

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM แบบสลิตเดี่ยว
ที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิด Al/n-Si/Al

SHORT ELECTRODE GAP SINGLE SLIT STRUCTURE
OF Al/n-Si/Al PHOTODETECTOR



นาย นกมล อัญชัยศรีชาติ
นางสาว ปิยะนันท์ บุญทวี

๑/๗พ.
๒๕๕๙
๒๕๕๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72833
วัน,เดือน,ปี..... 23 ส.ย. 2550

b. 11773028
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM แบบสลิตเดี่ยว
ที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิด Al/n-Si/Al
SHORT ELECTRODE GAP SINGLE SLIT STRUCTURE
OF Al/n-Si/Al PHOTODETECTOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

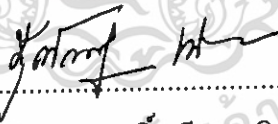
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง MSM สลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก

ชนิด Al/n-Si/Al

ผู้จัดทำ

1. นาย นกมล อัญชัยศรีชาติ รหัส 46010335
2. นางสาว ปิยะนันท์ บุญทวี รหัส 46010460



(ผศ.ดร. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ)

วันที่ ๒ / ๑๓ / ๐๐

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการ.....	3
1.5 ขอบเขตของโครงการ.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 กระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำและตัวตรวจวัดแสง.....	5
2.1 กระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำ.....	5
2.1.1 ลักษณะสมบัติพื้นฐานของแสง.....	5
2.1.2 สารกึ่งตัวนำช่องแถบตรงและช่องแถบไม่ตรง.....	6
2.1.3 การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ.....	7
2.1.3.1 การดูดกลืนแสงและการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล.....	7
2.1.3.2 การรวมตัวใหม่ของคู่อิเล็กตรอน-โฮล.....	8
2.1.4 การตอบสนองทางแสง.....	10
2.2 ชนิดของตัวตรวจวัดแสง.....	11
2.2.1 โฟโตคอนดักเตอร์.....	11
2.2.2 โฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น.....	11
2.2.3 โฟโตไดโอดแบบ p-i-n.....	12
2.2.4 โฟโตไดโอดแบบอะวาแลนซ์.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ.....	15
3.1 รอยสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำชนิดอื่น.....	15
3.1.1 รอยสัมผัสในภาวะสมดุลความร้อน.....	16
3.1.1.1 ก่อนการสัมผัส.....	16
3.1.1.2 หลังการสัมผัส.....	17
3.1.2 รอยสัมผัสขณะได้รับไบแอส.....	18
3.1.2.1 รอยสัมผัสขณะได้รับไบแอสตรง.....	18
3.1.2.2 รอยสัมผัสขณะได้รับไบแอสย้อนกลับ.....	19
3.1.3 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของซีดทีไอโอค.....	21
3.2 ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ.....	21
3.2.1 โครงสร้าง MSM ในภาวะสมดุลความร้อน.....	21
3.2.2 โครงสร้าง MSM ขณะได้รับแรงดันไบแอส.....	22
3.2.2.1 ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะขณะได้รับแรงดันไบแอส.....	23
3.2.2.2 ความจุไฟฟ้าของโครงสร้าง MSM ขณะได้รับแรงดันไบแอส.....	24
3.2.3 โครงสร้าง MSM ขณะได้รับแสงตกกระทบ.....	25
บทที่ 4 การออกแบบ การสร้างและการทดลอง.....	28
4.1 โครงสร้างและการออกแบบ.....	28
4.2 กระบวนการสร้าง.....	29
4.3 การทดลอง.....	32
4.3.1 การศึกษากำแพงศักย์ซีดทีไอโอค.....	32
4.3.2 การศึกษาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของ Al/n-Si/Al ของโฟโตไดโอด ขณะไม่ได้รับแสงกระทบ.....	33
4.3.3 การศึกษาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของ Al/n-Si/Al ในแบบสัญญาณแสง กระแสตรง.....	33
4.3.4 ผลการทดสอบลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันของโฟโตไดโอด ชนิด Al/n-Si/Al	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	35
5.1 ผลการทดสอบสมบัติของรอยสัมผัสขั้วต่อคิกซ์.....	35
5.2 ผลการทดสอบลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด ขณะไม่ได้รับแสงกระทบ.....	38
5.2.1 ผลของระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ต่อลักษณะสมบัติกระแสแสง – แรงดัน.....	38
5.2.2 ผลของขนาดขั้วไฟฟ้าต่อลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน.....	41
5.3 ผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของอุปกรณ์ Al/n-Si/Al ในแบบสัญญาณแสงกระแสตรง.....	42
5.3.1 ผลของระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ต่อลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน.....	43
5.3.2 ผลของขนาดของขั้วไฟฟ้า ต่อลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน.....	47
5.3.3 ผลของความเข้มแสงต่อลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน.....	48
5.3.4 ผลการทดลองลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดัน.....	51
บทที่ 6 สรุปผลโครงการ.....	52
บรรณานุกรม.....	54

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 (ก) ภาพด้านบนโครงสร้าง MSM ชนิด Al/n-Si/Al	
(ข) ภาคตัดขวาง โครงสร้าง MSM.....	1
2.1 กราฟความสัมพันธ์ E- k ของสารกึ่งตัวนำแบบต่างๆ	
(ก) ช่องแถบตรง (ข) ช่องแถบไม่ตรง.....	6
2.2 การเกิดคู่พาหะอิเล็กตรอน-โฮล จากการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ.....	8
2.3 การเกิดคู่พาหะอิเล็กตรอน-โฮล จากการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ	
(ก) ชนิดเอ็น (ข) ชนิดพี.....	8
2.4 กระบวนการรวมตัวใหม่ในสารกึ่งตัวนำ	
(ก) แบบโดยตรง (ข) แบบโดยอ้อม.....	9
2.5 การเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองทางแสงกับความถี่ของสัญญาณ.....	10
2.6 (ก) โครงสร้างของโฟโตคอนดักเตอร์	
(ข) แถบพลังงานของโฟโตคอนดักเตอร์เมื่อได้รับแสง.....	11
2.7 (ก) โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น	
(ข) แถบพลังงานของโฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็นเมื่อได้รับแสง.....	12
2.8 (ก) โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบ p-i-n	
(ข) แถบพลังงานของโฟโตไดโอดแบบ p-i-n เมื่อได้รับแสง.....	13
2.9 โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์ชนิดรีซทรู.....	14
3.1 แสดงลักษณะรอยสัมผัสระหว่างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ	
(ก) รอยสัมผัสโอห์มิก (ข) รอยสัมผัสช็อคกี.....	15
3.2 ระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนการสัมผัส.....	16
3.3 ระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำหลังการสัมผัส.....	17
3.4 (ก) การให้แรงดันไบแอสตรง	
(ข) แถบพลังงานขณะได้รับแรงดันไบแอสตรง.....	19
3.5 (ก) การให้แรงดันไบแอสย้อนกลับ	
(ข) แถบพลังงานขณะได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ.....	20
3.6 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของช็อคกีไดโอดและไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น.....	21

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 (ก) ภาพด้านบนโครงสร้าง MSM ชนิด Al/n-Si/Al	
(ข) ภาคตัดขวาง โครงสร้าง MSM.....	1
2.1 กราฟความสัมพันธ์ E- k ของสารกึ่งตัวนำแบบต่างๆ	
(ก) ช่องแถบตรง (ข) ช่องแถบไม่ตรง.....	6
2.2 การเกิดคู่พาหะอิเล็กตรอน-โฮล จากการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ.....	8
2.3 การเกิดคู่พาหะอิเล็กตรอน-โฮล จากการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ	
(ก) ชนิดเอ็น (ข) ชนิดพี.....	8
2.4 กระบวนการรวมตัวใหม่ในสารกึ่งตัวนำ	
(ก) แบบโดยตรง (ข) แบบโดยอ้อม.....	9
2.5 การเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองทางแสงกับความถี่ของสัญญาณ.....	10
2.6 (ก) โครงสร้างของโฟโตคอนดักเตอร์	
(ข) แถบพลังงานของโฟโตคอนดักเตอร์เมื่อได้รับแสง.....	11
2.7 (ก) โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น	
(ข) แถบพลังงานของโฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็นเมื่อได้รับแสง.....	12
2.8 (ก) โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบ p-i-n	
(ข) แถบพลังงานของโฟโตไดโอดแบบ p-i-n เมื่อได้รับแสง.....	13
2.9 โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์ชนิดรีซทรู.....	14
3.1 แสดงลักษณะรอยสัมผัสระหว่างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ	
(ก) รอยสัมผัสโอห์มิก (ข) รอยสัมผัสช็อคกี.....	15
3.2 ระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนการสัมผัส.....	16
3.3 ระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำหลังการสัมผัส.....	17
3.4 (ก) การให้แรงดันไบแอสตรง	
(ข) แถบพลังงานขณะได้รับแรงดันไบแอสตรง.....	19
3.5 (ก) การให้แรงดันไบแอสย้อนกลับ	
(ข) แถบพลังงานขณะได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ.....	20
3.6 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของช็อคกีไดโอดและไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น.....	21

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 (ก) ภาพภาคตัดขวางของโครงสร้าง MSM	
(ข) แถบพลังงานในภาวะสมดุลความร้อน	
(ค) สัญลักษณ์ของตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง MSM.....	22
3.9 แถบพลังงานภายหลังจากได้รับแรงดันไบแอส.....	23
3.10 ความจุไฟฟ้าของโครงสร้าง MSM เมื่อได้รับแรงดันไบแอส.....	24
3.11 ลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันของ MSM	25
3.12 แถบพลังงานภายหลังจากที่ได้รับแสงตกกระทบ.....	26
3.13 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของ MSM เมื่อได้รับแสงตกกระทบ.....	27
4.1 การออกแบบตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al.....	28
4.2 ตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง Al/n-Si/Al.....	29
4.3 ภาพภาคตัดขวางของกระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al	32
4.4 แผนภาพที่ใช้ในการทดลองหาค่าพียงศักย์ซีดตี.....	33
4.5 แผนภาพที่ใช้ในการทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน.....	33
4.6 แผนภาพที่ใช้ในการทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ในแบบสัญญาณแสงกระแสตรง.....	34
4.7 แผนภาพที่ใช้ในการทดลองลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดัน.....	34
5.1 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของรอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมและซิลิคอนชนิดเอ็น	36
5.2 การหาแรงดันภายในของรอยสัมผัสซีดตี.....	36
5.3 การหาค่า J_0 จากกราฟความหนาแน่นกระแส-แรงดันของรอยสัมผัสซีดตี.....	37
5.4 โครงสร้างแบบสลิตเดี่ยว ขนาดเล็ก (Short electrode).....	39
5.5 โครงสร้างแบบสลิตเดี่ยว ขนาดใหญ่ (Wide electrode).....	39
5.6 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al ขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $1 \times 1 \text{ mm}^2$ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D)	39
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมีดกับระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $1 \times 1 \text{ mm}^2$	40
5.8 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al ขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $2 \times 2 \text{ mm}^2$ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D).....	40
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมีดกับระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $2 \times 2 \text{ mm}^2$	41

สารบัญรูป (ต่อ)

