรั่วไหลที่รอยสัมผัสที่ 2

กระแสนี้จะเกิดขึ้นขณะที่รอยสัมผัสที่ 2 ไม่มีแสงตกกระทบบซึ่งมีค่าดังสมการที่ 2.9

$$j_p = A_p * T^2 * e^{\frac{-q\phi_{Bp}}{kT}} \dots 2.9$$

2.8.3.5 แถบพลังงานเมื่อได้รับไบอัสของรอยสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำ

ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างโลหะทั้งสองมีค่าน้อย (Narrow Band) เราสามารถเขียนแถบพลังงานอยู่ในรูปของเส้นตรงและพิจารณาสมการที่ 2.8 และสมการที่ 2.9 รวมทั้งผลของพลังงานแสงที่ตกกระทบบบนสารกึ่งตัวนำทำให้การศึกษาการทำงานของโฟโตไดโอดนั้นง่ายขึ้น



รูปที่ 2.12 ลักษณะแถบพลังงานของโฟโตไดโอด MSM กรณี Narrow Band ขณะได้รับไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12 จึงเขียนสมการความสัมพันธ์ของกระแสรั่วไหลของรอยสัมผัสทั้งสองได้ใหม่ดังสมการที่ 2.10

$$j = A_n * T^2 e^{\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT}} + A_p * T^2 e^{\frac{-q\Phi_{Bp}}{kT}} \quad \dots 2.10$$

เมื่อ J คือความหนาแน่นกระแส

A_n^* คือค่าคงที่ยังผลริชาร์ดสันของอิเล็กตรอน

A_p^* คือค่าคงที่ยังผลริชาร์ดสันของโฮล

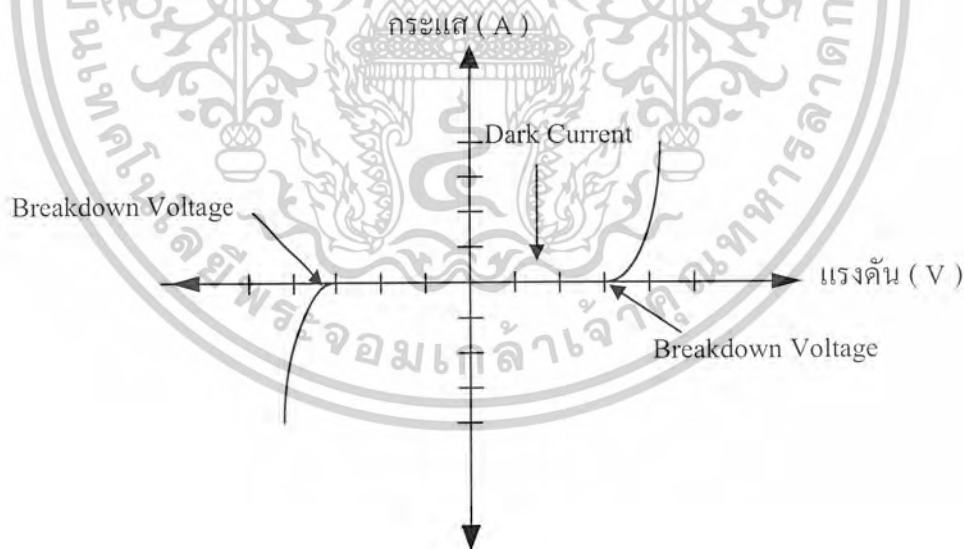
T คืออุณหภูมิ

$q\Phi_{Bn}$ คือค่ากำแพงศักย์ขั้วตักของอิเล็กตรอน

$q\Phi_{Bp}$ คือค่ากำแพงศักย์ขั้วตักของโฮล

2.8.4 กราฟกระแสและแรงดันของโฟโอดีไดโอดในทางอุดมคติ

ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของโฟโอดีไดโอด MSM ขณะไม่มีแสงตกกระทบบจะมีลักษณะเหมือนกับกราฟของไดโอดสองตัวหันหลังชนกันดังแสดงในรูป

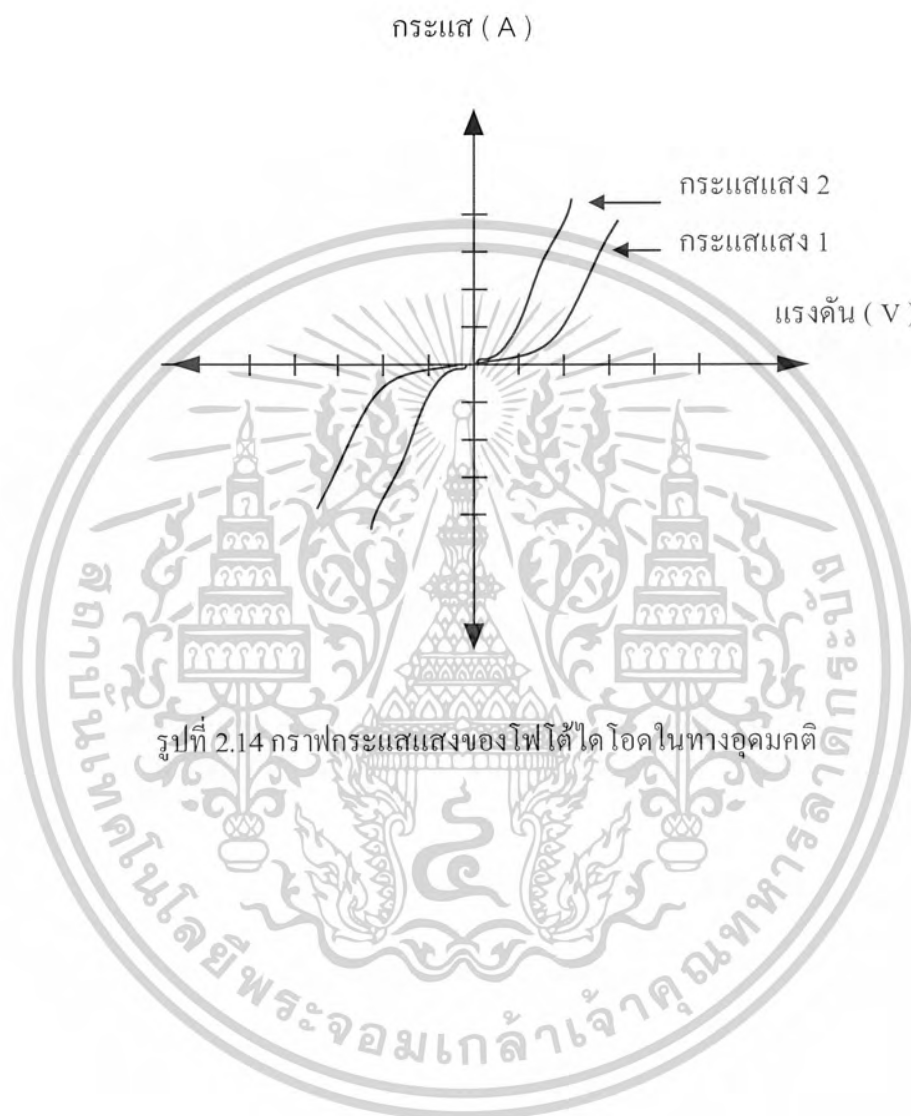


รูปที่ 2.13 กราฟกระแสมีดของโฟโอดีไดโอดในทางอุดมคติ

เมื่อมีแสงตกกระทบบริเวณพื้นที่รับแสงจะทำให้เกิดกระแสไหล โดยกระแสทั้งหมดที่ไหลผ่านโฟโอดีไดโอดจะมีค่าเท่ากับกระแสมีดรวมกับกระแสแสงและถ้ามีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นๆ ได้แก่ ความเข้มแสง พื้นที่รับแสง พื้นที่ส่วนที่เป็นโลหะ เป็นต้น จะทำให้มีกระแสไหลได้เพิ่มขึ้นดังรูป ในส่วนของการออกแบบอยู่ในบทที่ 3 จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของการศึกษาผลของการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะของโฟโอดีไดโอดต่อผลของกระแส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

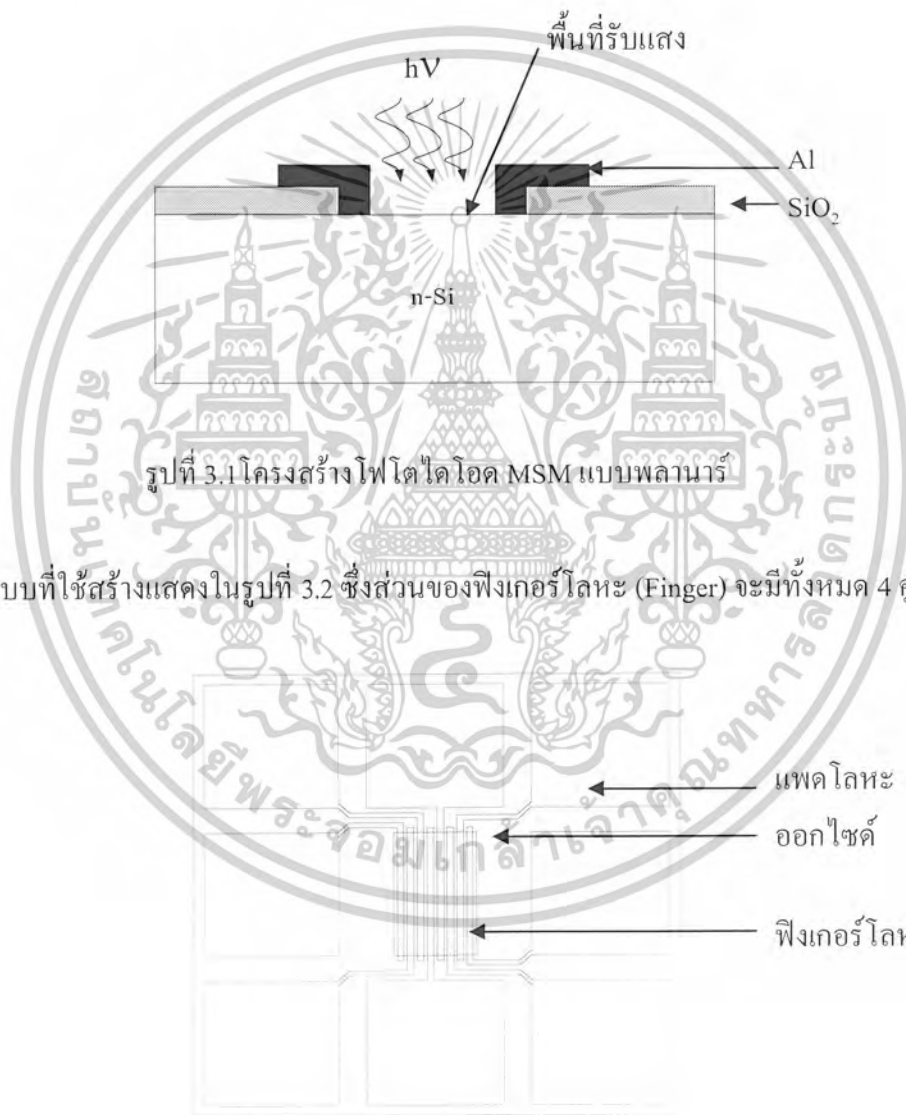
บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 การออกแบบโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM [1]

3.1.1 ลักษณะทั่วไปของการออกแบบและพารามิเตอร์ที่สำคัญ

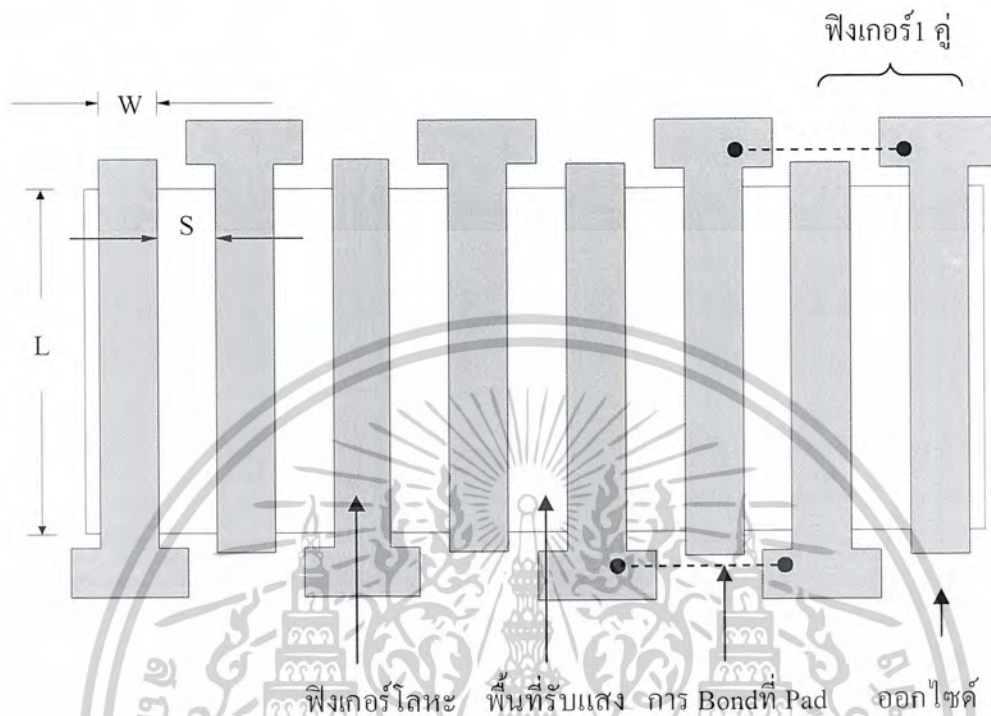
โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM จะใช้อะลูมิเนียมเป็นส่วนของโลหะทั้งสองด้านที่มีความสมมาตรกันดังรูปที่ 3.1 ส่วนพื้นที่รับแสงจะเป็นสารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิดเอ็น (Al/n-Si/Al)