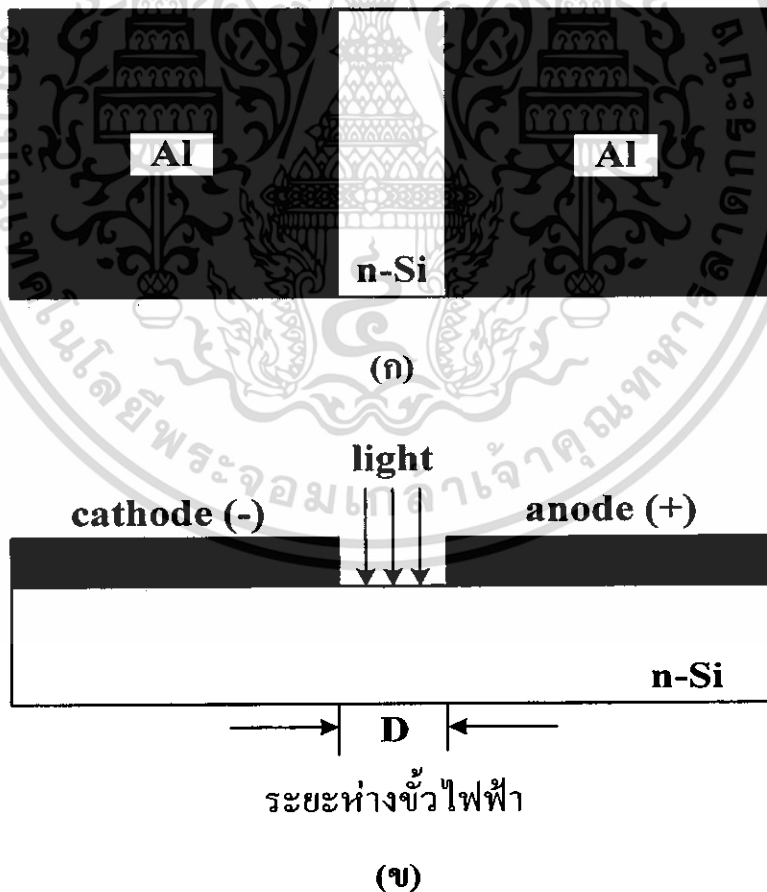
รูปที่	หน้า
5.10 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al ขณะไม่ได้รับแสง ตกกระทบที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 5 μm เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดขั้วไฟฟ้า.....	42
5.11 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า 1x1 mm^2 ความเข้มแสง 25000 lux	44
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงกับระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า 1x1 mm^2 ความเข้มแสง 25000 lux	44
5.13 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า 2x2 mm^2 ความเข้มแสง 25000 lux	45
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงกับระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า 2x2 mm^2 ความเข้มแสง 25000 lux.....	45
5.15 โครงสร้าง MSM ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) มีขนาดเล็กมาก เมื่อให้แรงดันไบอัสแล้วเกิดบริเวณปลอดพาหะเท่านั้น.....	46
5.16 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของขั้วไฟฟ้าที่มี ขนาด 1x1 mm^2 และ 2 x 2 mm^2 ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 5 μm ความเข้มแสง 20000 lux.....	47
5.17 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ในช่วง 2,500 – 25,000 ลักซ์ ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 5 μm ขนาดขั้วไฟฟ้า 1x1 mm^2	48
5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสแสงกับความเข้มแสงในช่วง 2,500 – 25,000 ลักซ์ ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 5 μm ขนาดขั้วไฟฟ้า 1x1 mm^2	49
5.19 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ในช่วง 2,500 – 25,000 ลักซ์ ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 5 μm ขนาดขั้วไฟฟ้า 2x2 mm^2	49
5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสแสงกับความเข้มแสง ในช่วง 2,500 – 25,000 ลักซ์ ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 5 μm ขนาดขั้วไฟฟ้า 2x2 mm^2	50
5.21 การเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล เมื่อได้รับแสงตกกระทบ (ก) กรณีความเข้มแสงน้อย (ข) กรณีความเข้มแสงมาก.....	50
5.22 ลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันของ Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแรงดันไบแอสค่าต่างๆ.....	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ทางแสง สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสงที่สำคัญๆ ได้แก่ โฟโตดีเทคเตอร์ (Photodetector) หรือตัวตรวจวัดแสง ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ จึงได้มีการศึกษาถึงประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสง และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสงมีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณทางแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ตัวตรวจวัดแสงมีโครงสร้างหลายลักษณะแตกต่างกันไปเช่น พี-เอ็น โฟโตไดโอด (p-n photodiode), พินโฟโตไดโอด (p-i-n photodiode), อะวอลานซ์โฟโตไดโอด (avalanche photodiode) และโฟโตคอนดักเตอร์ (photoconductor) เป็นต้น



รูปที่ 1.1 (ก) ภาพด้านบน โครงสร้าง MSM ชนิด Al/n-Si/Al

(ข) ภาคตัดขวาง โครงสร้าง MSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (Metal-Semiconductor-Metal photodetector) หรือ โครงสร้าง MSM ดังแสดงในรูปที่ 1.1 เป็นโฟโตไดโอดชนิดหนึ่งประกอบด้วย กำแพงศักย์ช็อตคีย์ (Schottky barrier: ϕ_n) ที่ปลายสุดทั้งสองด้าน ซึ่งต่อแบบหันหลังชนกัน เป็นตัวตรวจวัดแสงที่ได้รับความนิยมอย่างมากตัวหนึ่ง และคาดว่าน่าจะมีประโยชน์อย่างมากในอนาคตอันใกล้นี้ เพราะมีจุดเด่นที่สำคัญหลายประการ เช่น มีค่าความจุไฟฟ้าต่ำทำให้มีการตอบสนองสัญญาณที่ความถี่สูง หรือ มีโครงสร้างที่สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย ถึงแม้ว่าในขณะนี้ โครงสร้าง MSM โดยส่วนมากนิยมใช้สารกึ่งตัวนำประเภทสารประกอบที่อยู่ในกลุ่ม III-V เช่น แกลเลียมอะเซไนด์ (GaAs) หรือ อินเดียมแกลเลียมอะเซไนด์ (InGaAs) เพื่อต้องการใช้งานด้านความถี่สูง อย่างไรก็ตามในการใช้งานบางอย่างไม่จำเป็นต้องใช้งานที่ความถี่สูงๆ เช่น งานระบบเก็บข้อมูล จึงไม่จำเป็นต้องใช้สารประกอบในกลุ่ม III-V ซึ่งมีราคาแพง และในขณะนี้เทคโนโลยีซิลิคอน (Si) มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก การเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่เป็นซิลิคอนเพื่อสร้างเป็นโครงสร้าง MSM จึงเป็นอุปกรณ์ที่น่าสนใจ ซึ่งซิลิคอนสามารถตอบสนองในช่วงแสงที่ตามองเห็นคือ 400-700 นาโนเมตร ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากมาย และที่สำคัญยังมีราคาถูกกว่าการสร้างขึ้นจากสารประกอบกลุ่ม III-V อีกด้วย

ดังนั้นในการโครงการงานนี้จึงศึกษาตัวตรวจวัดแสงที่มีสารกึ่งตัวนำโครงสร้าง MSM สลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก (Short electrode gap) ใช้สารกึ่งตัวนำเป็นซิลิคอนและโลหะที่ใช้เป็นอลูมิเนียม (Al) สร้างโดยกระบวนการระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ (vacuum evaporation) นำไปทำกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี (Photolithographic process) และกระบวนการอิชชิง (Etching) ซึ่งมีกระบวนการสร้างที่ไม่ซับซ้อนโดยใช้เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำที่ศึกษามา และมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้สร้างเป็นวงจรรวมต่อไปในอนาคต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของโครงการงาน

1. เพื่อศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM สลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิด Al/n-Si/Al ที่มีสารกึ่งตัวนำคือซิลิคอนและโลหะที่ใช้เป็นอลูมิเนียม
2. เพื่อศึกษาการออกแบบตัวตรวจวัดแสงที่มีขนาดของขั้วโลหะและระยะห่างขั้วไฟฟ้าต่างกัน
3. เพื่อศึกษาการเกิดกระแสแสง (photocurrent) ของตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด Al/n-Si/Al โดยให้ระยะห่างขั้วไฟฟ้า (Distance between electrode :D) มีขนาดค่า 2 μm , 3 μm , 5 μm , 7 μm , 10 μm , 20 μm และขนาดขั้วไฟฟ้า 1x1 mm² และ 2 x 2 mm²
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระแสแสงโดยเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง และการเปลี่ยนแปลงแรงดันไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้ากระแส-แรงดัน, ความจุประจุที่ขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กและการตอบสนองทางแสงของอุปกรณ์ในแบบกระแสตรง (dc)

1.3 สมมติฐานของโครงการ

สมมติฐานที่ใช้ในโครงการนี้ คือ ตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง MSM สลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิด Al/n-Si/Al ที่สร้างขึ้นมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี คือ มีกระแสรั่วไหลที่ต่ำซึ่งเกิดจากการนำอุปกรณ์ไปทำการซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 นาที เป็นผลให้อลูมิเนียมสามารถแพร่เข้าไปในซิลิคอนได้ ซึ่งเป็นการลดผลของสถานะพื้นผิว (surface state) ระหว่างรอยสัมผัสของอลูมิเนียมและซิลิคอน ทำให้รอยสัมผัสมีความสมบูรณ์มากขึ้น และทำให้ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้ามีความความสอดคล้องกันเมื่อให้แรงดันไบแอสตรงและไบแอสย้อนกลับ ส่วนกระแสแสงที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มแสงมากขึ้น และการควบคุมกระแสแสงทำได้โดยการเปลี่ยนแรงดันไบอัส, ความยาวของพื้นที่รับแสง จากนั้นนำอุปกรณ์ Al/n-Si/Al ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้ามีขนาด 2 μm , 3 μm , 5 μm , 7 μm , 10 μm , 20 μm มาศึกษาพฤติกรรมการเกิดกระแสแสง เมื่ออุปกรณ์ได้รับแรงดันไบแอสทำให้บริเวณปลอดพาหะ (depletion region) ขยายตัว เนื่องจากขนาดขั้วไฟฟ้าที่ออกแบบมีขนาดเล็กทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายจนเต็มระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งหมดและสนามไฟฟ้าที่ให้ก็จะครอบคลุมบริเวณปลอดพาหะทั้งหมดจะเห็นว่าไม่มีบริเวณนิวทรัล (neutral region) อยู่เลยส่งผลให้กระแสแสงทั้งหมดนั้นเกิดมาจากบริเวณปลอดพาหะ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการ

จากสมมติฐานที่กล่าวข้างต้น การซินเตอร์ ซึ่งจะทำให้ความสูงของกำแพงศักย์ช็อคก็มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลให้กระแสรั่วไหลที่ได้มีค่าน้อยลง ส่วนกระแสแสงที่ได้จะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มแสงเนื่องจากเกิดคู่พาหะอิเล็กตรอนและโฮลที่มากขึ้น และกระแสแสงสามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนแปลงของบริเวณปลอดพาหะซึ่งจะขึ้นอยู่กับแรงดันไบอัสที่ให้และสภาพด้านทานของซิลิคอน กระแสแสงรวม (I_p) ที่ได้คือ กระแสแสงที่มาจากบริเวณปลอดพาหะซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของสนามไฟฟ้าเรียกว่ากระแสแสงไดโอด (I_D)

1.5 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้มีขอบเขตอยู่ที่การออกแบบและการศึกษาการสร้างตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง MSM สลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่มีซิลิคอนเป็นสารกึ่งตัวนำและโลหะที่ใช้เป็นอลูมิเนียม โดยมีระยะห่างขั้วไฟฟ้ามีขนาด 2 μm , 3 μm , 5 μm , 7 μm , 10 μm , 20 μm และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดขั้วไฟฟ้า $1 \times 1 \text{ mm}^2$ และ $2 \times 2 \text{ mm}^2$ โดยนำอุปกรณ์ที่ได้ไปทำการซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส แล้วทดสอบลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า คือ ความสูงกำแพงศักย์ขั้วขั้วลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน และลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดัน จากนั้นนำอุปกรณ์มาทดสอบลักษณะสมบัติทางแสงแบบกระแสตรงภายใต้เงื่อนไขการให้แสงตกกระทบจากแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฮาโลเจนที่ความเข้มค่าต่างๆ แล้วอธิบายการเกิดกระแสแสงของอุปกรณ์ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้ามีขนาดต่างๆกันในอุปกรณ์ที่มีขนาดขั้วไฟฟ้ากว้าง $1 \times 1 \text{ mm}^2$ จากนั้นเปลี่ยนขนาดของขั้วไฟฟ้าเป็น $2 \times 2 \text{ mm}^2$ แล้วทำการทดสอบลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของอุปกรณ์ที่มีขนาดของขั้วไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM สลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กชนิด Al/n-Si/Al
2. ออกแบบโครงสร้าง MSM สลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กชนิด Al/n-Si/Al แบบช่องเดี่ยว (single slit)
3. ศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงสลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กชนิด Al/n-Si/Al
4. ศึกษาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของตัวตรวจวัดแสงสลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กชนิด Al/n-Si/Al
5. ศึกษาลักษณะสมบัติทางแสงของตัวตรวจวัดแสงสลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กชนิด Al/n-Si/Al
6. ศึกษากลไกการเกิดกระแสแสงของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM สลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิด Al/n-Si/Al

บทที่ 2

กระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำและตัวตรวจวัดแสง

ทฤษฎีเรื่องกระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำมีความสำคัญในการใช้เป็นพื้นฐานของตัวตรวจวัดแสง ซึ่งตัวตรวจวัดแสงจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันไป ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการทางแสง และหลักการทำงานของตัวตรวจวัดแสงที่มีโครงสร้างในแบบต่างๆ

2.1 กระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำ

กระบวนการทางแสงในสารกึ่งตัวนำเป็นกระบวนการที่สารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับแสงแล้วเกิดกลไกภายในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งประกอบไปด้วย การดูดกลืนพลังงานของแสงที่ตกกระทบแล้วทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล และการรวมตัวของคู่อิเล็กตรอน-โฮล

2.1.1 ลักษณะสมบัติพื้นฐานของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นแสงแตกต่างกันไป แสงที่ตามนุษย์เรามองเห็นเรียกว่า แสงมองเห็น (Visible light) ซึ่งมีความยาวอยู่ในช่วงประมาณ 400-700 นาโนเมตร โดยที่แสงมีทั้งคุณสมบัติที่เป็นทั้ง “คลื่น” และ “อนุภาค” ปรากฏการณ์ที่แสงแสดงลักษณะสมบัติเป็นคลื่นก็คือ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด เป็นต้น

ในทางฟิสิกส์แบบควอนตัม คลื่นแสงถูกพิจารณาว่ามีลักษณะสมบัติเป็นอนุภาค โดยที่อนุภาคของแสงนี้ถูกเรียกว่าเป็น โฟตอน (Photon) และพลังงานของโฟตอนแปรกับความถี่ของคลื่นแสงโดยสมการที่ 2.1

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

โดยที่ ν คือ ความถี่ (Hz)

λ คือ ความยาวคลื่นแสง (μm)

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ มีค่าเท่ากับ 6.626×10^{-34} J-sec

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

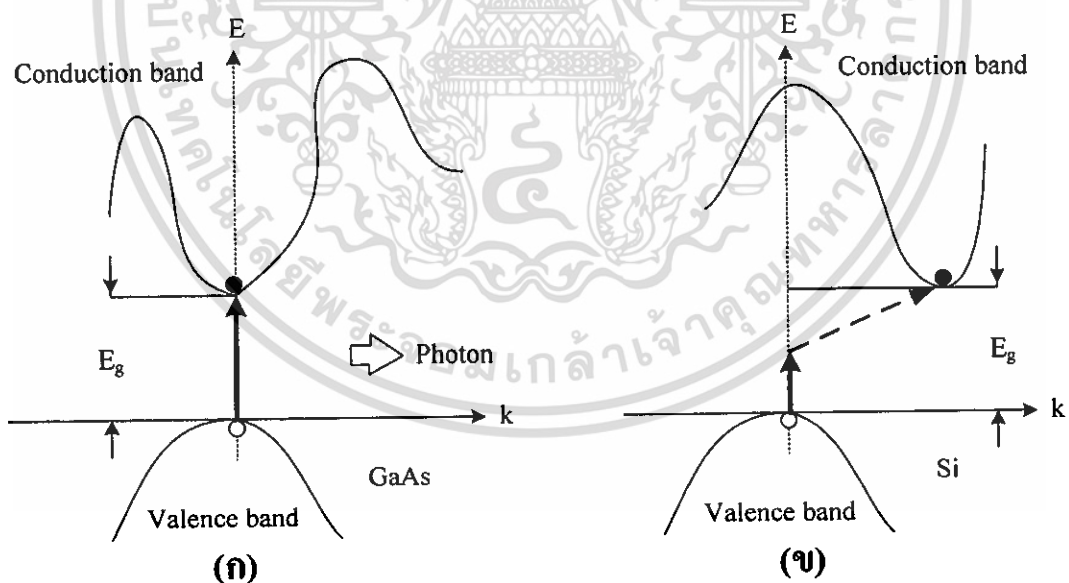
เมื่อพลังงานโฟตอนของแสงมีค่ามากกว่าขนาดของช่องว่างพลังงาน (Energy gap : E_g) ของสารกึ่งตัวนำ หรือ $E_{\text{photon}} \geq E_{g(\text{semi})}$ สารกึ่งตัวนำจะดูดกลืนพลังงานแสง ทำให้เกิดเป็นคู่อิเล็กตรอน-โฮล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอน-โฮล ในสารกึ่งตัวนำ ความนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจึงเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแสง ส่วนกรณี
ที่ $E_{\text{photon}} < E_{g(\text{semi})}$ การดูดกลืนแสงจะไม่เกิดขึ้น ในกรณีซิลิคอนมีช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ
1.12 eV

2.1.2 สารกึ่งตัวนำช่องแถบตรงและช่องแถบไม่ตรง

โครงสร้างแถบพลังงานของผลึกสารกึ่งตัวนำที่สำคัญ คือ กราฟ E-k diagram ดังแสดงใน
รูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงตำแหน่งของค่าพลังงานต่ำสุดในแถบนำไฟฟ้าหรือก็คือจุดต่ำสุดของแถบนำ
ไฟฟ้า กับตำแหน่งของค่าพลังงานสูงสุดในแถบวาเลนซ์หรือจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ โดยพบว่า
ในสารกึ่งตัวนำบางชนิดตำแหน่งทั้งสองนี้จะอยู่ตรงกัน เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ (GaAs) หรือสาร
กึ่งตัวนำประเภทสารประกอบอื่นๆ ดังรูปที่ 2.1 (ก) เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า ช่องแถบตรง (direct band
gap) และสารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะเช่นนี้ถูกเรียกว่า สารกึ่งตัวนำช่องแถบตรง (direct band gap
semiconductor) ส่วนกรณีที่มีลักษณะเช่นนี้ถูกเรียกว่า สารกึ่งตัวนำช่องแถบไม่ตรง (indirect band gap
semiconductor) ส่วนกรณีที่สารกึ่งตัวนำซึ่งตำแหน่งของจุดสำคัญทั้งสองนี้จะอยู่ไม่ตรงกันดังแสดง
ในรูปที่ 2.1 (ข) เช่น ซิลิคอน ลักษณะเช่นนี้ถูกเรียกว่า ช่องแถบไม่ตรง (indirect band gap) โดยที่
สารกึ่งตัวนำในกลุ่มนี้จะถูกเรียกว่า สารกึ่งตัวนำช่องแถบไม่ตรง (indirect band gap semiconductor)



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ E- k ของสารกึ่งตัวนำแบบต่างๆ

(ก) ช่องแถบตรง (ข) ช่องแถบไม่ตรง

โดยปกติจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์จะปรากฏอยู่ที่ตำแหน่ง $k = 0$ แต่จากรูปที่ 2.1 (ข) จะเห็นว่าจุดต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าจะไม่อยู่ตรงตำแหน่งนี้ หรือก็คือ จุดทั้งสองนี้มีค่า k ที่ต่างกันหรือก็คือมีค่าโมเมนตัมที่ต่างกัน ดังนั้นลักษณะสมบัติบางประการของสารกึ่งตัวนำสองกลุ่มนี้จะแตกต่างกันมาก เช่นลักษณะสมบัติทางด้านแสง (optical property) ในกรณีของสารกึ่งตัวนำช่องแถบตรงพลังงานของโฟตอนจากแสงสามารถที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ขึ้นไปอยู่ที่จุดต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าได้โดยตรง และอิเล็กตรอนที่จุดต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าก็สามารถที่จะตกลงมาโดยตรงยังจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัม ซึ่งจะทำให้มีการปลดปล่อยพลังงานออกมา และเนื่องจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในรูปแบบนี้เกิดได้ง่ายทำให้สารกึ่งตัวนำกลุ่มนี้สามารถดูดกลืนหรือปลดปล่อยพลังงานแสงได้เป็นอย่างดีจึงมักถูกนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ด้านแสง (optical devices) เช่น ไดโอดเปล่งแสง และตัวตรวจวัดแสง ส่วนกรณีของสารกึ่งตัวนำช่องแถบไม่ตรง เช่น ซิลิคอน อิเล็กตรอนในแถบนำไฟฟ้าไม่สามารถตกลงมายังแถบวาเลนซ์ได้โดยตรง เพราะจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเพื่อให้อยู่ที่จุดพลังงานต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าก่อน แล้วจึงตกลงมาสู่แถบวาเลนซ์ได้ในที่สุด และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อน ทำให้สารกึ่งตัวนำในลักษณะนี้ไม่นิยมนำมาทำเป็นอุปกรณ์ทางด้านแสง

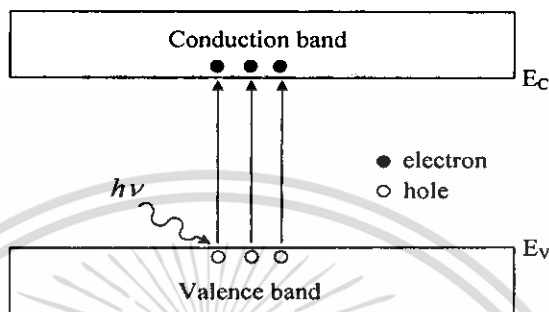
2.1.3 การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ

2.1.3.1 การดูดกลืนแสงและการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล

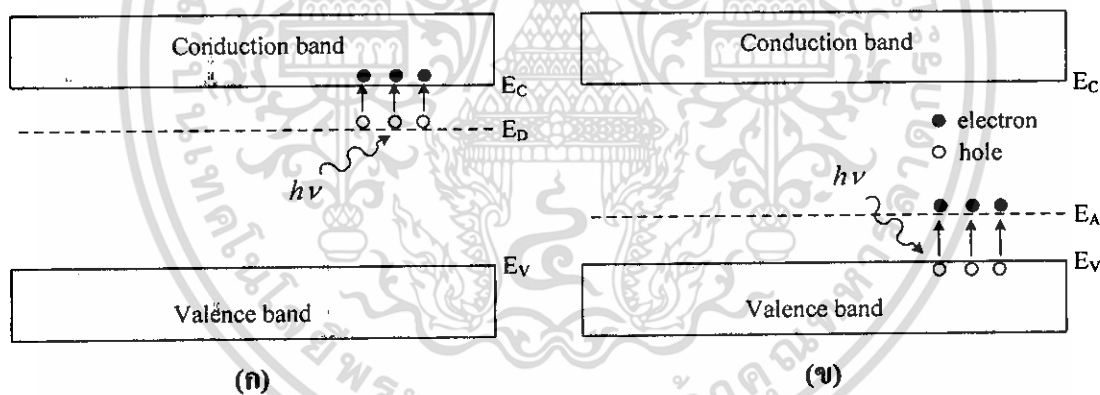
กลไกการเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล จะเกิดจากการให้พลังงานความร้อนที่มีค่ามากพอ ($E > E_g$) หรือการให้แสงหรือโฟตอน ($E = h\nu$) ที่มีพลังงานมากพอ ($E > E_g$) ที่จะทำให้อิเล็กตรอนเมื่อดูดกลืนแสงเข้าไปแล้วสามารถกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ กระโดดข้ามช่องว่างพลังงานขึ้นไปอยู่ที่แถบนำไฟฟ้าได้ กลายเป็นอิเล็กตรอนนำไฟฟ้าที่มีสภาพเป็นอิสระ และทิ้งให้กลายเป็นที่ว่างขึ้นที่แถบวาเลนซ์ซึ่งก็คือ โฮล ซึ่งการเกิดอิเล็กตรอนอิสระจะทำให้เกิดโฮลขึ้นเป็นคู่กันเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

ในกรณีของสารกึ่งตัวนำเอ็กทรินซิก (extrinsic semiconductor) ซึ่งมีการเติมอะตอมของสารเจือเข้าไป เช่น ซิลิคอนถูกเติมด้วยฟอสฟอรัส จะทำให้อิเล็กตรอนชนิดนี้เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) และจะทำให้เกิดระดับผู้ให้ (donor level : E_D) ขึ้นในช่องว่างพลังงาน ซึ่งจะทำให้สารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับพลังงานที่น้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงานสามารถเกิดพาหะอิสระขึ้นได้ โดยอิเล็กตรอนจากระดับสารเจือผู้ให้หลุดไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้าได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก) ในส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor) เช่น ซิลิคอนถูกเติมด้วยโบรอน

จะทำให้เกิดระดับผู้รับ (acceptor level : E_A) ขึ้นในช่องว่างพลังงาน ซึ่งจะทำการกักตัวนำเมื่อได้รับพลังงานที่น้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงานสามารถเกิดพาหะอิสระขึ้นได้ โดยอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์เข้าไปอยู่ในระดับผู้รับ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก)



รูปที่ 2.2 การเกิดคู่พาหะอิเล็กตรอน-โฮล จากการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ



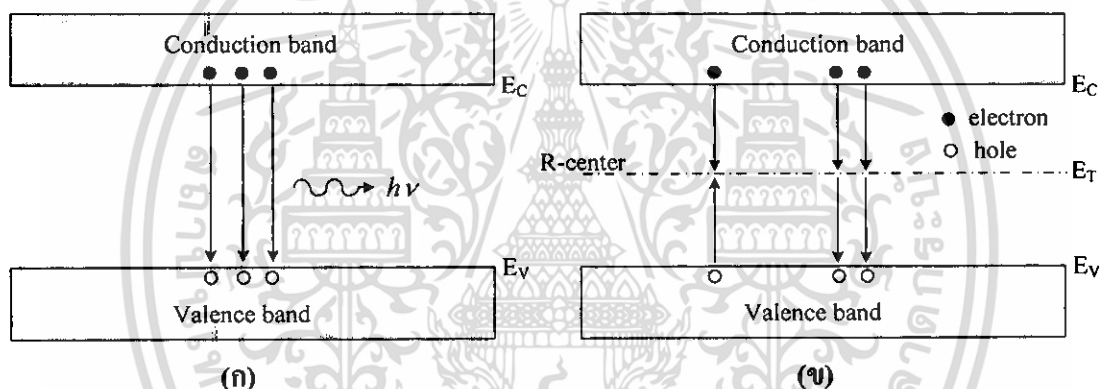
รูปที่ 2.3 การเกิดคู่พาหะอิเล็กตรอน-โฮล จากการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ
(ก) ชนิดเอ็น (ข) ชนิดพี

2.1.3.2 การรวมตัวใหม่ของคู่อิเล็กตรอน-โฮล

การรวมตัวใหม่ (recombination) เป็นกระบวนการตรงข้ามกับการเกิด คือ เป็นการรวมตัวระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮล โดยที่อิเล็กตรอนจากแถบนำไฟฟ้าลดระดับพลังงานกลับลงไปรวมกับโฮลที่แถบวาเลนซ์ ทำให้พาหะคือโฮลและอิเล็กตรอนหายไป เนื่องจากการชนกันกับแลตทิซ (lattice) ในผลึก โดยที่กระบวนการรวมตัวใหม่นี้จะเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำในเวลาเดียวกันกับการ

เกิดพาหะ เรียกว่า กระบวนการรวมตัวใหม่และการเกิดของพาหะ (recombination and generation process) สำหรับสารกึ่งตัวนำในภาวะสมดุลความร้อนที่อุณหภูมิใดๆ พลังงานจากความร้อนจะทำให้มีคู่อิเล็กตรอน-โฮลเกิดขึ้น และมีการรวมตัวอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาโดยมีอัตราการเกิดและอัตราการรวมตัวใหม่ของพาหะเท่ากัน โดยทั่วไปกระบวนการรวมตัวใหม่ที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการหลัก คือ

(1) กระบวนการรวมตัวใหม่แบบโดยตรง (direct recombination process) เป็นกระบวนการรวมตัวใหม่ของพาหะที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำแบบช่องแถบตรง คือ อิเล็กตรอนนำไฟฟ้าจากแถบนำไฟฟ้าลดระดับกลับลงไปรวมตัวกับโฮลในแถบวาเลนซ์โดยตรง จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระและโฮลหายไปคล้ายเป็นกระบวนการย้อนกลับของการเกิดพาหะโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) ซึ่งการรวมตัวใหม่แบบ โดยตรงนี้จะทำให้มีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง หรือโฟตอนได้ง่าย



รูปที่ 2.4 กระบวนการรวมตัวใหม่ในสารกึ่งตัวนำ

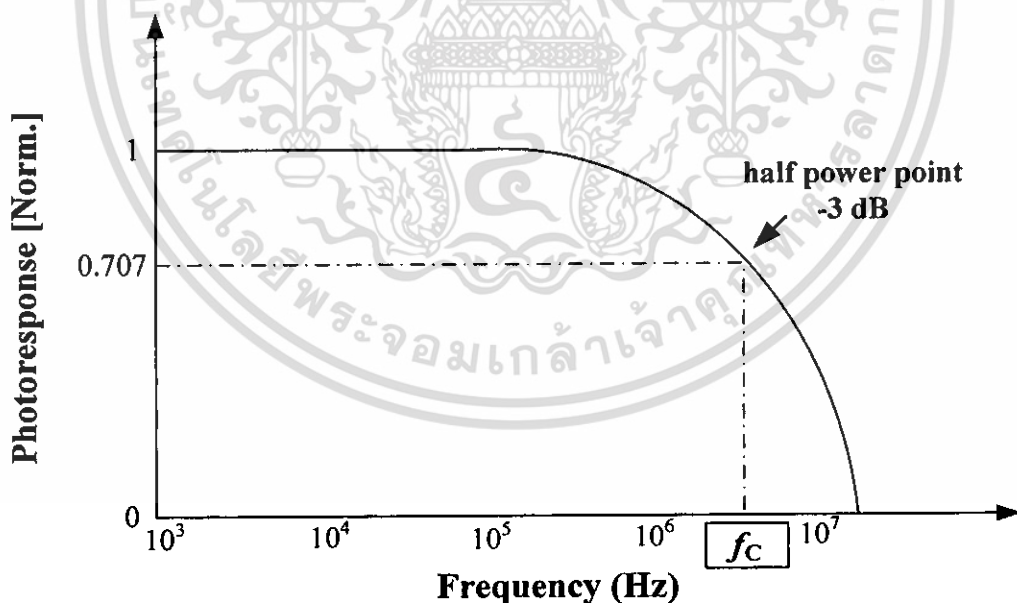
(ก) แบบโดยตรง (ข) แบบโดยอ้อม

(2) กระบวนการรวมตัวใหม่แบบโดยอ้อม (indirect recombination process) จะเกิดในสารกึ่งตัวนำแบบช่องแถบไม่ตรง คือ อิเล็กตรอนจากแถบนำไฟฟ้าลดลงไปยังระดับพลังงานระดับหนึ่งที่อยู่ในช่องว่างพลังงานก่อนที่จะตกลงไปยังแถบวาเลนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข) ซึ่งระดับพลังงานหรือสถานะพลังงานที่ปรากฏอยู่ในช่องว่างแถบพลังงาน เป็นสถานะพลังงานที่อะตอมสารกึ่งตัวนำไม่สามารถมีได้ ดังนั้นสถานะพลังงานเหล่านี้จึงเกิดขึ้นจากอะตอมสารเจือหรืออะตอมแปลกปลอมอื่นๆ หรืออาจเกิดเนื่องจากโครงสร้างของผลึกเสียหาย โดยระดับพลังงานที่ช่วยให้เกิดกระบวนการรวมตัวใหม่เรียกว่า ศูนย์กลางการรวมตัวใหม่ของพาหะ (recombination center) ในกระบวนการรวมตัวใหม่โดยอ้อมนี้ ปกติจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาและอาจมีผลทำให้มี

การสั่นของแลตทิซได้ และการสั่นของแลตทิซ จะทำให้มีการปลดปล่อยพลังงาน เรียกว่า โฟนอน (phonon) ออกมาในที่สุด

2.1.4 การตอบสนองทางแสง

การตอบสนองทางแสง (photoresponse) คือ อัตราความเร็วในการทำงานเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่สัญญาณความถี่ต่างๆ โดยอัตราการตอบสนองทางแสงจะมีค่าลดลงเมื่อสัญญาณทางแสงมีความถี่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติบางอย่างของตัวตรวจวัดแสง ซึ่งการลดลงของการตอบสนองทางแสงขณะที่สัญญาณแสงมีความถี่สูงขึ้น แสดงคังรูปที่ 2.5 ในทางปฏิบัติการตอบสนองทางแสงจะมีค่าลดลงที่ความถี่ค่าหนึ่ง มีค่าประมาณ 0.707 เท่าของการตอบสนองทางแสงทั้งหมด ความถี่นี้ถูกเรียกว่า ความถี่คัทออฟ (cutoff frequency : f_c) ที่ความถี่นี้กำลังงานจะมีค่าลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง จุดนี้จึงถูกกำหนดว่าเป็นจุดกำลังลดลงครึ่งหนึ่ง (half power point) หรือมีค่า -3 dB ดังนั้นความถี่คัทออฟจึงมีความหมายถึงค่าความถี่สูงสุดที่ตัวตรวจวัดแสงสามารถทำงานได้ ซึ่งความถี่ที่สูงกว่านี้จะทำให้กำลังงานของตัวตรวจวัดแสงมีค่าต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของกรณีความถี่ต่ำ



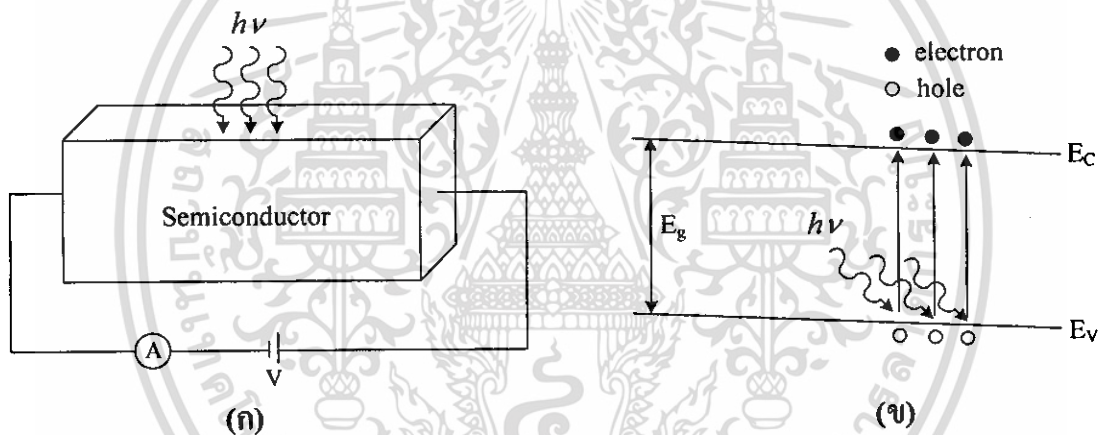
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองทางแสงกับความถี่ของสัญญาณ

2.2 ชนิดของตัวตรวจวัดแสง

ตัวตรวจวัดแสงเป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่มีความไวต่อแสงและสามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานระบบสื่อสารด้วยใยแก้ว หรือถูกใช้เป็นตัววัดความเข้มแสงในวงจรสวิตช์แสง ซึ่งสามารถแบ่งโครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์ได้ดังนี้

2.2.1 โฟโตคอนดักเตอร์

โฟโตคอนดักเตอร์ (photoconductor) เป็นตัวตรวจวัดแสงที่ง่ายที่สุด เพราะว่ามีเพียงแท่งสารกึ่งตัวนำเพียงอย่างเดียว เมื่อโฟโตคอนดักเตอร์ได้รับแสงตกกระทบ จะทำให้มีสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าแสงได้ ซึ่งกระแสแสงจะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดของพาหะ โดยมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ และความสามารถในการดูดกลืนแสง ส่วนการใช้งานจะป้อนแรงดันไบแอสให้แก่โฟโตคอนดักเตอร์ที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 (ก) โครงสร้างของโฟโตคอนดักเตอร์

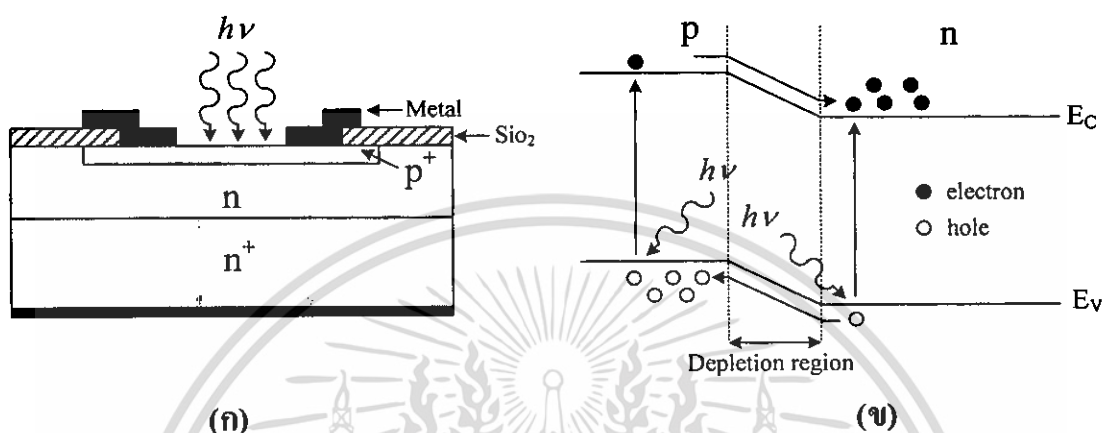
(ข) แถบพลังงานของโฟโตคอนดักเตอร์เมื่อได้รับแสง