รูปที่ 3.2 ลวดลายของโฟโตไดโอดที่ใช้ทำกระจกมาสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบในรูปที่ 3.2 ส่วนที่เป็นฟิงเกอร์โลหะและพื้นที่รับแสงนั้นมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับตัวแพดโลหะ (Pad) ดังนั้นเพื่อง่ายต่อการพิจารณาค่าพารามิเตอร์จึงได้ตัดเฉพาะส่วนที่เป็นฟิงเกอร์มาดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะของส่วนที่เป็นโลหะและพื้นที่รับแสง

ในรูปที่ 3.3 มีพารามิเตอร์ 3 ตัวที่จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าในการสร้างโฟโตไดโอดแต่ละชุดคือ W , L , S แต่ละตัวมีความหมายดังนี้

- กำหนดให้
- W คือระยะความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (μm)
 - L คือระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (μm)
 - S คือความกว้างของพื้นที่รับแสงของส่วนที่เป็นซิลิคอน (μm)

การเปลี่ยนแปลงค่า W , L , S ข้างต้นนี้เป็นวิธีหนึ่งเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดของโฟโตไดโอดที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าและผลของการตรวจจับแสง จากการที่โฟโตไดโอดถูกออกแบบให้มีแพดโลหะทำให้การหาความสัมพันธ์ของขนาดดังกล่าวสามารถทำได้อีกแบบโดยการ Bond เพื่อเพิ่มจำนวนฟิงเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อม (Bond) ขาเพิ่มขนาดของโฟโตไดโอดให้มียุติพื้นที่รับแสงและพื้นที่ของฟิงเกอร์โลหะให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณของกระแสที่ไหลผ่านโฟโตไดโอดซึ่งแสดงในรูปที่ 3.3 ส่วนที่ใช้ในการเชื่อมขาก็คือบริเวณแพดโลหะซึ่งการเชื่อมขาเพิ่มแบบนี้ทำให้การวัดผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดของตัวโฟโตดีเทคเตอร์นั้นง่ายขึ้น ซึ่งจุดประสงค์ของการที่สร้างแพดไว้เพื่อการ Bond นี้ก็คือการวัดผลตอบสนองทางไฟฟ้าและผลตอบสนองทางแสงซึ่งจะทำให้เรารู้ค่าของจำนวนฟิงเกอร์ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างโฟโตไดโอด MSM แบบ Interdigitated

ค่าในตารางที่ 3.1 เป็นขนาดของโฟโตไดโอดทั้ง 3 ชุด โดยขนาดของช่องรับแสงที่เล็กที่สุดจะเป็น $10 \mu\text{m}$

หมายเลข	ขนาด W (μm)	ขนาด S (μm)	ขนาด L (μm)
A1,A2	40	10	100
A3,A4	40	20	100
A5,A6	40	40	100
A7,A8	40	60	100
A9,A10	40	80	100
A11,A12	40	100	100
B1,B2	10	40	100
B3,B4	20	40	100
B5,B6	40	40	100
B7,B8	60	40	100
B9,B10	80	40	100
B11,B12	100	40	100
C1,C2	40	20	500
C3,C4	40	20	1,500
C5,C6	40	20	2,000

ตารางที่ 3.1 ขนาดของพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง

จากตารางที่ 3.1 ขนาดของฟิงเกอร์โลหะจะมีขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยฟิงเกอร์เหล่านี้จะถูกต่ออยู่กับแพดที่ขนาด $1000 \mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m}$ มีค่าเท่ากันในโฟโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอดทุกชุดทั้งชุด A , B และ C โดยแพดเหล่านี้เป็นเพียงพื้นที่สำหรับใช้ Bond เพิ่มขนาดของโฟโตไดโอดจึงไม่นำมาคิดในผลการทดลอง

โฟโตไดโอดที่ทำการสร้างชุด A มีทั้งหมด 12 ตัว ซึ่งจะมีสองตัวที่เหมือนกัน เช่น A1 และ A2 เหมือนกัน เป็นต้น ดังนั้นจะมีโฟโตไดโอดของชุด A จำนวน 6 คู่ ส่วนชุด B และชุด C ก็เช่นเดียวกัน โดยชุด B มีทั้งหมด 12 ตัว 6 คู่ และชุด C มีทั้งหมด 6 ตัว 3 คู่

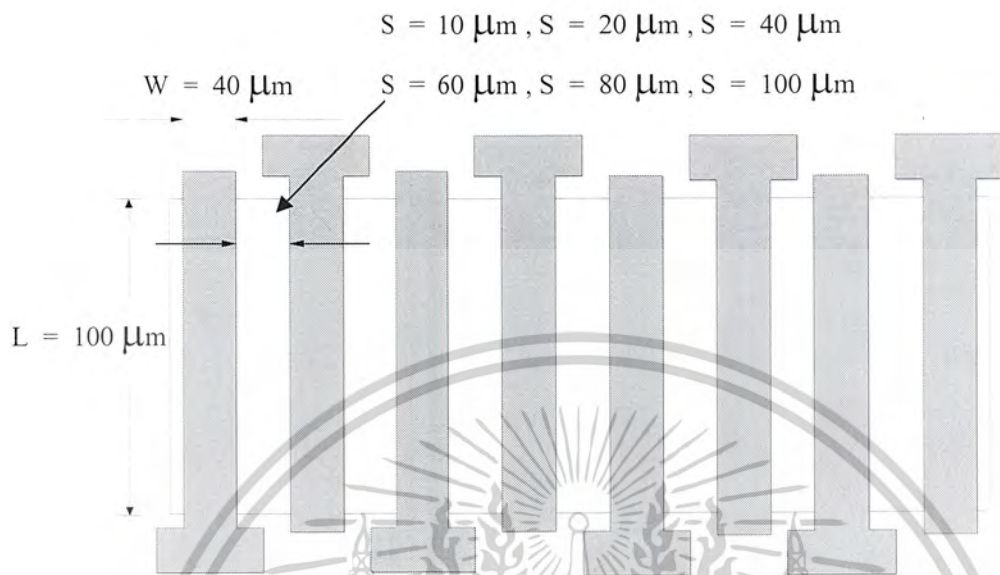
3.1.2 การออกแบบชุด A (ชุดที่ 1)

การออกแบบชุด A ความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$ ทำให้ได้พื้นที่ของ Finger โลหะแต่ละอันมีค่าเท่ากับ $4000 \mu\text{m}^2$ ส่วนระยะความกว้างของพื้นที่ที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิกอน (S) จะเปลี่ยนแปลงโดยจะมีค่าเท่ากับ $10 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$, $40 \mu\text{m}$, $60 \mu\text{m}$, $80 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$ ตามลำดับดังในตารางที่ 3.2

หมายเลข	ขนาด S (μm)
A1,A2	10
A3,A4	20
A5,A6	40
A7,A8	60
A9,A10	80
A11,A12	100

ตารางที่ 3.2 ขนาดพารามิเตอร์ S ของโฟโตไดโอดชุด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

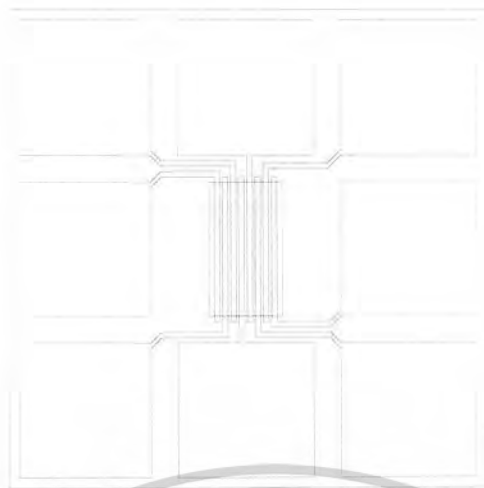


รูปที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์ของโฟโตไดโอดชุด A

รูปที่ 3.5 โฟโตไดโอดหมายเลข A1 , A2

ในรูปที่ 3.5 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข A1 , A2 ซึ่งมีค่าความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40\ \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100\ \mu\text{m}$ และความกว้างของพื้นที่ที่รับแสง (S) เท่ากับ $10\ \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



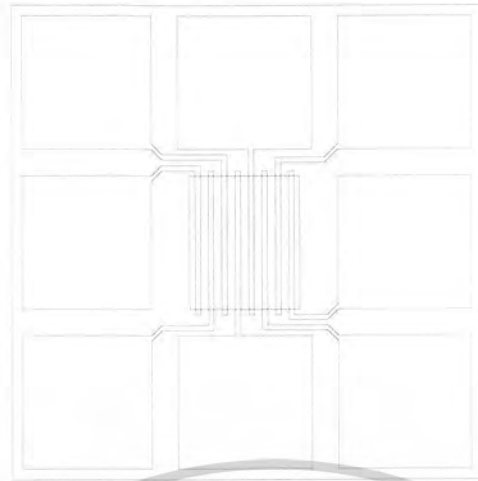
รูปที่ 3.6 โฟโตไดโอดหมายเลข A3 , A4

ในรูปที่ 3.6 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข A3 , A4 ซึ่งมีค่าความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40\ \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100\ \mu\text{m}$ และความกว้างของพื้นที่ที่รับแสง (S) เท่ากับ $20\ \mu\text{m}$

รูปที่ 3.7 โฟโตไดโอดหมายเลข A5 , A6

ในรูปที่ 3.7 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข A5 , A6 ซึ่งมีค่าความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40\ \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100\ \mu\text{m}$ และความกว้างของพื้นที่ที่รับแสง (S) เท่ากับ $40\ \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



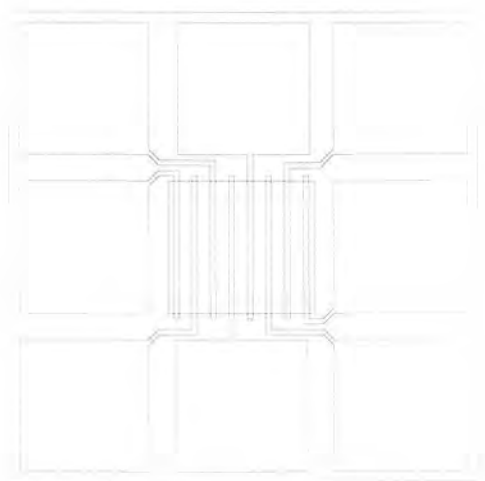
รูปที่ 3.8 โฟโตไดโอดหมายเลข A7 , A8

ในรูปที่ 3.8 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข A7 , A8 ซึ่งมีค่าความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$ และความกว้างของพื้นที่ที่ใช้รับแสง (S) เท่ากับ $60 \mu\text{m}$

รูปที่ 3.9 โฟโตไดโอดหมายเลข A9 , A10

ในรูปที่ 3.9 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข A9 , A10 ซึ่งมีค่าความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$ และความกว้างของพื้นที่ที่ใช้รับแสง (S) เท่ากับ $80 \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 โฟโตไดโอดหมายเลข A11 , A12

ในรูปที่ 3.10 เป็นลักษณะของลวดตายของโฟโตไดโอดหมายเลข A11 , A12 ซึ่งมีค่าความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$ และความกว้างของพื้นที่ที่รับแสง (S) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$

3.1.3 การออกแบบชุด B (ชุดที่ 2)

การออกแบบชุด B ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) มีค่าเท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$ ทำให้ได้พื้นที่ของส่วนที่รับแสง $4000 \mu\text{m}^2$ ส่วนความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) จะเปลี่ยนแปลงโดยจะมีค่าเท่ากับ $10 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$, $40 \mu\text{m}$, $60 \mu\text{m}$, $80 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$ ตามลำดับดังในตารางที่ 3.3