2.2.2 โฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น

โฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น หรือ พี-เอ็นโฟโตไดโอด (p-n photodiode) มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อ p-n เมื่อมีแสงตกกระทบที่รอยต่อ p-n จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น หลักการทำงานของ โฟโตไดโอดที่มีโครงสร้างพื้นฐานชนิดรอยต่อ p-n ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ก) แสดงภาพตัดขวางของพี-เอ็นโฟโตไดโอด ที่ด้านรับแสงเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p และต่อติดกับสารกึ่งตัวนำชนิด n เป็นรอยต่อ p-n ที่รอยต่อ p-n นี้ทำหน้าที่เป็นส่วนเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ในกรณีโฟโตไดโอดที่ทำจากวัสดุซิลิคอนนั้น ชั้น p เตรียมได้จากการแพร่ซึมธาตุโบรอน (B) เข้าสู่ซิลิคอนด้วยความลึกประมาณ $1 \mu\text{m}$ ที่บริเวณตรงกลางรอยต่อ p-n เป็นย่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลอดภัย เมื่อมีแสงตกกระทบโฟโตไดโอดและถ้าพลังงานโฟตอนของแสงมีค่ามากกว่าช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ($h\nu > E_g$) แสงก็จะถูกสารกึ่งตัวนำดูดกลืนโดยพลังงานโฟตอนของแสงซึ่งจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบนำไฟฟ้า และที่แถบวาเลนซ์จะเหลือโฮลอยู่



รูปที่ 2.7 (ก) โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น

(ข) แถบพลังงานของโฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็นเมื่อได้รับแสง

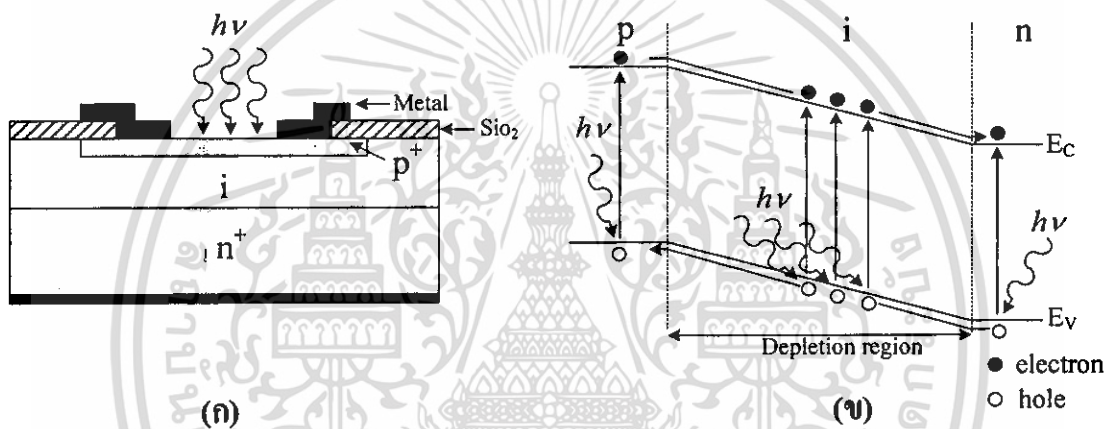
ในรูปที่ 2.7 (ข) แสดงลักษณะแถบพลังงานของโฟโตไดโอดชนิดรอยต่อ p-n การเกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลนั้นเกิดขึ้นได้ทั้งในชั้น p ชั้นปลอดภัยและชั้น n อิเล็กตรอนที่เกิดในแถบนำไฟฟ้าในชั้น p จะแพร่กระจายไปสู่ชั้น n และอิเล็กตรอนที่เกิดในแถบคอนดักชันในชั้นปลอดภัยจะถูกศักย์ไฟฟ้าภายในพัดพาให้วิ่งไปสู่ชั้น n ส่วนกรณีโฮลจะไหลในทิศทางตรงข้ามกับอิเล็กตรอน กล่าวคือ จะไหลจากแถบวาเลนซ์ในชั้น n หรือชั้นปลอดภัยไปสู่ชั้น p และทำให้ชั้น n จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและโฮลที่ไปสะสมในชั้น p จะทำให้ชั้น p มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ถ้าต่อโฟโตไดโอดกับวงจรภายนอกคู่อิเล็กตรอนก็จะไหลออกจากชั้น n และโฮลก็จะไหลออกจากชั้น p ไปสู่วงจรภายนอก

ลักษณะสมบัติเด่นของโฟโตไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น พบว่าจะทำงานได้เร็วกว่า โฟโตคอนดักเตอร์ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากกระแสที่ไหลเป็นกระแสที่เกิดจากการแพร่ จึงมีความไวในการตอบสนองต่อสัญญาณแสงที่ช้าเมื่อเทียบกับโฟโตไดโอดที่จะกล่าวต่อไป

2.2.3 โฟโตไดโอดแบบ p-i-n

โฟโตไดโอดแบบ p-i-n หรือ ฟินโฟโตไดโอด (p-i-n photodiode) เป็นโฟโตไดโอดที่มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงและความเร็วในการทำงานสูงกว่าโฟโตไดโอดแบบธรรมดา มี

โครงสร้างดังรูปที่ 2.8 (ก) ประกอบด้วยส่วน p^+ ส่วน i (intrinsic) และส่วน n^+ แต่มีขั้วไฟฟ้าเพียง 2 ขั้ว คือขั้ว p^+ เป็นอานอดและขั้ว n^+ เป็นคาโทด ส่วนชั้น i จะมีความบริสุทธิ์สูงหรือมีการโด๊ปด้วยสารเจือปนด้วยปริมาณที่น้อยมากเพื่อให้มีสภาพด้านทานสูง ชั้นของสารกึ่งตัวนำที่อยู่ด้านบนจะถูกสร้างขึ้นมาให้มีขนาดที่บางมากๆ เพื่อให้โฟตอนในแสงทะลุผ่านไปถึงชั้น i และที่ชั้น i นี้มีความกว้างมากพอที่จะดูดกลืนโฟตอนทั้งหมดได้ และโฟตอนเหล่านี้มีพลังงานมากพอที่สามารถทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลได้ เนื่องจากชั้น i มีสภาพด้านทานสูงกว่าด้าน p^+ และด้าน n^+ เป็นผลให้ไดโอดเมื่อได้รับแรงดันไบแอส จะทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะขยายเข้าไปในส่วนของชั้น i และเนื่องจากแรงดันที่ตกคร่อมที่ส่วน i จะทำให้มีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นตลอดชั้น i ซึ่งลักษณะของแถบพลังงานของโฟโตไดโอดแบบ $p-i-n$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 (ข)



รูปที่ 2.8 (ก) โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบ $p-i-n$

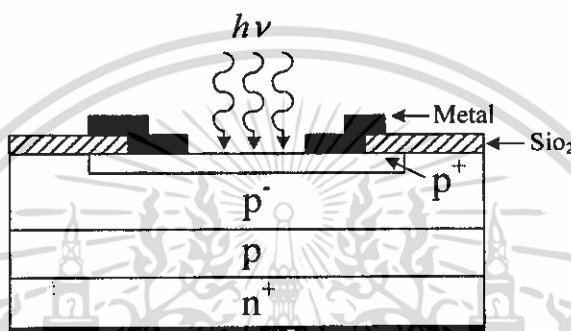
(ข) แถบพลังงานของโฟโตไดโอดแบบ $p-i-n$ เมื่อได้รับแสง

ข้อดีของโฟโตไดโอดแบบ $p-i-n$ คือมีการทำงานที่ความถี่ที่สูง เนื่องจากการที่มีชั้น i จึงทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อมีค่าน้อย ทำให้มีผลตอบสนองด้านเวลาได้รวดเร็วมากถึงระดับพิโกวินาที ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้กับระบบที่ต้องการทำงานอย่างรวดเร็ว เช่น ระบบสื่อสารด้วยคลื่นแสงผ่านใยแก้วนำแสง (optical fiber telecommunication)

2.2.4 โฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์

โฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์ คือ โฟโตไดโอดแบบพี-เอ็น หรือ แบบ $p-i-n$ แต่จะถูกออกแบบเป็นพิเศษ นั่นคือให้ไดโอดทำงานใกล้ๆ กับจุดพังทลาย (breakdown point) เนื่องจากที่ใกล้จุดพังทลายของรอยต่อพี-เอ็น สนามไฟฟ้าในบริเวณปลอดพาหะหรือในชั้น i จะมีค่าสูงจนกระทั่งสามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์การทวีคูณของพาหะได้ ดังนั้นในภาวะนี้กระแสแสงจะมีค่าสูงมาก

ไดโอดจึงมีสมบัติเป็น โฟโตไดโอดความเร็วสูง (high sensitive photodiode) และเนื่องจากสนามไฟฟ้าในช่วงนี้สูงมาก ความเร็วของพาหะจึงมีค่าสูง ทำให้ความไวในการทำงานจึงสูงมาก ในรูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างของโฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์ชนิดรีซทอร์ เมื่อให้แรงดันไบแอสแบบย้อนกลับแก่อุปกรณ์ จะเกิดบริเวณปลอดพาหะที่รอยต่อ p^+ แล้วขยายกว้างไปจนถึงส่วน p^- ถ้าให้แสงตกกระทบเข้ามา โสลจะเคลื่อนที่ไปสู่ชั้น p^+ ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังรอยต่อ p^+ ซึ่งสนามไฟฟ้าที่สูงมากนี้จะเร่งให้อิเล็กตรอนวิ่งไปชนกับ โครงร่างผลึกและทำให้เกิดปรากฏการณ์อะวาลานซ์ขึ้น



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของโฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์ชนิดรีซทอร์

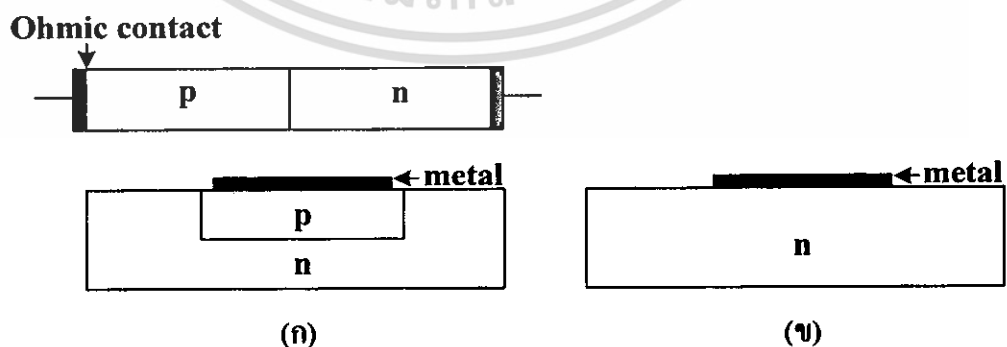
บทที่ 3

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (Metal-Semiconductor-Metal Photodetector) หรือ โครงสร้าง MSM ประกอบด้วยกำแพงศักย์ช็อตกี (Schottky barrier: ϕ_{bn}) ที่ปลายสุดทั้งสองด้าน ซึ่งต่อแบบหันหลังชนกันเป็นตัวตรวจวัดแสงชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานทางแสงให้เป็นพลังงานทางไฟฟ้าในบทรนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี รอยสัมผัสระหว่างสารกึ่งตัวนำ-โลหะ และ โครงสร้างของตัวตรวจวัดแสงแบบ MSM

3.1 รอยสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

รอยสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำจะให้ลักษณะสมบัติแรงดันไฟฟ้าที่แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ รอยสัมผัสโอห์มิก (Ohmic contact) และรอยสัมผัสช็อตกี (Schottky contact) โดยปกติการใช้งานเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกจะเป็นลักษณะของรอยสัมผัสโอห์มิก ซึ่งจะไม่มีผลเกี่ยวกับทิศทางกระแสไหลของกระแส โดยกระแสสามารถไหลได้ทั้งสองทิศทาง และเป็นรอยสัมผัสที่มีความนำไฟฟ้าสูง ไม่มีแรงดันตกคร่อม ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ก) ส่วนรอยสัมผัสช็อตกี ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ข) จะแสดงลักษณะสมบัติเป็นเรกติไฟร์ (rectifier) คือ จะยินยอมให้กระแสไหลได้ทิศทางใดทิศทางหนึ่งเท่านั้น บางครั้งเรียกว่าช็อตกีไดโอด ซึ่งมีอัตราเร็วในการสวิตช์สูงกว่าไดโอดแบบพี-เอ็น ซึ่งการแบ่งรอยสัมผัสว่าจะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับฟังก์ชันงาน (work function) ของโลหะ (ϕ_m) ฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ (ϕ_s) และอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (electron affinity) ของสารกึ่งตัวนำ (χ) ที่นำมาสัมผัส ในรายงานนี้จะกล่าวถึงรอยสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ซึ่งแสดงลักษณะสมบัติเรกติไฟร์เท่านั้น