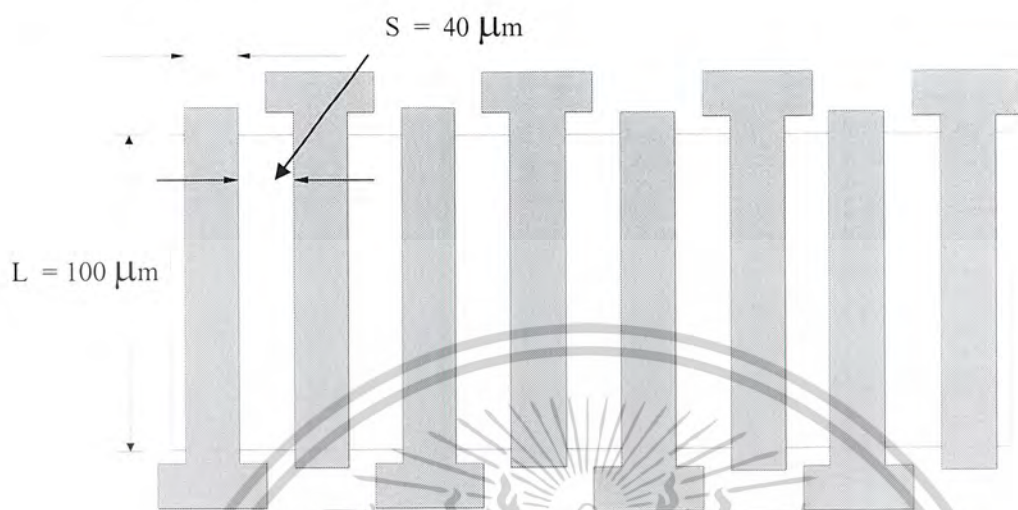
หมายเลข	ขนาด W (μm)
B1,B2	10
B3,B4	20
B5,B6	40
B7,B8	60
B9,B10	80
B11,B12	100

ตารางที่ 3.3 ขนาดพารามิเตอร์ W ของโฟโตไดโอดชุด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$W = 10 \mu\text{m}$, $W = 20 \mu\text{m}$, $W = 40 \mu\text{m}$

$W = 60 \mu\text{m}$, $W = 80 \mu\text{m}$, $W = 100 \mu\text{m}$



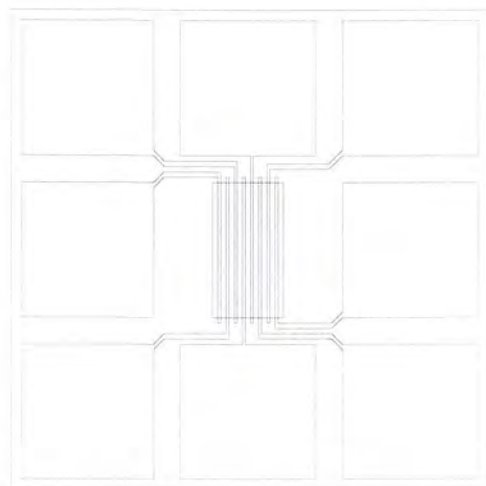
รูปที่ 3. 11 ค่าพารามิเตอร์ของโฟโตไดโอดชุด B



รูปที่ 3.12 โฟโตไดโอดหมายเลข B1 , B2

ในรูปที่ 3.12 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข B1 , B2 ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) เท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$ ความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $10 \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



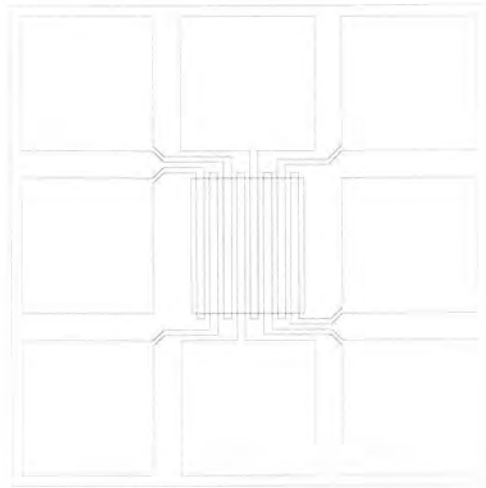
รูปที่ 3.13 โฟโตไดโอดหมายเลข B3 , B4

ในรูปที่ 3.13 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข B3 , B4 ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) เท่ากับ $40\ \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100\ \mu\text{m}$ ความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $20\ \mu\text{m}$

รูปที่ 3.14 โฟโตไดโอดหมายเลข B5 , B6

ในรูปที่ 3.14 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข B5 , B6 ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) มีค่าเท่ากับ $40\ \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100\ \mu\text{m}$ ความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40\ \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 โฟโตไดโอดหมายเลข B7 , B8

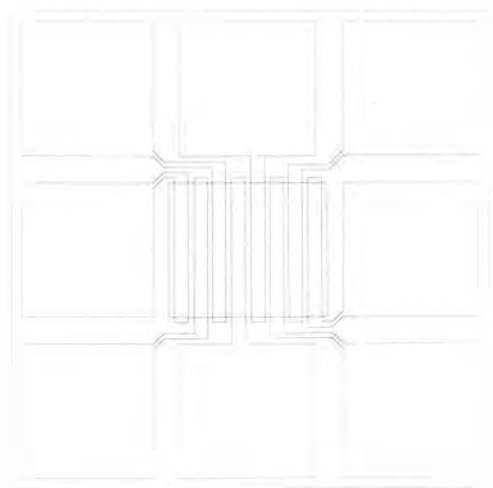
ในรูปที่ 3.15 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข B7 , B8 ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) เท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$ ความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $60 \mu\text{m}$



รูปที่ 3.16 โฟโตไดโอดหมายเลข B9 , B10

ในรูปที่ 3.16 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข B9 , B10 ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) มีค่าเท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$ ความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $80 \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 โฟโตไดโอดหมายเลข B11 , B12

ในรูปที่ 3.17 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข B11 , B12 ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) เท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$ ความกว้างของ ฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $100 \mu\text{m}$

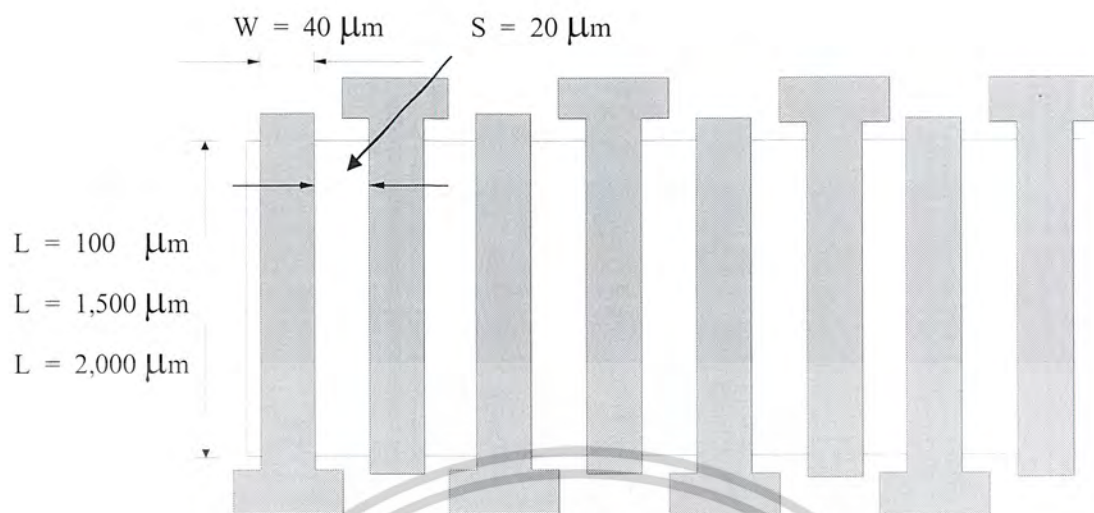
3.1.4 การออกแบบชุด C (ชุดที่ 3)

การออกแบบ C ความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) มีเท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) เท่ากับ $20 \mu\text{m}$ ส่วนระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เปลี่ยนแปลงทำให้ค่าพื้นที่ของส่วนรับแสงและพื้นที่ของฟิงเกอร์โลหะเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะจะมีค่าเท่ากับ $500 \mu\text{m}$, $1,500 \mu\text{m}$, $2,000 \mu\text{m}$ ตามลำดับดังในตารางที่ 3.4

หมายเลข	ขนาด L (μm)
C1,C2	500
C3,C4	1,500
C5,C6	2,000

ตารางที่ 3.4 ขนาดพารามิเตอร์ L ของโฟโตไดโอดชุด C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



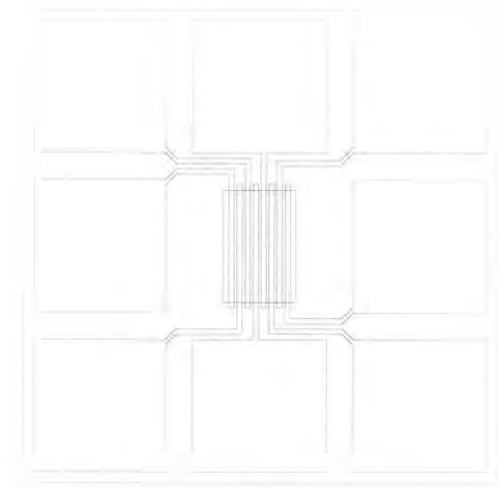
รูปที่ 3.18 ค่าพารามิเตอร์ของโฟโตนิกคริสตัล C



รูปที่ 3.19 โฟโตนิกคริสตัลหมายเลข C1 , C2

ในรูปที่ 3.19 เป็นลักษณะของผลึกของโฟโตนิกคริสตัลหมายเลข C1 , C2 มีความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40 \mu\text{m}$ ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) เท่ากับ $20 \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $500 \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 โฟโตไดโอดหมายเลข C3 , C4

ในรูปที่ 3.20 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข C3 , C4 มีความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40\ \mu\text{m}$ ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) เท่ากับ $20\ \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $1,500\ \mu\text{m}$



รูปที่ 3.21 โฟโตไดโอดหมายเลข C5 , C6

ในรูปที่ 3.21 เป็นลักษณะของลวดลายของโฟโตไดโอดหมายเลข C5 , C6 มีความกว้างของฟิงเกอร์โลหะ (W) เท่ากับ $40\ \mu\text{m}$ ความกว้างของพื้นที่รับแสงส่วนที่เป็นซิลิคอน (S) เท่ากับ $20\ \mu\text{m}$ ระยะความยาวของฟิงเกอร์โลหะ (L) เท่ากับ $2,000\ \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กระบวนการสร้างกระจกมันส์ต้นแบบ

เมื่อได้ทำการออกแบบพารามิเตอร์ต่างๆของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงนำมาเขียนลวดลายต้นแบบลงบนกระดาษกราฟให้มีขนาดใหญ่กว่าของจริง 50 เท่า จากนั้นจึงทำการตัดลวดลายบนแผ่นพลาสติกลามิเนต ซึ่งประกอบด้วยแผ่นไมลาร์ (Maylar Sheet) เคลือบพลาสติกสีแดง ตามลวดลายที่เขียนบนกระดาษกราฟ ด้วยเครื่องตัดไมโครคัตเตอร์ (Micro Cutter) มีลักษณะเป็นใบมีดเลื่อนได้ 2 แกน (xy - Axis) ในการตัดจะทำการตัดเป็นชั้นๆซึ่งในโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM จะมีสองชั้น คือชั้นของออกไซด์ (Oxide) และชั้นของโลหะ (Metal) จากนั้นจึงนำแผ่นลามิเนตซึ่งมีลวดลายต้นแบบตามที่ต้องการไปทำการถ่ายภาพย่อส่วน 50 เท่าด้วยเครื่องถ่ายภาพย่อส่วนลงบนกระจกต้นแบบขนาด 3 x 3 นิ้ว

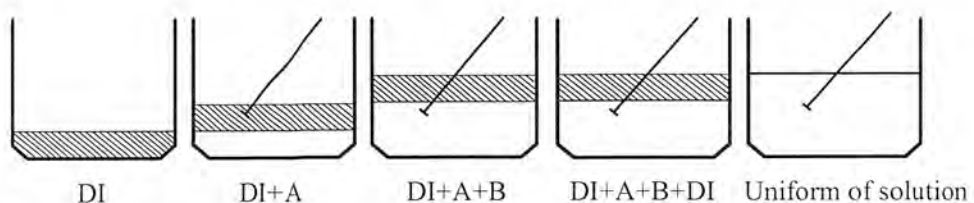
หลังจากได้ถ่ายภาพจากแบบลงบนกระจกต้นแบบแล้วจะเป็นขั้นตอนการล้างภาพเพื่อล้างฟิล์มในส่วนที่ไม่ต้องการออก สารเคมีที่ใช้ในการล้างภาพจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ น้ำยาล้างภาพ (Developer) และตัวหยุดปฏิกิริยา (Fixer) ซึ่งสารเคมีสองตัวนี้จะถูกเตรียมไว้ก่อนที่จะทำการถ่ายภาพ

3.2.1 การเตรียมน้ำยาฟิกเซอร์ (Fixer)

ฟิกเซอร์ใช้เพื่อหยุดปฏิกิริยาของการล้างภาพ สำหรับสารเคมีที่ใช้มีชื่อทางการค้าว่า Koneca ACEFIX Fixer โดยเตรียม A solution polyethylene ปริมาณ 450 cc จำนวน 1 ขวดและเตรียม B solution:polyethylene ปริมาณ 850 cc จำนวน 1 ขวด

ขั้นตอนการผสมดังนี้

- เติมน้ำ DI ปริมาณ 750 cc ลงไปในบีกเกอร์
- เติม A solution:polyethylene ปริมาณ 1/4 ขวดลงไปในบีกเกอร์แล้วทำการคนให้เข้ากัน
- เติม B solution:polyethylene ปริมาณ 1/8 ขวดลงไปในบีกเกอร์ใบเดียวกันนี้แล้วทำการคนให้เข้ากัน
- เติมน้ำ DI จนกระทั่งปริมาณของเหลวในบีกเกอร์สูงถึงระดับ 1.25 ลิตร
- คนให้สารละลายที่ได้เข้ากันแล้วนำไปแช่ตู้เย็น ขณะใช้งานอุณหภูมิอยู่ที่ 20 °C



รูปที่ 3.22 แสดงการผสมน้ำยา Fixer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเตรียมน้ำยาดีเวลลอปเปอร์ (Developer)

- ใช้น้ำยา Developer A จำนวน 1 ส่วนผสมกับน้ำ 3 ส่วน แล้วเก็บไว้ในบีกเกอร์ใบที่ 1
- ใช้น้ำยา Developer B จำนวน 1 ส่วนผสมกับน้ำ 3 ส่วน แล้วเก็บไว้ในบีกเกอร์ใบที่ 2
- เทน้ำยาในบีกเกอร์ใบที่ 1 และ 2 รวมกันจะได้น้ำยาดีเวลลอปเปอร์
- นำน้ำยาที่ผสมเสร็จแล้วไปแช่ตู้เย็น
- เอาออกมาจากตู้เย็นอย่างน้อย 1 ชั่วโมงก่อนการใช้งาน ขณะใช้งานฟิกเซอร์จะมี อุณหภูมิประมาณ 20°C

3.2.3 การเตรียมกระจกมาส์ก

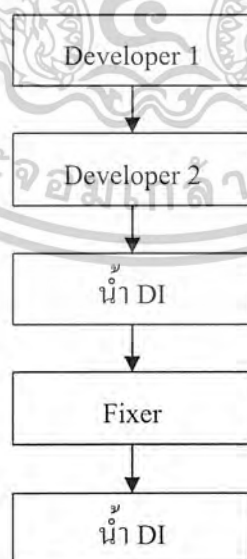
- กระจกมาส์กจะถูกนำออกมาจากตู้เย็นอย่างน้อย 1 ชั่วโมงก่อนการใช้งาน

3.2.4 การถ่ายภาพกระจกมาส์ก

- ให้หันด้านที่มีฟิล์มเคลือบ (Emulsion) ของกระจกออกจากตัวผู้ถ่าย
- ฉายแสงประมาณ 25 วินาทีโดยขณะถ่ายนี้ต้องปิดไฟทุกดวงในห้อง

3.2.5 ขั้นตอนการขึ้นลวดลาย (Develop)

กระจกที่ได้จากการถ่ายภาพจะถูกนำมาล้างด้วยน้ำยาที่ผสมไว้เพื่อให้ฟิล์มตรงส่วนที่ไม่ต้องการหลุดออกโดยมีขั้นตอนการขึ้นลวดลายดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.23 แผนผังแสดงขั้นตอนการขึ้นลวดลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

- นำกระจกมาส์กที่ฉายแสงแล้วล้างในน้ำยา Developer ในอ่างที่ 1 เป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที
- นำกระจกมาส์กที่ฉายแสงแล้วล้างในน้ำยา Developer ในอ่างที่ 2 เป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที
- ล้างในน้ำ DI เป็นเวลา 1 นาที
- ล้างใน Fixer เป็นเวลา 10 นาที
- ล้างในน้ำ DI เป็นเวลา 1 นาที
- แช่ไว้ในน้ำ DI และแกว่งกระจกไปด้วยจนกว่าจะสะอาด (ประมาณ 30 นาที)
- เป่าด้วยก๊าซไนโตรเจน

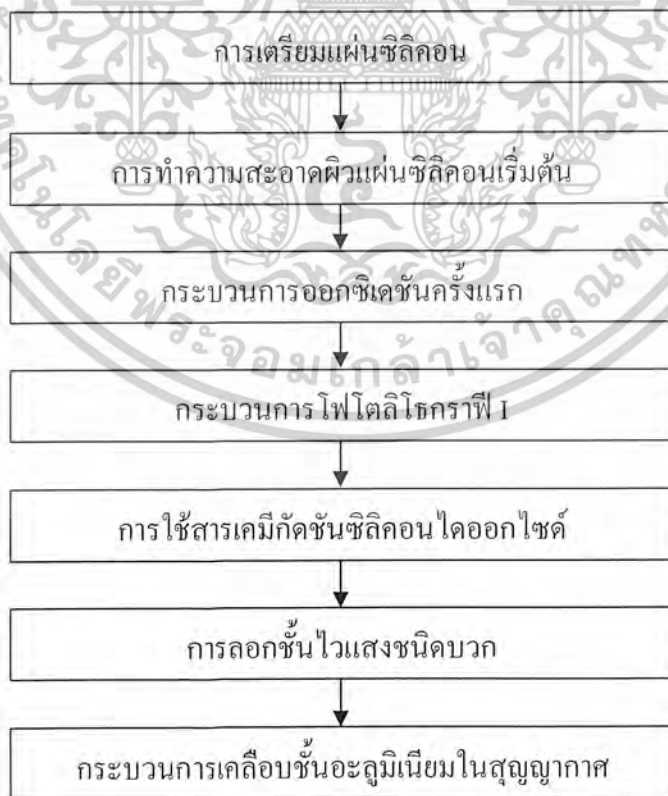
3.3 กระบวนการสร้างโฟโตไดโอด

จากกระจกมาส์กที่ได้สร้างไว้ประกอบด้วยต้นแบบทั้งหมด 2 มาส์กมีรายละเอียดดังนี้

มาส์กที่ 1 เป็นมาส์กของชั้นออกไซด์เพื่อสร้างช่องรับแสง

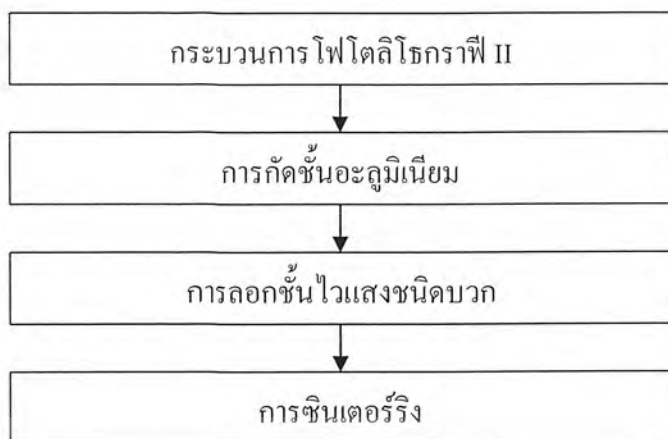
มาส์กที่ 2 เป็นมาส์กโลหะที่ใช้สร้างลวดลายของอะลูมิเนียม

หลังจากตัดมาส์กและสร้างกระจกมาส์กเรียบร้อยแล้ว กระจกมาส์กที่ได้จะถูกนำมาสร้างโฟโตไดโอดตามกระบวนการสร้าง เมื่อสร้างจนเสร็จสิ้นกระบวนการจะนำโฟโตไดโอดที่สร้างแล้วไปทำการขึ้นเตอรริงที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 15 นาทีก่อนนำไปทำการวัดผล

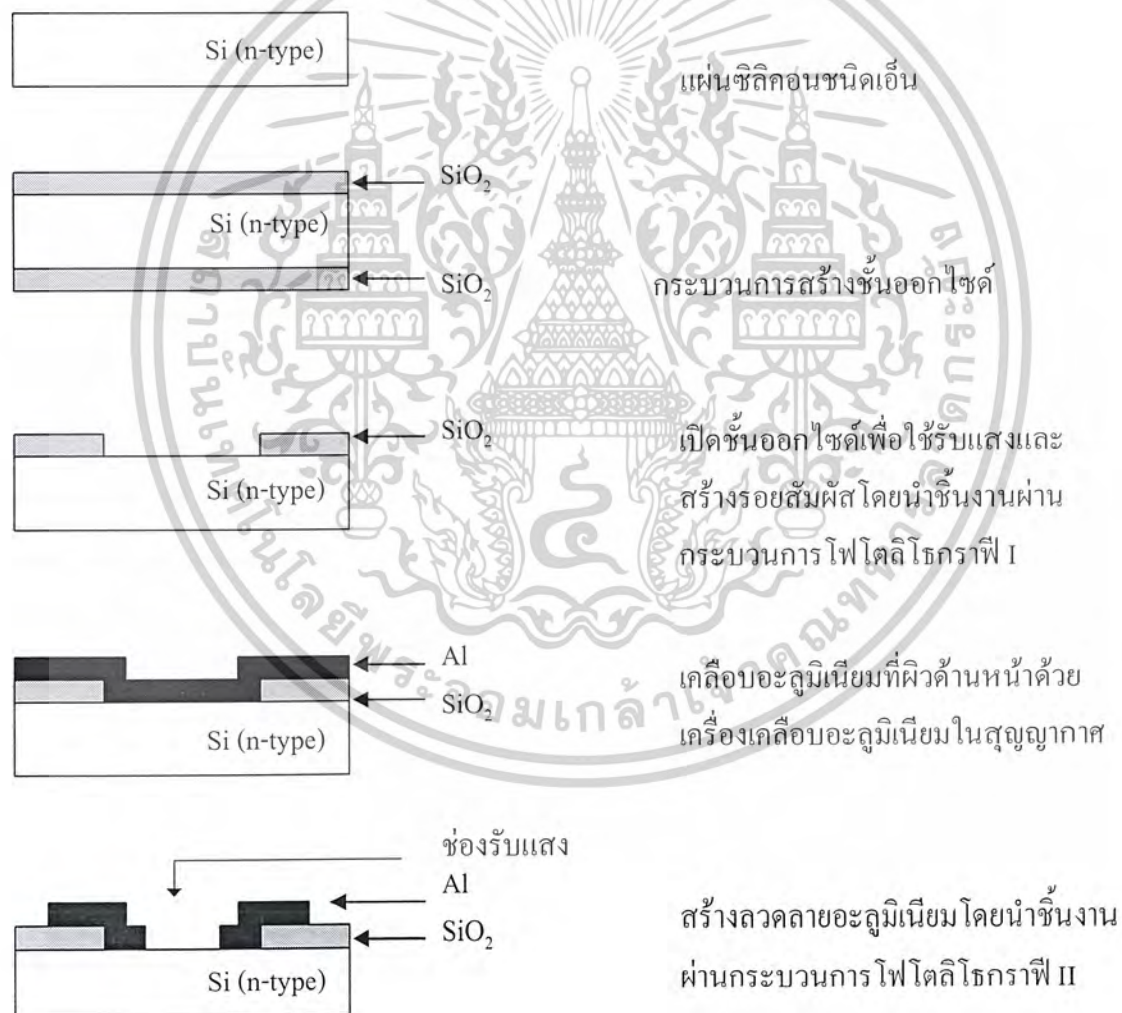


รูปที่ 3.24 กระบวนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 กระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (ต่อ)



รูปที่ 3.25 ลำดับขั้นตอนการสร้างโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al โดยมีลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างดังต่อไปนี้

1. การเตรียมแผ่นผลึกซิลิคอน

- แผ่นผลึกผลึกรูปเดี่ยวแบบ Single ชนิดเอ็นมีระนาบ <100>
- ความต้านทานจำเพาะ 25 โอห์ม - เซนติเมตร
- ความหนาของแผ่นผลึก 380 ไมครอน

2. การทำความสะอาดผิวซิลิคอนเริ่มต้น

- ทำความสะอาดผิวด้วยน้ำบริสุทธิ์ (De-ionized Water) ในเครื่องสั่นความถี่สูง (Ultrasonic Cleaning)
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- กัดผิวหน้าแผ่นผลึกด้วยกรดกัดแก้ว HF 5% เป็นเวลา 2 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในกรดไนตริก (HNO₃) เป็นเวลา 10 นาที
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มในไตรโคลโรเอททีลีน (Trichloethylene) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภทไขมัน
- ล้างด้วยอะซิโตน (Acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูง เป็นเวลา 3 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- จุ่มในกรดกัดแก้ว (HF) 5% เป็นเวลา 20 วินาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3. กระบวนการออกซิเดชัน

เพื่อทำการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ให้มีความหนาประมาณ 5,000 Å ในการทำออกซิเดชันนำแผ่นซิลิคอนที่ทำความสะอาดแล้วทิ้งไว้ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิ 1,100 °C