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะรอยสัมผัสระหว่างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ

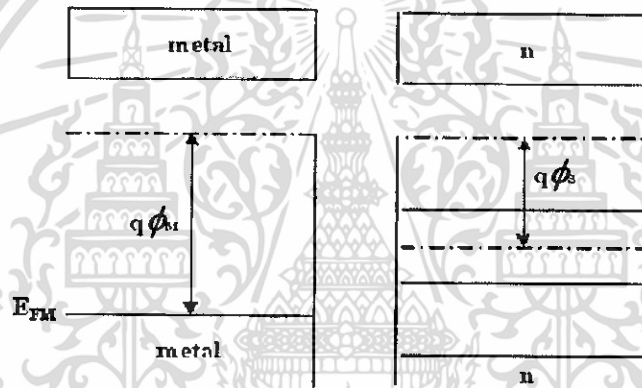
(ก) รอยสัมผัสโอห์มิก (ข) รอยสัมผัสช็อตกี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 รอยสัมผัสในภาวะสมดุลความร้อน

3.1.1.1 ก่อนการสัมผัส

แถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิดเอ็นก่อนการสัมผัส แสดงในรูปที่ 3.2 โดยมีระดับพลังงานที่เรียกว่า ระดับสุญญากาศ (vacuum level : E_0) หมายถึงระดับพลังงานที่ใช้เป็นระดับอ้างอิง เพื่อการเปรียบเทียบระดับพลังงานระหว่างสารต่างชนิดกัน ซึ่งเป็นระดับพลังงานของอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปจากเนื้อสารของของแข็ง และหยุดนิ่งอยู่ที่บริเวณผิวภายนอกเนื้อสาร ในด้านโลหะจะมีระดับเฟอร์มิของโลหะ (E_{FM}) จะอยู่สูงกว่าค่าระดับพลังงานต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้า (E_C) ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างระดับเฟอร์มิและระดับสุญญากาศ เรียกว่า ฟังก์ชันงานของโลหะ ดังสมการที่ (3.1) ซึ่งหมายถึง ค่าพลังงานน้อยสุด ที่อิเล็กตรอนต้องการเพื่อทำให้อิเล็กตรอนนั้นสามารถหลุดออกมาหยุดนิ่งอยู่ที่ผิวด้านนอกของโลหะ



รูปที่ 3.2 ระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนการสัมผัส

$$q\phi_M = E_0 - E_{FM} \quad (3.1)$$

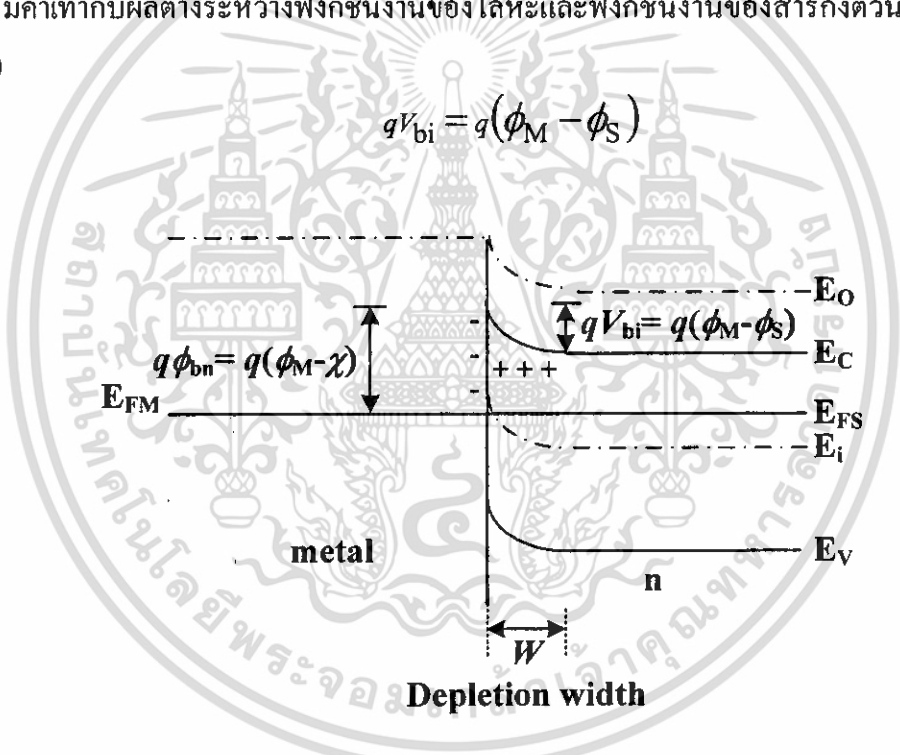
ส่วนด้านสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นระดับเฟอร์มิจะอยู่ในช่องว่างพลังงาน โดยอยู่สูงกว่าระดับกึ่งกลางของช่องว่างพลังงาน (E_i) ซึ่งค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำมีค่าเท่ากับค่าความแตกต่างของระดับสุญญากาศ และระดับเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำ (E_{FS}) ดังสมการที่ 3.2 ส่วนค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตีของสารกึ่งตัวนำ (χ) คือ ความแตกต่างของพลังงานระดับสุญญากาศ กับระดับนำไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าที่อิเล็กตรอนจากระดับพลังงานต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าต้องการเพื่อที่จะเคลื่อนที่ไปหยุดนิ่งที่ผิวด้านนอกของสารกึ่งตัวนำ โดยจะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน มีค่า 4.03 eV เป็นต้น

$$q\phi_S = E_0 - E_{FS} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 หลังการสัมผัส

เมื่อนำโลหะและสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เนื่องจากค่าฟังก์ชันงานของทั้งสองไม่เท่ากัน โดยฟังก์ชันงานของโลหะมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ ($\phi_M > \phi_S$) ทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำผ่านรอยสัมผัสไปยังโลหะ จนเกิดเป็นไอออนบวกทางด้านสารกึ่งตัวนำและเกิดไอออนลบทางด้านโลหะ และทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยสัมผัส โดยมีทิศทางต่อต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไม่ให้แพร่เข้าไปในโลหะ ซึ่งสนามไฟฟ้านี้ทำให้แถบพลังงานบริเวณรอยสัมผัสของสารกึ่งตัวนำเกิดการโค้งงอขึ้น โดยที่การโค้งงอของแถบพลังงานด้านสารกึ่งตัวนำบริเวณรอยสัมผัสกับโลหะ มีความหมายว่ามีศักย์สัมผัส (contact potential : V_{bi}) หรือกำแพงศักย์ภายใน (potential barrier) เกิดขึ้นในด้านสารกึ่งตัวนำและทำหน้าที่ป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในแถบนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำไม่ให้เข้าไปในด้านโลหะ มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างฟังก์ชันงานของโลหะและฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ ดังสมการที่ (3.3)



$$qV_{bi} = q(\phi_M - \phi_S) \tag{3.3}$$

รูปที่ 3.3 ระดับพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำหลังการสัมผัส

ส่วนความสูงกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนด้านโลหะซึ่งจะเคลื่อนที่ไปด้านสารกึ่งตัวนำ เรียกว่า กำแพงศักย์ช็อดคกี (Schottky barrier: ϕ_{bn}) มีค่าดังสมการที่ (3.4) โดยรอยสัมผัสของอลูมิเนียมกับซิลิคอนชนิดเอ็นมีค่ากำแพงศักย์ช็อดคกี เท่ากับ 0.72 eV

$$q\phi_{bn} = q(\phi_M - \chi) \tag{3.4}$$

3.1.2 รอยสัมผัสขณะได้รับไบแอส

3.1.2.1 รอยสัมผัสขณะได้รับไบแอสตรง

เมื่อให้แรงดันไบแอส (V_A) แก่รอยสัมผัสโดยให้ด้านโลหะมีศักย์เป็นบวก เมื่อเทียบกับด้านสารกึ่งตัวนำ ดังแสดงในรูป 3.4 ทำให้ความสูงกำแพงศักย์ภายใน ที่รอยสัมผัสมีค่าลดลงเป็น $(V_{bn}-V_A)$ และทำให้ระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำสูงกว่าระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะ ดังนั้นอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำจึงสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปทางด้านโลหะได้ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลจากด้านโลหะไปทางด้านสารกึ่งตัวนำ ในขณะที่เดียวกันก็มีอิเล็กตรอนจากโลหะเคลื่อนที่ข้ามกำแพงช็อคกีเข้าไปในด้านสารกึ่งตัวนำด้วยเช่นกัน เป็นผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในทางตรงข้ามกับกระแสที่ไหลจากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำ โดยไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ แต่เนื่องจากกำแพงช็อคกีมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงกับแรงดัน กระแสในส่วนที่ไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะนี้จึงมีค่าน้อยและเท่ากับค่ากระแสในภาวะสมดุล โดยกระแสทั้งหมดที่ไหลในกรณีที่ได้รับไบแอสตรงมีค่าดังสมการที่ (3.5)

$$I_F = ART^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{bn}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV_A}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.5)$$

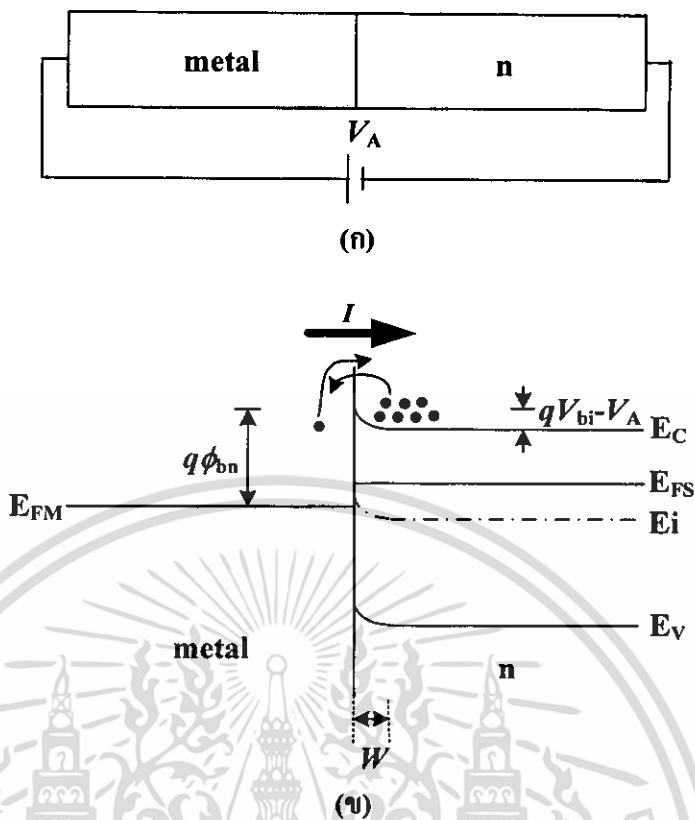
โดยที่ A คือ พื้นที่รอยสัมผัส (cm^2)

R คือ ค่าคงตัวริชาร์ดสัน (Richardson constant) ของซิลิคอนมีค่าเท่ากับ $110 \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$

q คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

k คือ ค่าคงที่โบสตันน์ มีค่าเท่ากับ $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)



รูปที่ 3.4 (ก) การให้แรงดันไบแอสตรง

(ข) แถบพลังงานขณะได้รับแรงดันไบแอสตรง

3.1.2.2 รอยสัมผัสขณะได้รับไบแอสย้อนกลับ

เมื่อให้แรงดันไบแอสย้อนกลับ ($-V_A$) แก่รอยสัมผัสนี้ โดยให้ด้านโลหะมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับสารกึ่งตัวนำ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 กรณีนี้จะทำให้ระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะสูงกว่าระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำ และกำแพงศักย์ภายในจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $(V_{bi}+V_A)$ และบริเวณปลอดพาหะจะขยายกว้างขึ้น ดังนั้นอิเล็กตรอนจากด้านสารกึ่งตัวนำจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสไปทางด้านโลหะได้ แต่จะมีอิเล็กตรอนในโลหะเคลื่อนที่ข้ามกำแพงศักย์หรือตกเข้าไปในชั้นสารกึ่งตัวนำทำให้เกิดมีกระแสไหลจากด้านสารกึ่งตัวนำไปยังด้านโลหะ ซึ่งกระแสในส่วนนี้ยังคงมีค่าเท่ากับกระแสในภาวะสมดุล โดยกระแสที่ไหลในกรณีที่ได้รับไบแอสย้อนกลับมีค่าดังสมการที่ (3.6)

$$I_R = ART^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{bn}}{kT}\right) \tag{3.6}$$