เงื่อนไขและขั้นตอนกระบวนการสร้าง

- ทำการออกซิเดชันแบบแห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.2 ลิตร/นาที
- ทำการออกซิเดชันแบบชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.1 ลิตร/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการออกซิเดชันแบบแห้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.2 ลิตร/นาที

4. กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี I

ใช้กระจกมาสก์ต้นแบบสำหรับการเปิดช่องซิลิคอนไดออกไซด์ออกบริเวณที่จะสร้างขั้วสัมผัสอะลูมิเนียมและซิลิคอน โดยการเคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก AZ ลงบนแผ่นผลึกซิลิคอน ด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่าสปินเนอร์ (Spinner) แล้วนำไปอบแห้งแล้วจึงนำไปทำการถ่ายภาพกระจกต้นแบบมาสก์ที่ I

ขั้นตอนกระบวนการสร้าง

- อบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก AZ โดยใช้เครื่องสปินเนอร์ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 40 วินาที
- อบครั้งแรก ให้น้ำยาแห้งที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที
- ฉายแสงผ่านกระจกมาสก์ที่ I ด้วยอุปกรณ์ Mask Aligner ซึ่งจะให้แสงอัลตราไวโอเล็ตออกมา แหล่งกำเนิดแสงคือ หลอดเมอร์คิวรี $\lambda = 5,000 \text{ \AA}$ เป็นเวลา 12 วินาที
- การล้างภาพ จุ่มในน้ำยา AZ MIF300 เป็นเวลา 45 วินาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนทันที
- อบครั้งที่สอง ให้แผ่นฟิล์มที่เหลืออยู่แห้งที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที

5. การใช้สารเคมีกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

เพื่อทำการกัดชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ ใช้สารเคมีซึ่งมีส่วนผสมของกรดกัดแก้วเป็นหลัก ทำการละลายชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ตรงบริเวณที่ต้องการเปิดออก สารละลายที่ใช้ในการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์นี้ เรียกว่า สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer) มีอัตราการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ประมาณ 1,000 \AA /นาที

ขั้นตอนการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

- จุ่มในสารละลาย Buffer เป็นเวลาประมาณ 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

6. การลอกชั้นสารไวแสงชนิดบวก AZ

- ลอกชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงโดยจุ่มในสารละลายกรดซัลฟูริกผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (อัตราส่วน 1:3) เป็นเวลา 5 นาที
- นำไปล้างน้ำบริสุทธิ์ 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

7. กระบวนการเคลือบชั้นอะลูมิเนียมในสุญญากาศ

ในการเคลือบชั้นอะลูมิเนียม โดยใช้เครื่องเคลือบโลหะในสุญญากาศ (Vacuum Evaporator) ทำการเคลือบแผ่นซิลิคอนด้วยอะลูมิเนียมที่ความดันประมาณ 1.6×10^{-6} Torr.

8. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี II

ในกระจกมาสก์ที่ II เป็นต้นแบบสำหรับการกัดส่วนของอะลูมิเนียมที่ไม่ต้องการออกในขั้นตอนนี้ใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวก AZ

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- อบแห้งเพื่อไล่ความชื้น 90°C เป็นเวลา 30 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสง ชนิดบวก AZ โดยใช้เครื่องสปินเนอร์ขนาด 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 40 วินาที
- อบครั้งแรกให้น้ำยาไวแสงแห้งที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที
- ฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบมาสก์ด้วยอุปกรณ์ Mask Aligner เป็นเวลา 10วินาที
- การล้างภาพ จุ่มในน้ำยา AZ 300MIF 1 ครั้ง เป็นเวลา 45 วินาที ล้างในน้ำบริสุทธิ์ แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- อบครั้งที่สอง ให้แผ่นฟิล์มที่เหลืออยู่แห้งที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที

9. การกัดชั้นอะลูมิเนียม

สารละลายที่ใช้ละลายชั้นอะลูมิเนียม ได้แก่สารละลายผสมซึ่งมีกรดฟอสฟอริกเป็นหลักมีลำดับขั้นตอนดังนี้

- จุ่มแผ่นซิลิคอนที่สร้างจากขั้นตอนที่แล้วลงในสารละลายซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 50°C เป็นเวลาประมาณ 10-20 วินาที
- ล้างในน้ำบริสุทธิ์ 2 ครั้ง
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

10. การลอกชั้นสารไวแสงชนิดบวก AZ

- ลอกชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงโดยจุ่มในสารละลายกรดซัลฟิวริกผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (อัตราส่วน 1:3) เป็นเวลา 5 นาที
- นำไปล้างน้ำบริสุทธิ์ 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ 10 นาที
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. กระบวนการซินเตอร์ริง

กระบวนการซินเตอร์ริง (Sintering) เป็นกระบวนการที่ทำให้การสัมผัสของ อะลูมิเนียมและซิลิกอนเป็นรอยสัมผัสที่สมบูรณ์ โดยนำแผ่นซิลิกอนไปไว้ในบรรยากาศของ ไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 0.7 ลิตร/นาที เป็นเวลา 15 นาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการซินเตอร์ริง คือ 500°C

3.4 กระบวนการแพกเกจ

เมื่อทำการสร้างเสร็จแล้วนำแผ่นเวเฟอร์ที่ได้มาทำการแยกตัวชิปออกจากกันและทำเชื่อมต่อจุด ต่อขาเพื่อเตรียมไว้สำหรับการเชื่อมต่อเพิ่มขนาดของโฟโต้ไดโอด

3.4.1 การแยกชิปแต่ละตัว

ใช้เครื่องมือสำหรับการตัดแยกที่ประกอบด้วยกล้องสำหรับส่องดูตัวชิปและส่วนของ ไบมีดที่ใช้ตัด เมื่อทำการกรีดแยกชิปแล้วใช้ไม้บรรทัดทำการหักชิปที่บริเวณรอยกรีดเบาๆ ด้วย ความระมัดระวังเพื่อป้องกันชิปแตก

3.4.2 การติดตั้งชิปบนแผ่น PCB

ใช้กาวเงินทาที่ด้านหลังของชิปแล้วติดลงบนแผ่น PCB ขนาด 3 x 4 เซนติเมตรที่ตัดเตรียมไว้

3.4.3 การเชื่อมแพดเข้ากับหลักต่อสาย

นำหลักต่อสายมาบัดกรีเข้ากับ PCB ที่ติดตั้งชิปเรียบร้อยแล้ว แล้วใช้หลอดทองแดงซึ่งทำการ ชูดน้ำยาเคลือบออกแล้วมาทา กาวเงินและต่อเข้ากับแพดของโฟโต้ไดโอดซึ่งชิปแต่ละ ชิปจะมีโฟโต้ไดโอด 4 ตัว จุดต่อขาทั้งหมดจึงมีทั้งหมด 8 จุดต่อ

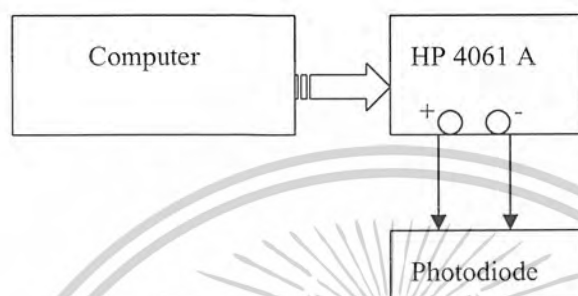
3.4.4 การเชื่อมต่อระหว่างแพด

ขณะทำการวัดจะต้องทำการเชื่อมต่อแพดเพื่อเพิ่มจำนวนคู่ของโฟโต้ไดโอดทำได้โดยใช้ สายคิบบ์เชื่อมต่อหลักต่อสายเข้าด้วยกัน

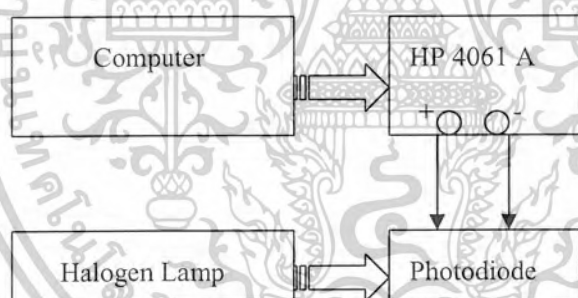
3.5 การวัดคุณลักษณะทางกระแสไฟฟ้าและ แรงดัน

สำหรับการวัดลักษณะทางไฟฟ้าและแรงดันจะทำการวัดในขณะที่มีแสงตกกระทบและขณะไม่มี แสงตกกระทบของโฟโต้ไดโอดแต่ละตัว แล้วทำการเพิ่มคู่ของตัวโฟโต้ไดโอดโดยการเชื่อมต่อ แพดเข้าด้วยกันจากนั้นทำการวัดแบบเดิมอีกครั้ง ทำอย่างนี้จนกระทั่งเชื่อมต่อแพดครบทุกคู่ขณะที่ มีแสงตกกระทบโฟโต้ไดโอดได้ใช้แสงฮาโลเจนที่ปรับความสว่างได้ตั้งแต่ 0-18000 ลักซ์ โดยการ ทดลองใช้แสงที่มีความสว่างเป็นค่าๆดังนี้คือ 1500 ลักซ์ , 4500 ลักซ์ , 9000 ลักซ์ , 13500 ลักซ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแรงดันไบอัสที่จ่ายให้กับโฟโตไดโอดจะมีค่าในช่วง -10 โวลต์ถึง +10 โวลต์ โดยให้มีการเพิ่มค่าแรงดันครั้งละ 0.5 โวลต์ กระแสไฟตรงไบอัส 1 มิลลิแอมป์ แหล่งจ่ายไฟจะต่อร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ HP VEE เพื่อทำการควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงแรงดันดังรูปที่ 3.25 จากนั้นบันทึกผลในรูปของไฟล์เอกสารเพื่อนำไปใช้ในการพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง



รูปที่ 3.26 การวัดค่ากระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดขณะไม่มีแสง



รูปที่ 3.27 การวัดค่ากระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดขณะมีแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของจำนวนคู่ของโฟโตนิกไดโอดต่อการไหลของกระแส

ขณะที่ให้ไบอัสโฟโตนิกไดโอดและไม่มีแสงตกกระทบบนรอยสัมผัสจะมีกระแสค่าหนึ่งไหลผ่านโฟโตนิกไดโอด เนื่องจากกระแสรวมที่ผ่านโฟโตนิกไดโอดจะประกอบด้วยกระแสและกระแสแสงรวมกันเมื่อไม่มีแสงตกกระทบบนรอยสัมผัสจะมีค่าเท่ากับกระแส และโฟโตนิกไดโอดจะไม่ทำงานเนื่องจากกระแสมีค่าน้อยมากเปรียบเสมือนกระแสรั่วไหล

4.1.2 ผลของกระแสต่อโฟโตนิกไดโอด A

จากการทดลองวัดกระแสของโฟโตนิกไดโอดทั้ง 3 ชุด ได้แก่ A , B และ C ได้นำค่าพารามิเตอร์ของแต่ละชุดที่นำมาเปรียบเทียบเทียบแสดงดังตารางที่ 4.1

หมายเลข	ขนาด W (μm)	ขนาด S (μm)	ขนาด L (μm)
A1	40	10	100
B7	60	40	100
C6	40	20	2,000

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ชุด A , B , C ขณะกระแส

จากกราฟของทั้ง 3 ชุดข้างต้น พบว่ากระแสของโฟโตนิกไดโอด A มีค่ากระแสรั่วไหลน้อยสุด รองลงมาเป็นโฟโตนิกไดโอด B และโฟโตนิกไดโอด C มีค่ากระแสสูงสุดที่เปรียบเทียบที่แรงดันไบอัส 5 โวลต์จำนวนคู่ของโฟโตนิกไดโอดจำนวน 1 คู่จะได้ค่าดังตารางที่ 4.2

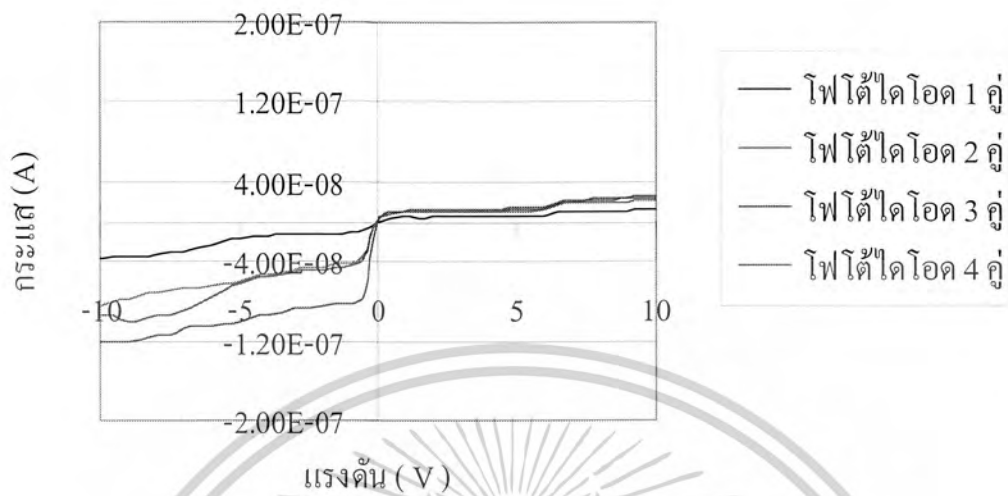
หมายเลข	A1	B7	C6
กระแส	4.54E-09	3.18E-08	1.11E-06

ตารางที่ 4.2 กระแสที่แรงดัน 5 V

และค่ากระแสที่ละเอียดของโฟโตนิกไดโอด A , B , C ได้ถูกนำมาพล็อตกราฟดังกราฟรูปที่ 4.1

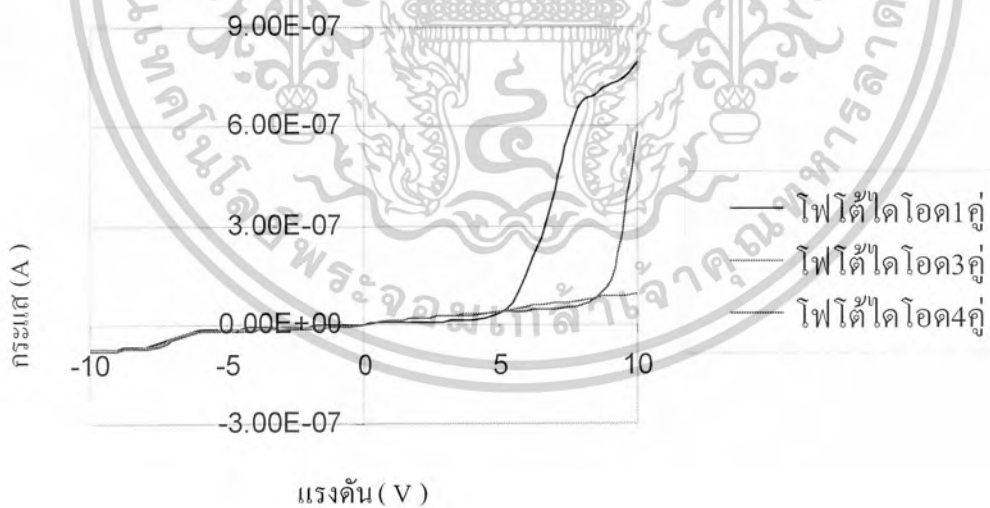
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสมีดของโฟโตรีโอดชนิด A (10 ไมครอน)



รูปที่ 4.1 กระแสมีดของโฟโตรีโอด A

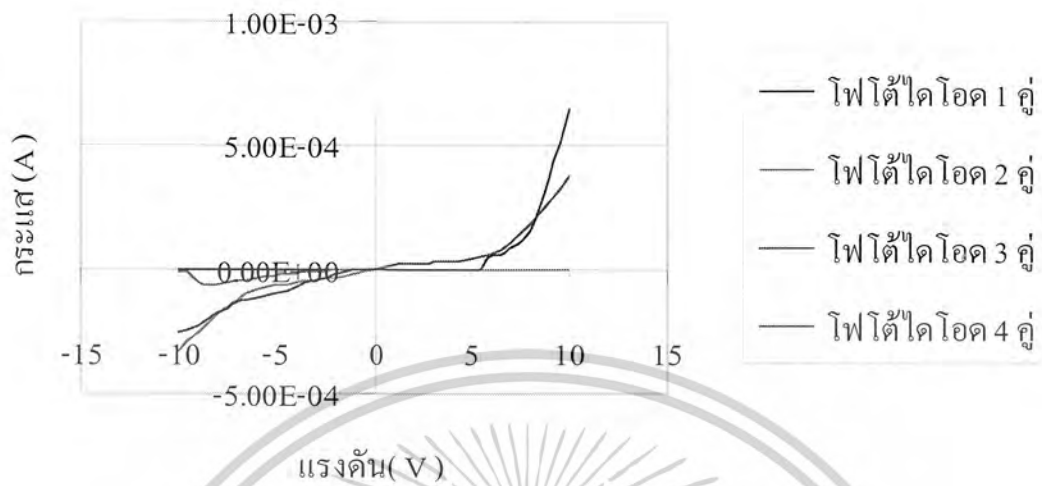
กระแสมีดของโฟโตรีโอด B (60 ไมครอน)



รูปที่ 4.2 กระแสมีดของโฟโตรีโอด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสมีดของโฟโต้ไดโอด C (2000 ไมครอน)



รูปที่ 4.3 กระแสมีดของโฟโต้ไดโอด C

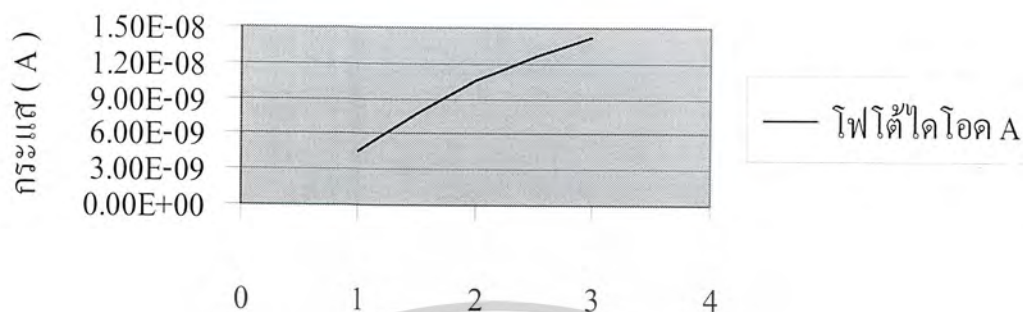
เพื่อเป็นการเปรียบเทียบกระแสมีดของโฟโต้ไดโอด A , B และ C ต่อจำนวนคู่ จึงได้เลือกใช้ค่ากระแสมีดของโฟโต้ไดโอดทั้ง 3 ชุดดังตารางที่ 1 โดยเลือกที่ค่าแรงดัน 5 โวลท์มาพล็อตเทียบกัน

จำนวนคู่	โฟโต้ไดโอด A	โฟโต้ไดโอด B	โฟโต้ไดโอด C
1	4.54E-09	1.05E-08	1.41E-08
2	3.18E-08	3.86E-08	4.20E-08
3	1.11E-06	1.00E-05	4.10E-05

ตารางที่ 4.3 กระแสมีดของโฟโต้ไดโอดทั้ง 3 ชุด

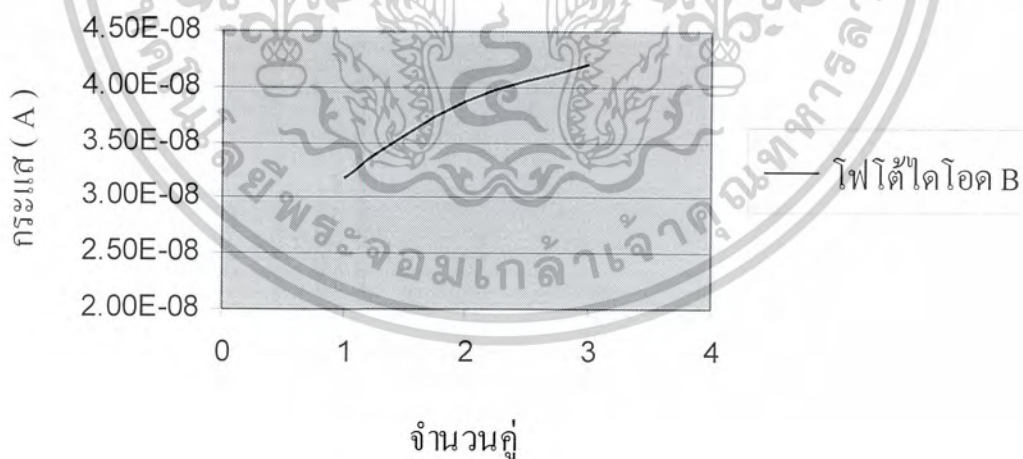
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสมีดของโฟโต้ไดโอด A (10 ไมครอน)



รูปที่ 4.4 กระแสมีดของโฟโต้ไดโอด A (10 ไมครอน)

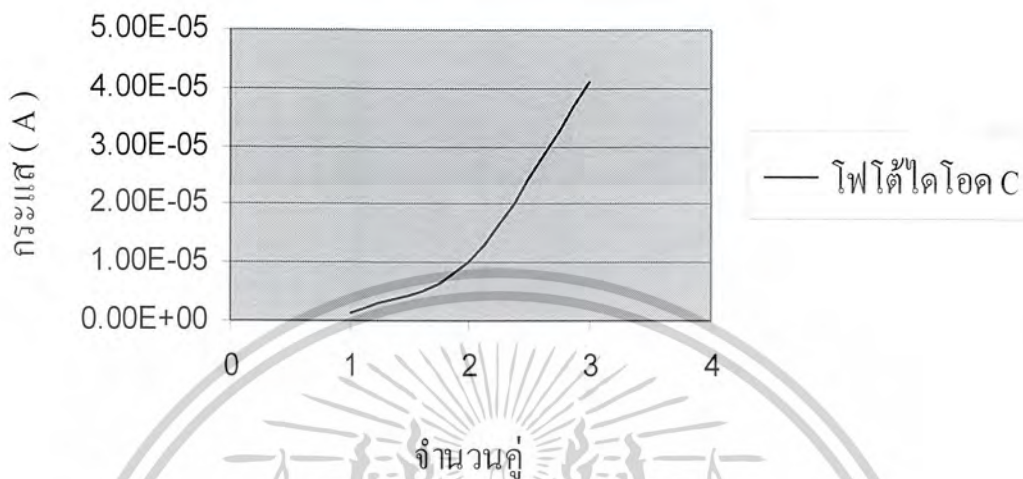
กระแสมีดของโฟโต้ไดโอด B (60 ไมครอน)



รูปที่ 4.5 กระแสมีดของโฟโต้ไดโอด B (60 ไมครอน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสมีดของโฟโต้ไดโอด C (2000 ไมครอน)



รูปที่ 4.6 กระแสมีดของโฟโต้ไดโอด C (2000 ไมครอน)

4.2 ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของจำนวนคู่ของโฟโต้ไดโอดต่อการไหลของกระแสแสง

ผลการทดลองจากวิธีนี้เพื่อศึกษาปริมาณกระแสแสงที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มจำนวนคู่ของโฟโต้ไดโอดของโฟโต้ไดโอด A , B และ C โดยได้เลือกพารามิเตอร์ของโฟโต้ไดโอดดังตารางที่ 4.4

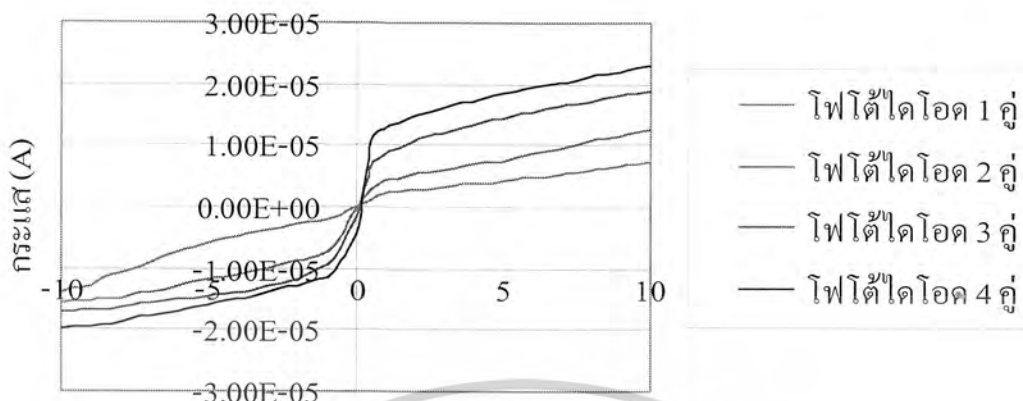
หมายเลข	ขนาด W (μm)	ขนาด S (μm)	ขนาด L (μm)
A12	40	100	100
B9	80	40	100
C6	40	20	2,000

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ชุด A , B , C ขณะกระแสแสง

เมื่อนำผลมาพล็อตกราฟแล้วแสดงดังรูปที่ 4.7 ,รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

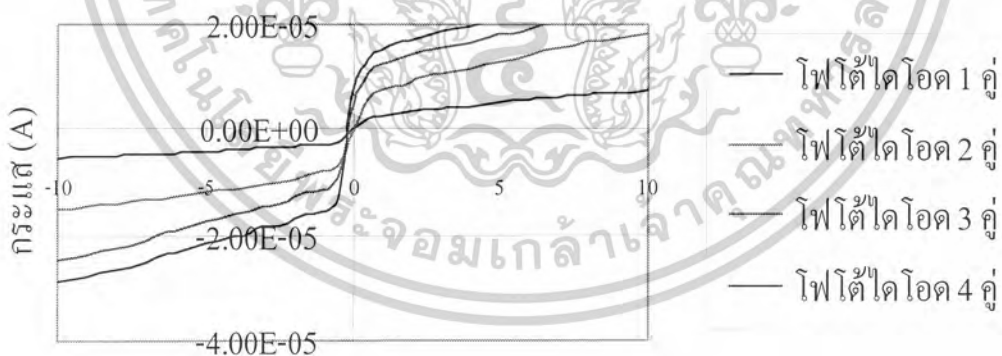
กระแสแสงของโฟโตรีโอด A (100 ไมครอน) ที่ 1500 ลักซ์