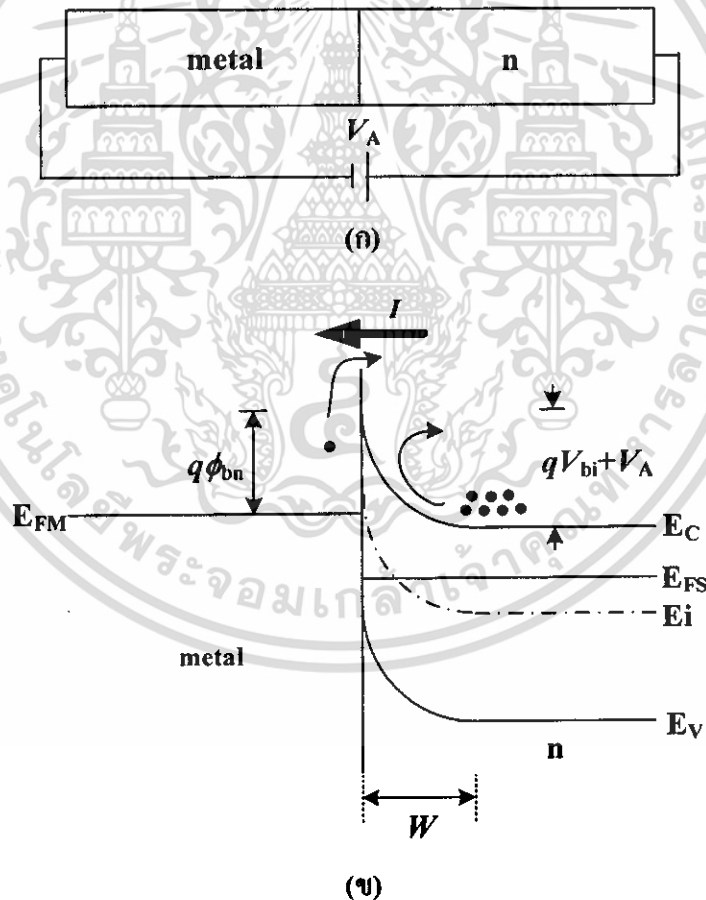
ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะ (Depletion width : W) จะมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อให้แรงดันไบแอสค่าต่างๆ ดังสมการที่ (3.7) โดยเมื่อแรงดันไบแอสย้อนกลับมีค่าสูงขึ้นความกว้างบริเวณปลอดพาหะจะมีขนาดที่กว้างขึ้นตาม

$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon_S(V_{bi} - V_A)}{qN_D}} \quad (3.7)$$

โดยที่ ϵ_S คือ เปรอริมิทวิตีของสารกึ่งตัวนำ ของซิลิคอนมีค่าเท่ากับ $11.8 \epsilon_0$ (F/cm)

ϵ_0 คือ เปรอริมิทวิตีในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-14} (F/cm)

N_D คือ ความเข้มข้นของอะตอมสารเจือผู้ให้ 2×10^{14} (cm^{-3})



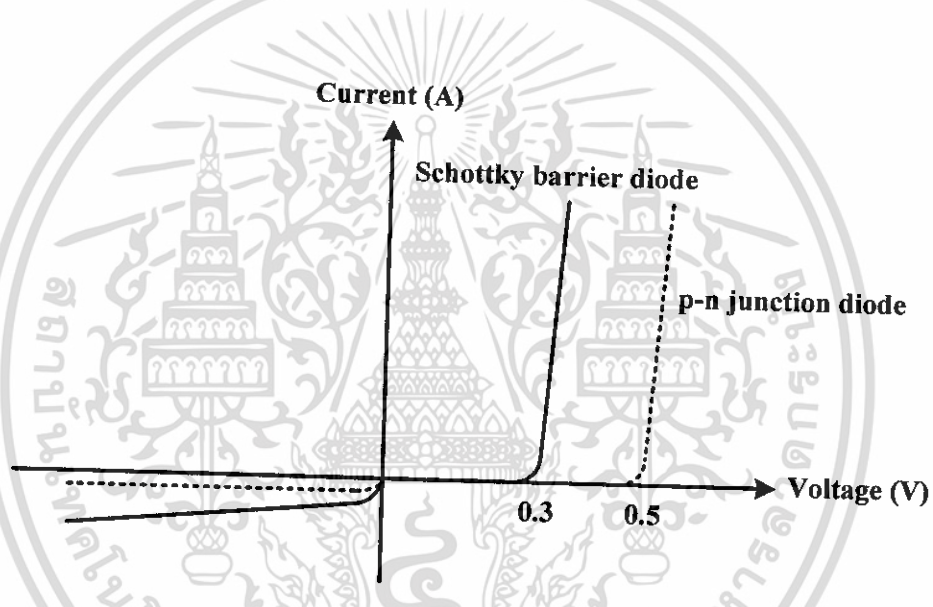
รูปที่ 3.5 (ก) การให้แรงดันไบแอสย้อนกลับ

(ข) แถบพลังงานขณะได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของซีดทีบีไดโอด

จากการให้แรงดันไบแอสที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่า รอยสัมผัสดังกล่าวเป็นรอยสัมผัสเรกติไฟร์ ซึ่งจะคล้ายกับไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น คือยอมให้กระแสไหลผ่านในทิศทางเดียวคือไบแอสตรง แต่เมื่อให้แรงดันไบแอสย้อนกลับ จะมีกระแสไหลน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.6 พบว่าแรงดันภายในของซีดทีบีไดโอดมีค่าต่ำกว่าไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็นเนื่องจากกระแสที่ไหลเป็นกระแสของพาหะส่วนมาก จึงทำให้ไม่มีประจุไฟฟ้าสะสมจากพาหะส่วนน้อยทำให้มีการตอบสนองที่รวดเร็ว มีค่าประมาณ 0.2-0.4 V ซึ่งไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น มีค่าประมาณ 0.5-0.7 V ส่วนกระแสรั่วไหลของซีดทีบีไดโอดมีค่าสูงกว่าไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น เป็นผลมาจากรอยสัมผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำ โดยจะมีค่ามากกว่ารอยต่อ พี-เอ็น ประมาณ 10^4 เท่า



รูปที่ 3.6 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของซีดทีบีไดโอดและไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น

3.2 ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

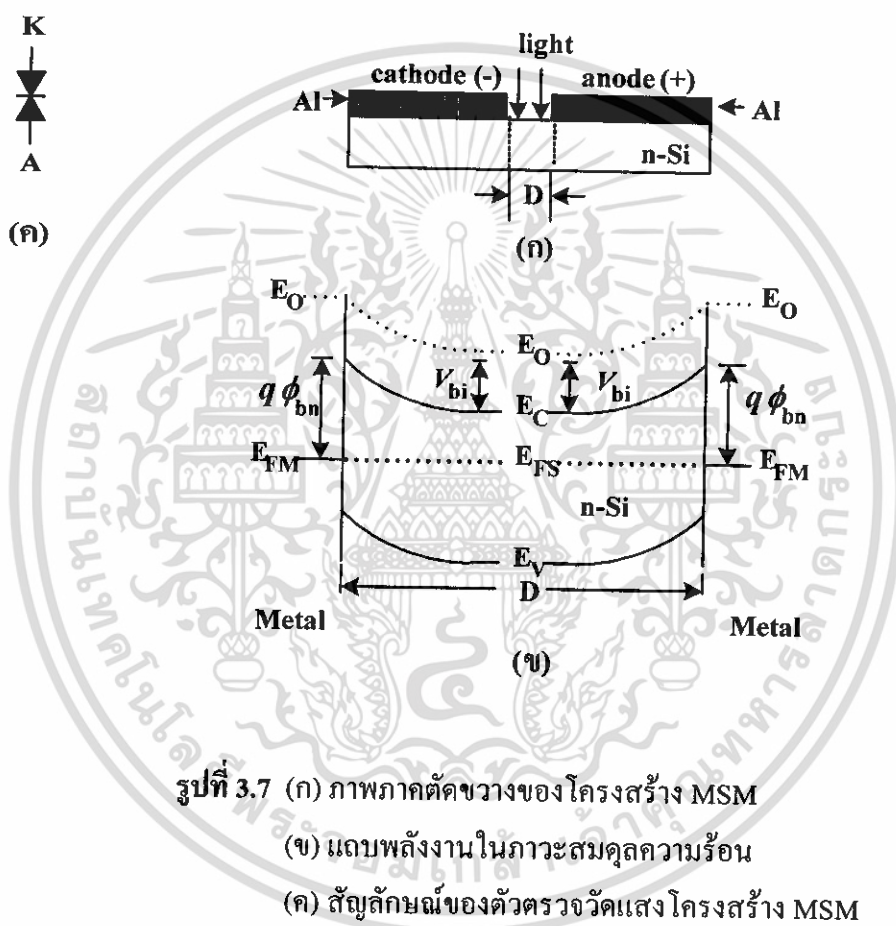
ตัวตรวจวัดแสง MSM ประกอบด้วยรอยสัมผัสซีดทีบีระหว่างโลหะอลูมิเนียมกับสารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิดเอ็นจำนวนสองรอยสัมผัส ซึ่งหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างและหลักการทำงานของตัวตรวจวัดแสงชนิด MSM

3.2.1 โครงสร้าง MSM ในภาวะสมดุลความร้อน

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ประกอบด้วยรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำสองรอยสัมผัส โดยมีระยะห่างระหว่างรอยสัมผัสทั้งสอง (D) หรือระยะห่างขั้วไฟฟ้า เป็นส่วนแยก

รอยสัมผัสทั้งสองของโครงสร้าง MSM ระยะระหว่างขั้วไฟฟ้าซึ่งเป็นซิลิคอนจะทำหน้าที่เป็นส่วนรับสัญญาณทางแสงแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (ก)

แถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง MSM ในสถานะสมดุลความร้อน จะเกิดบริเวณปลอดพาหะและกำแพงศักย์ขึ้นที่รอยสัมผัสทั้งสอง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของรอยสัมผัสที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีค่าที่เท่ากันเนื่องจาก โครงสร้างเป็นแบบสมมาตร และใช้วัสดุชนิดเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (ข) ส่วนในรูปที่ 3.7 (ค) เป็นสัญลักษณ์ของตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง MSM

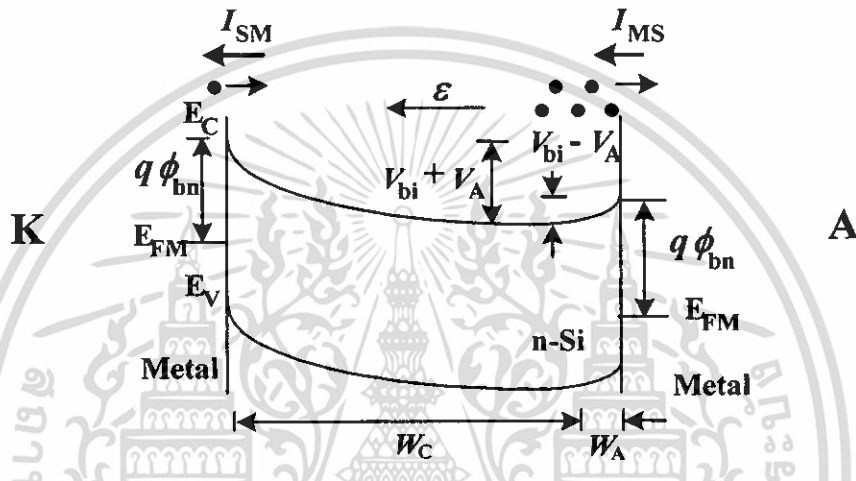


3.2.2 โครงสร้าง MSM ขณะได้รับแรงดันไบอัส

โฟโตไดโอด โครงสร้าง MSM เมื่อได้รับการไบอัสดังแสดงในรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าบริเวณปลอดพาหะของรอยสัมผัสแบบซีดตักซ์เบอร์เรียอร์ทางด้านคาโทด (W_C) มีขนาดกว้างขึ้น เนื่องจากได้รับการไบอัสย้อนกลับ ในขณะที่บริเวณปลอดพาหะทางด้านอโนด (W_A) กลับมีขนาดลดลงจากการไบอัสตรง สำหรับด้านที่ได้รับการไบอัสย้อนกลับจะมีค่าของกำแพงศักย์เพิ่มขึ้นเท่ากับ $V_b + V_A$ ดังนั้นอิเล็กตรอนจากทางด้านสารกึ่งตัวนำจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปยังด้านโลหะได้ จะมีเพียงอิเล็กตรอนจากทางด้านโลหะที่สามารถเคลื่อนที่ข้ามกำแพงศักย์เข้าไปใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านที่เป็นสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ามีทิศทางที่ไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังด้านโลหะ (I_{SM}) ส่วนด้านที่ได้รับการไบอัสตรงจะมีค่าของกำแพงศักย์ลดลงเท่ากับ $V_{bi} - V_A$ ดังนั้นอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปทางด้านโลหะได้ และทำให้มีกระแสไฟฟ้า (I_{MS}) ไหลจากด้านโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำ แต่เนื่องจากมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากทางด้านคาโทดเข้ามาที่สารกึ่งตัวนำมีปริมาณน้อยอยู่แล้วจึงทำให้กระแสนี้มีค่าน้อยตามไปด้วยซึ่งก็คือ กระแสรั่วไหลหรือกระแสมืด (dark current) ของโครงสร้าง MSM