แรงดัน (V)

รูปที่ 4.7 กระแสแสงของโฟโตรีโอด A

กระแสแสงของโฟโตรีโอด B (80 ไมครอน) ที่ 1500 ลักซ์

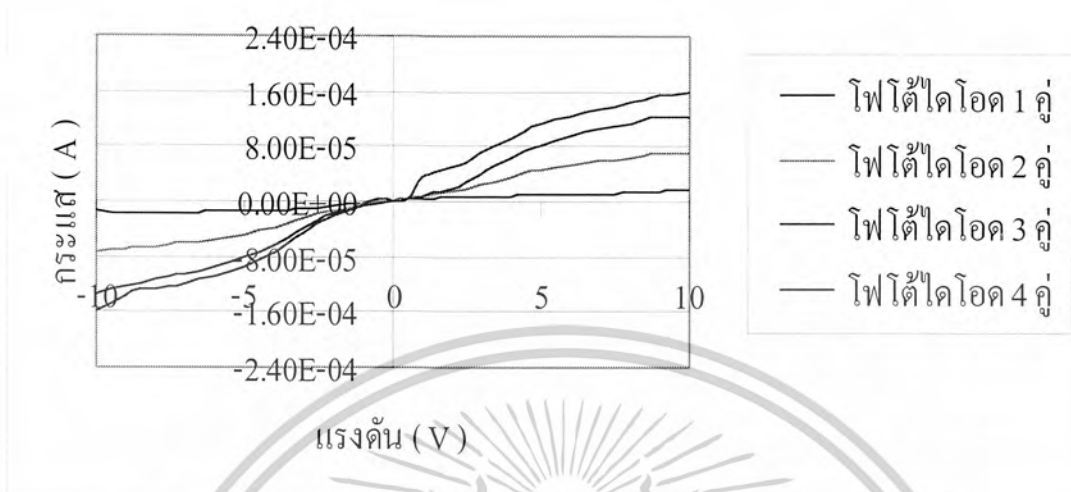


แรงดัน (V)

รูปที่ 4.8 กระแสแสงของโฟโตรีโอด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสแสงของโฟโตรีโอด C (2000 ไมครอน) ที่ 1500 ลักซ์



รูปที่ 4.9 กระแสแสงของโฟโตรีโอด C

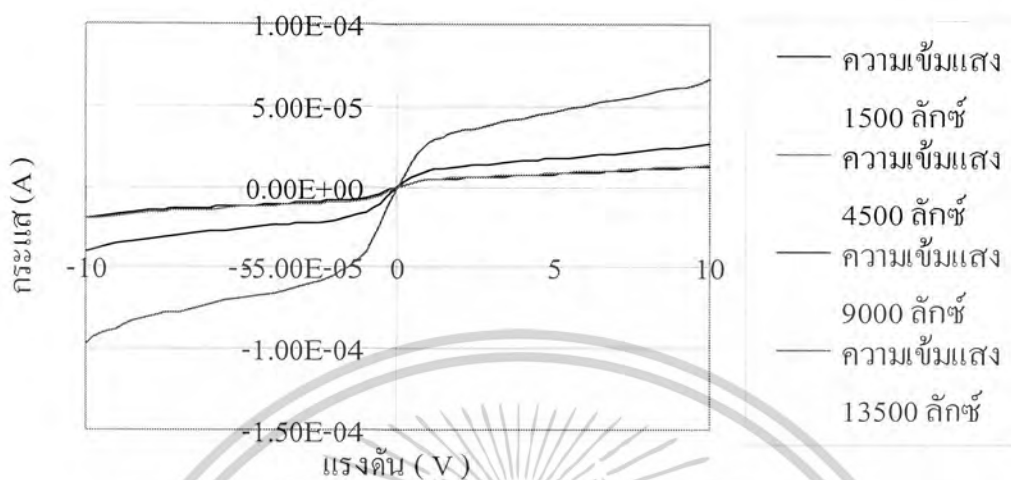
จากผลการให้ไบอัสแสง 1500 ลักซ์ แล้วทำการเพิ่มจำนวนคู่ของโฟโตรีโอด A , B และ C ที่เลือกมาจะสังเกตได้ว่ากระแสแสงของโฟโตรีโอด C มีค่าสูงสุด รองลงมาเป็นโฟโตรีโอด A และโฟโตรีโอด B ตามลำดับ

4.3 ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของความเข้มแสงค่าต่างๆต่อการไหลของกระแสแสง

เนื่องจากความเข้มแสงเป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณกระแสที่ไหลผ่านโฟโตรีโอดจึงได้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบนรอยสัมผัสโดยใช้แสงความเข้ม 1500 ลักซ์ , 4500 ลักซ์ , 9000 ลักซ์ และ 13500 ลักซ์ โฟโตรีโอด A ที่มี $S = 100$ ไมครอน โฟโตรีโอด B ที่มี $W = 80$ ไมครอน และโฟโตรีโอด C ที่มี $L = 2000$ ไมครอน กราฟผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.10 , รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12

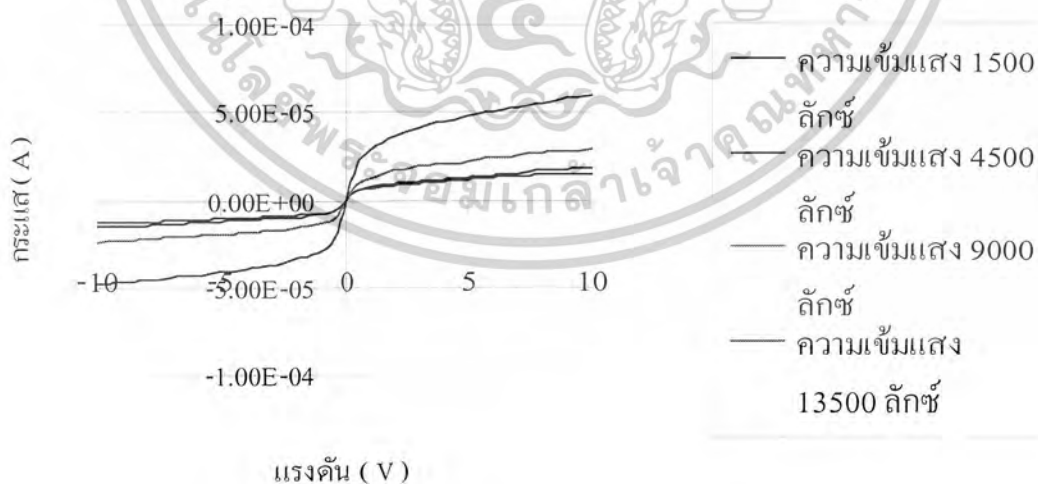
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสแสงของ โฟโตรีโอด A ($S=100$) ไมครอน ที่ความเข้มแสง
ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.10 กระแสแสงของ โฟโตรีโอด A ที่ความเข้มค่าต่างๆ

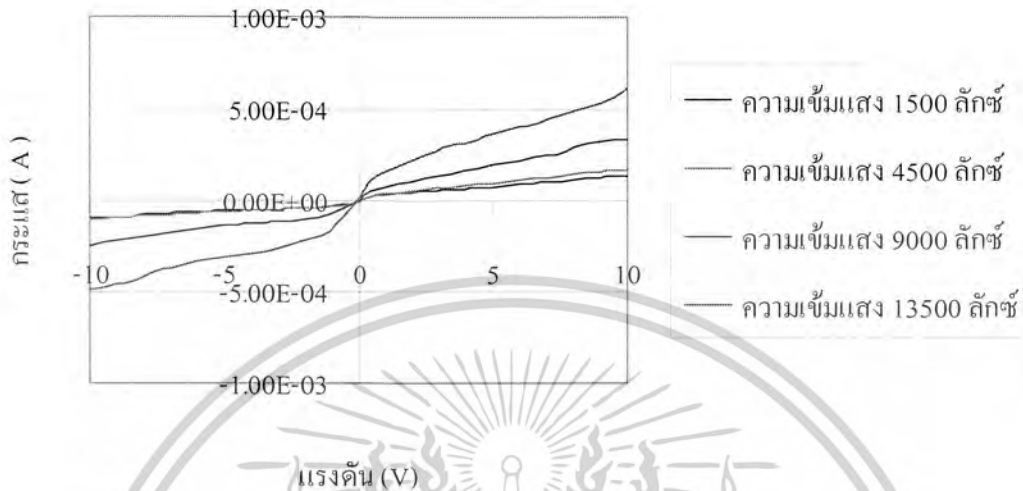
กระแสแสงของ โฟโตรีโอด B ($W=80$ ไมครอน) ที่ความเข้มค่าต่างๆ



รูปที่ 4.11 กระแสแสงของ โฟโตรีโอด B ที่ความเข้มค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสแสงของโฟโต้ไดโอด C (2000 ไมครอน) ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ



รูปที่ 4.12 กระแสแสงของโฟโต้ไดโอด C ที่ความเข้มค่าต่างๆ

จากกราฟทั้ง 3 รูปข้างบนจะเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มความเข้มแสงให้มีความมากขึ้นปริมาณกระแสที่ตรวจวัดได้จะมีค่ามากขึ้นตามมาด้วยซึ่งตรงกับทฤษฎี

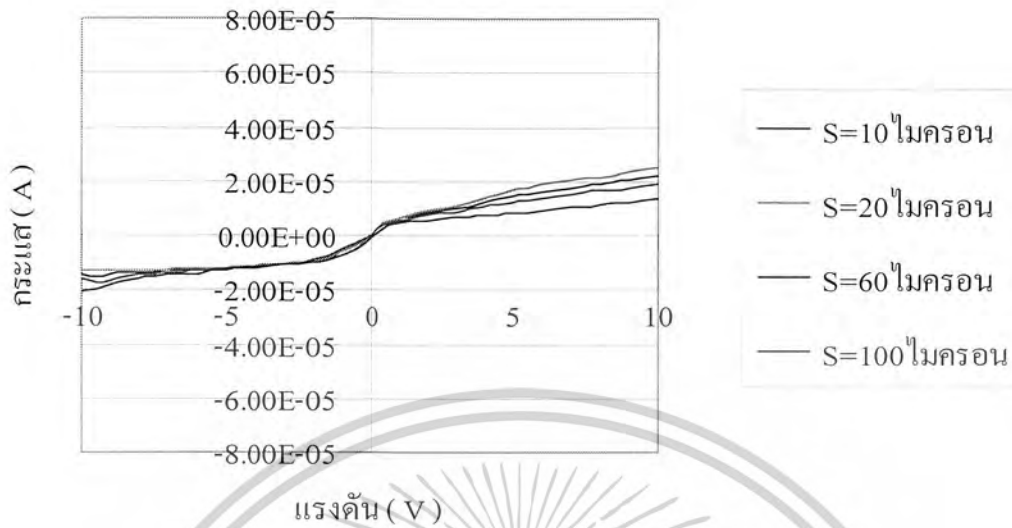
4.4 ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของกระแสแสงกับพารามิเตอร์ของโฟโต้ไดโอดชุด A , B และ C

กรณีนี้โฟโต้ไดโอด A จะเปลี่ยนแปลงค่า S ตั้งแต่ 10 ถึง 100 ไมครอน โฟโต้ไดโอด B เปลี่ยนแปลงค่า W ตั้งแต่ 10 ถึง 80 ไมครอน ส่วนโฟโต้ไดโอด C ค่า L = 500- 2000 ไมครอน และใช้ความเข้มแสงที่คงที่

จากกราฟรูปที่ 4.13 รูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพารามิเตอร์ของโฟโต้ไดโอด A มีผลต่อการเพิ่มของกระแสแสงน้อยมากจะเห็นได้จากกราฟว่าเส้นที่ S ค่าติดกันมีการเปลี่ยนแปลงกระแสน้อยเมื่อเทียบกับโฟโต้ไดโอด B และ C อาจกล่าวได้ว่าหากต้องการกระแสที่มากขึ้นนั้นพิจารณาพารามิเตอร์ของโฟโต้ไดโอด B และ C เป็นการเพียงพอ

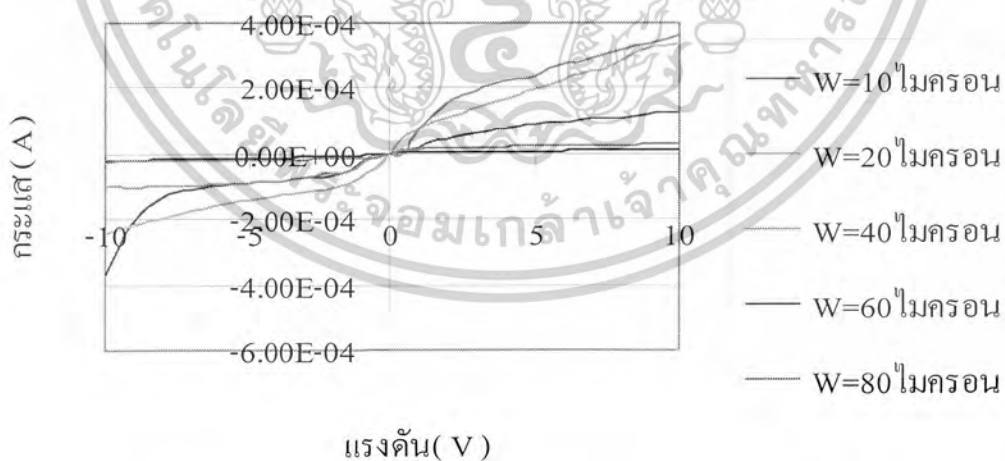
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสแสงของโฟโตไดโอด A(10-100ไมครอน)ที่ 4500ลักซ์



รูปที่ 4.13 กระแสของโฟโตไดโอด A เมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ S

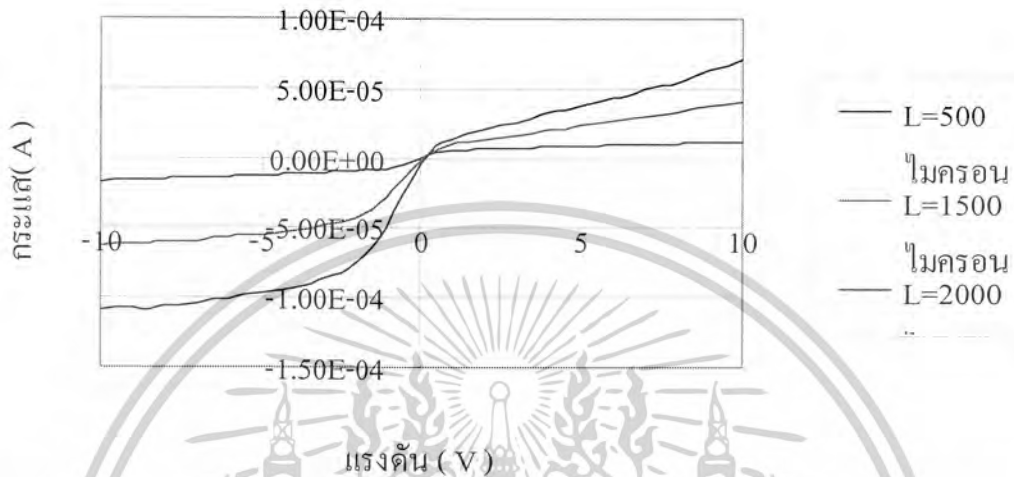
กระแสแสงของโฟโตไดโอด B(10-80ไมครอน)ที่ 9000ลักซ์



รูปที่ 4.14 กระแสของโฟโตไดโอด B เมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสแสงของโฟโตไดโอด C (500-2000 ไมครอน) ที่ 9000 ลักซ์



รูปที่ 4.15 กระแสของโฟโตไดโอด C เมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ L

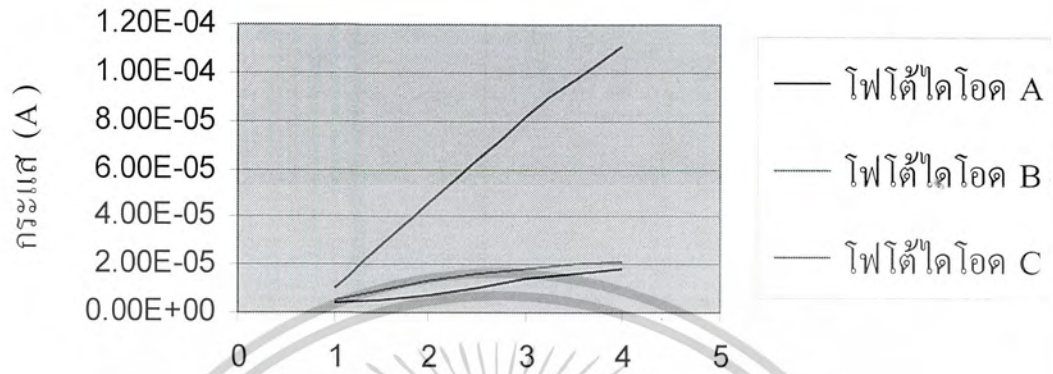
และกระแสแสงของโฟโตไดโอดทั้ง 3 ชุดที่แรงดัน 5 โวลต์ในตารางที่ 4.5 ข้างล่าง เมื่อนำมาพล็อตแล้วแสดงในรูปที่ 4.16

จำนวนคู่	โฟโตไดโอด A	โฟโตไดโอด B	โฟโตไดโอด C
1	4.26E-06	5.02E-06	9.67E-06
2	7.49E-06	1.30E-05	4.55E-05
3	1.44E-05	5.00E-06	8.13E-05
4	1.84E-05	8.00E-06	1.11E-04

ตารางที่ 4.5 กระแสแสงของโฟโตไดโอดชุด A , B , C ที่แรงดัน 5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสแสงของ A, B, C



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบกระแสแสงของชุด A, B, C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

โฟโด้ไดโอด MSM มีจุดเด่นที่เหนือกว่าโฟโด้ไดโอดโครงสร้างแบบที่เอ็นทั่วไปตรงที่ให้กระแสไหลผ่านตัวมันได้มากกว่าเมื่อมีขนาดของตัวโฟโด้ไดโอดเท่ากันเนื่องจากรอยสัมผัสที่เป็นแบบซ็อดก็้อจะให้ความเข้มข้นของกระแสมาก และรอยต่อซ็อดก็้อไดโอดที่มีสองรอยต่อทำให้โฟโด้ไดโอด MSM แสดงคุณสมบัติความสมมาตรซึ่งสังเกตได้จากกราฟกระแสและแรงดันที่วัดได้เนื่องจากโฟโด้ไดโอด MSM ที่ทำการศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์ของขนาดโฟโด้ไดโอดว่ามีผลต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวโฟโด้ไดโอดทั้งกระแสมีดและกระแสแสงอย่างไร โดยการออกแบบให้ลักษณะของตัวโฟโด้ไดโอดเป็นแบบ Interdigitated ซึ่งจะให้กระแสไหลผ่านตัวมันได้มากกว่าโฟโด้ไดโอดที่มีโครงสร้างเดี่ยวๆ

โฟโด้ไดโอดที่สร้างจะแบ่งย่อยออกเป็น 3 ชุดคือ ชุด A , B และ C โดยที่ชุด A มีการเปลี่ยนแปลงค่าช่องว่างระหว่าง slit ที่ใช้รับแสง (S) ชุด B มีการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างของส่วนที่เป็นโนโลหะ (W) และชุด C มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของ slit (L) จากผลการทดลองจึงได้แบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 4 หัวข้อใหญ่ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทดลองการหาความสัมพันธ์ของจำนวนคู่ของโฟโด้ไดโอดต่อการไหลของกระแสมีดของโฟโด้ไดโอดชุด A , B และ C โดยเลือกโฟโด้ไดโอดชุด A ที่มี $W = 40$ ไมครอน $S = 10$ ไมครอน $L = 100$ ไมครอนมาใช้ผลของกระแสมีดจะมีค่า 4.54×10^{-9} ที่แรงดัน 5 โวลต์ โฟโด้ไดโอด B มี $W = 60$ ไมครอน $S = 40$ ไมครอน $L = 100$ ไมครอน ผลของกระแสมีดจะมีค่า 3.18×10^{-8} ที่แรงดัน 5 โวลต์ และโฟโด้ไดโอดชุด C ที่มี $W = 40$ ไมครอน $S = 10$ ไมครอน $L = 2000$ ไมครอน ผลของกระแสมีดจะมีค่า 1.11×10^{-6} ที่แรงดัน 5 โวลต์ จากตัวเลขกระแสมีดที่ได้แสดงให้เห็นว่าโฟโด้ไดโอดชุด A ที่มี $W = 40$ ไมครอน $S = 10$ ไมครอน $L = 100$ ไมครอน มีกระแสมีดในระดับนาโนแอมป์และโฟโด้ไดโอด C ที่มี $W = 40$ ไมครอน $S = 10$ ไมครอน $L = 2000$ ไมครอน มีกระแสมีดอยู่ในระดับไมโครแอมป์จึงได้ข้อสรุปว่าพารามิเตอร์ L ของโฟโด้ไดโอดชุด C ซึ่งก็คือความยาวของส่วนที่เป็นโลหะนั้น มีผลทำให้เกิดกระแสมีดที่มีค่ามากกว่าโฟโด้ไดโอด ชุด A และ B ที่มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของส่วนที่เป็นโลหะและความกว้างของช่องรับแสงตามลำดับ

การทดลองการหาความสัมพันธ์ของการเพิ่มจำนวนคู่ของโฟโด้ไดโอดต่อการไหลของกระแสแสงแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มคู่ของโฟโด้ไดโอดและใช้ค่าความเข้มแสงที่คงที่ จะทำให้ตัวโฟโด้ไดโอดทั้งชุด A , B และ C มีกระแสไหลผ่านตัวมันเองได้มากขึ้นซึ่งเป็นจุดเด่นในโครงสร้างแบบ interdigitated ที่มีคู่ของโฟโด้ไดโอดหลายคู่ และผลจากกราฟของชุด A , B และ C ยังพบอีกว่าโฟโด้ไดโอดชุด C ให้กระแสแสงที่มีค่ามากกว่าแบบ A และ B นั่นก็คือ ความยาวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เป็นโลหะ (L) จะมีผลต่อกระแสต่อการไหลของกระแสแสงมากกว่าความกว้างของช่องรับแสงและความกว้างของส่วนที่เป็นโลหะ

การทดลองการหาความสัมพันธ์ของความเข้มแสงค่าต่างๆต่อการไหลของกระแสแสง พบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าความเข้มแสงค่าต่างๆจะทำให้กระแสแสงที่ไหลผ่านโฟโอดีไดโอดทั้ง 3 ชุด มีค่าเพิ่มขึ้น กระแสแสงที่ไหลมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มแสงเกิดจากการที่มีโฟตอนมาตกกระทบโฟโอดีไดโอดมากทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลตามไปด้วย และเมื่อดูค่าของกระแสแสงที่ไหลผ่านโฟโอดีไดโอดทั้ง 3 ชุด จะสังเกตได้ว่าโฟโอดีไดโอดชุด C มีกระแสแสงไหลผ่านตัวมันมากกว่าโฟโอดีไดโอดชุด A และ B จึงกล่าวได้ว่าแสงที่มากขึ้นมีผลทำให้เกิดกระแสแสงต่อโฟโอดีไดโอดที่มีความยาวของส่วนที่เป็นโลหะมากกว่าความกว้างของช่องรับแสงและความกว้างของส่วนที่เป็นโลหะ

ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของกระแสแสงกับพารามิเตอร์ของโฟโอดีไดโอดชุด A , B และ C พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของช่องรับแสงของโฟโอดีไดโอดชุด A แล้วค่าของกระแสแสงที่ไหลผ่านโฟโอดีไดโอดชุด A มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นไม่มากสังเกตได้จากกราฟของพารามิเตอร์ที่อยู่ติดกันมีความชิดกันมาก ส่วนการเปลี่ยนแปลงความกว้างของส่วนที่เป็นโลหะ จะส่งผลต่อกระแสแสงที่ไหลผ่านตัวมันพอสมควรและกระแสที่ไหลผ่านยังมีค่ามากกว่าโฟโอดีไดโอดชุด A ที่ความเข้มแสงเท่ากัน และโฟโอดีไดโอดชุด C มีกระแสไหลผ่านตัวมันใกล้เคียงกับชุด A แต่จะเห็นผลของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อกระแสชัดเจนกว่า

โดยสรุปแล้วโฟโอดีไดโอดทั้ง 3 ชุดนั้น ความยาวของส่วนที่เป็นโลหะจะมีผลต่อกระแสมืดและกระแสแสงมากที่สุด และเมื่อเพิ่มค่าแล้วกระแสแสงไหลเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนค่าความกว้างของช่องรับแสงและความกว้างของส่วนที่เป็นโลหะ มีผลต่อกระแสแสงรองลงมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lin, Chinlon, ed. **Optoelectronic technology and lightwave communications systems**. New York : Van Nostrand Reinhold, c1989
- [2] jasprit Singh. **Optoelectronics and Introduction to Materials and Device** . New York, NY : McGraw-Hill, c1996
- [3] Mitsuo Fukada. **Optical Semiconductor Device**. New York : John Wiley & Sons, c1999
- [4] รศ.ดร สมเกียรติ สุภเดช. **เซมิคอนดักเตอร์ฟิสิกส์**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง . พ.ศ.2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้