รูปที่ 3.8 แถบพลังงานภายหลังจากได้รับแรงดันไบอัส

3.2.2.1 ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะขณะได้รับแรงดันไบอัส

ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะรวม (W_T) ของโครงสร้าง MSM เป็นผลรวมของบริเวณปลอดพาหะทางด้านคาโทด (W_C) ที่ได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ และบริเวณปลอดพาหะทางด้านอโนด (W_A) ที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง ดังสมการที่ 3.9

$$W_T = W_C + W_A \tag{3.9}$$

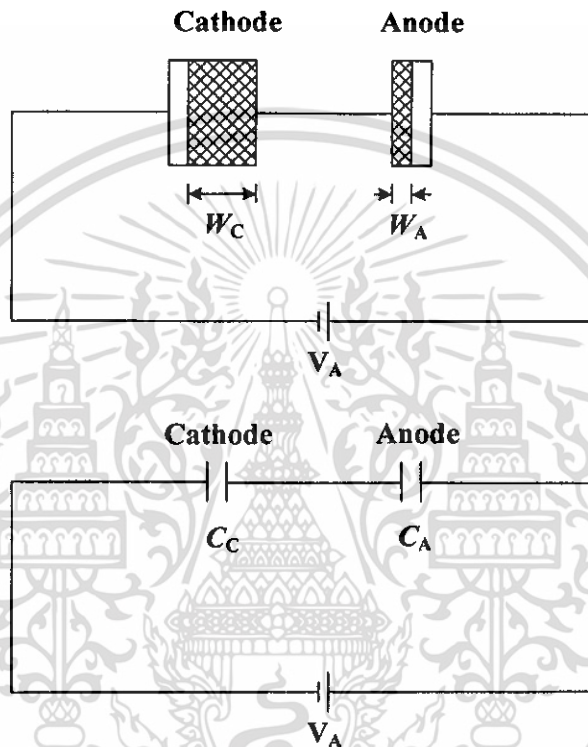
โดยที่

$$W_C = \sqrt{\frac{2\epsilon_S (V_{bi} - V_A)}{qN_D}} \tag{3.10}$$

$$W_A = \sqrt{\frac{2\epsilon_S (V_{bi} + V_A)}{qN_D}} \tag{3.11}$$

3.2.2.2 ความจุไฟฟ้าของโครงสร้าง MSM ขณะได้รับแรงดันไบอัส

ความจุไฟฟ้าของโครงสร้าง MSM เมื่อได้รับแรงดันไบอัส ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยความจุไฟฟ้ารวม (C_T) เกิดจากผลรวมของความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่รอยสัมผัสทั้งสอง ประกอบด้วยความจุไฟฟ้าทางด้านคาโทด (C_C) ที่ได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ และความจุไฟฟ้าทางด้านอโนด (C_A) ที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง ดังสมการที่ (3.15)



รูปที่ 3.9 ความจุไฟฟ้าของโครงสร้าง MSM เมื่อได้รับแรงดันไบอัส

$$C_T = \frac{C_C C_A}{C_C + C_A} \quad (3.12)$$

โดยที่

$$C_C = \sqrt{\frac{q\epsilon_S N_D}{2(V_{bi} - V_A)}} \quad (3.13)$$

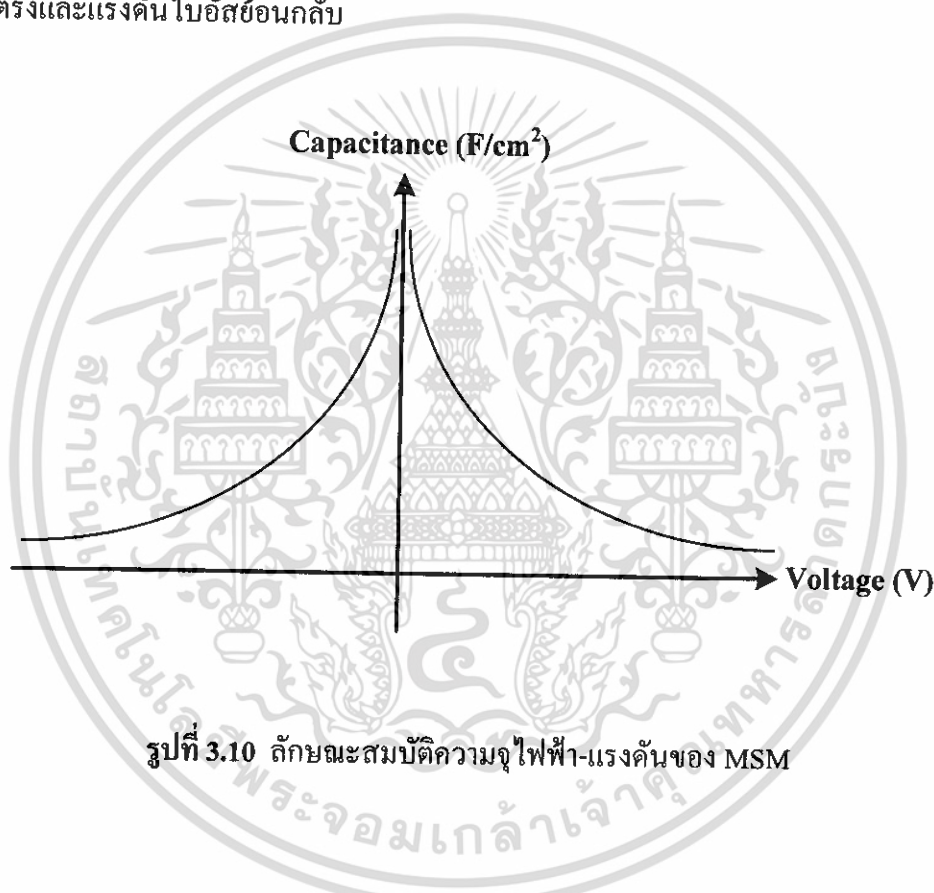
$$C_A = \sqrt{\frac{q\epsilon_S N_D}{2(V_{bi} + V_A)}} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนค่า C_C และ C_A ในสมการที่ 3.12 ทำให้ได้ความจุไฟฟ้ารวมเท่ากับ

$$C_T = \sqrt{\frac{q\epsilon_S N_D}{2}} \left[\frac{1}{\sqrt{(V_{bi} - V_A)} + \sqrt{(V_{bi} + V_A)}} \right] \quad (3.15)$$

รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันของ MSM เมื่อได้รับแรงดันไบอัส โดยความจุไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่อแรงดันไบอัสเพิ่มขึ้นและมีความสมมาตรกันเมื่อได้รับแรงดันไบอัสตรงและแรงดันไบอัสย้อนกลับ



รูปที่ 3.10 ลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันของ MSM

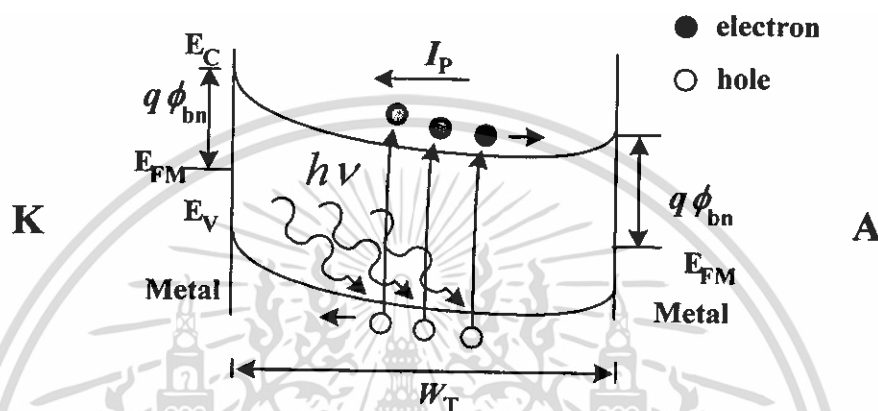
3.2.3 โครงสร้าง MSM ขณะได้รับแสงตกกระทบ

เมื่อโครงสร้าง MSM ได้รับแสงแล้ว จะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล โดยที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าไปยังขั้วคาโทด ส่วนโฮลจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับสนามไฟฟ้าไปยังขั้วแอโนด ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลออกไปภายนอกอุปกรณ์ โดยกระแสแสง (I_p) ของโครงสร้าง MSM มีค่าดังสมการที่ (3.16)

$$I_p = I_{\text{mea}} - I_{\text{dark}} \quad (3.16)$$

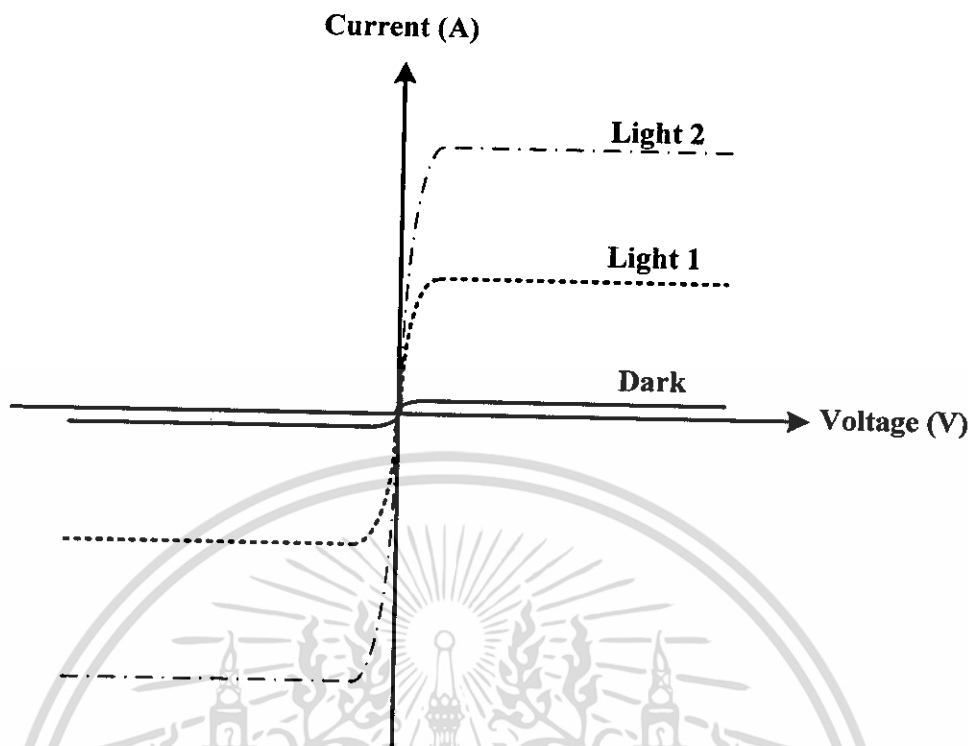
โดยที่ I_{mea} คือ กระแสที่ได้จากการวัด

I_{dark} คือ กระแสรั่วไหลหรือกระแสมืดของ MSM



รูปที่ 3.11 แถบพลังงานภายหลังจากที่ได้รับแสงตกกระทบบ

ในรูปที่ 3.12 เป็นลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของ MSM ที่ได้รับแสงตกกระทบบนช่องรับแสงของโครงสร้าง MSM แบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำหันหลังชนกัน ทำให้ลักษณะสมบัติของ MSM มีความสมมาตรกันทั้งด้านที่รับไบแอสตรงและด้านที่รับไบแอสย้อนกลับ ซึ่งกระแสจะมีค่ามากขึ้นเมื่อให้แสงตกกระทบบมีความเข้มแสงมากขึ้น



รูปที่ 3.12 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของ MSM เมื่อได้รับแสงตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

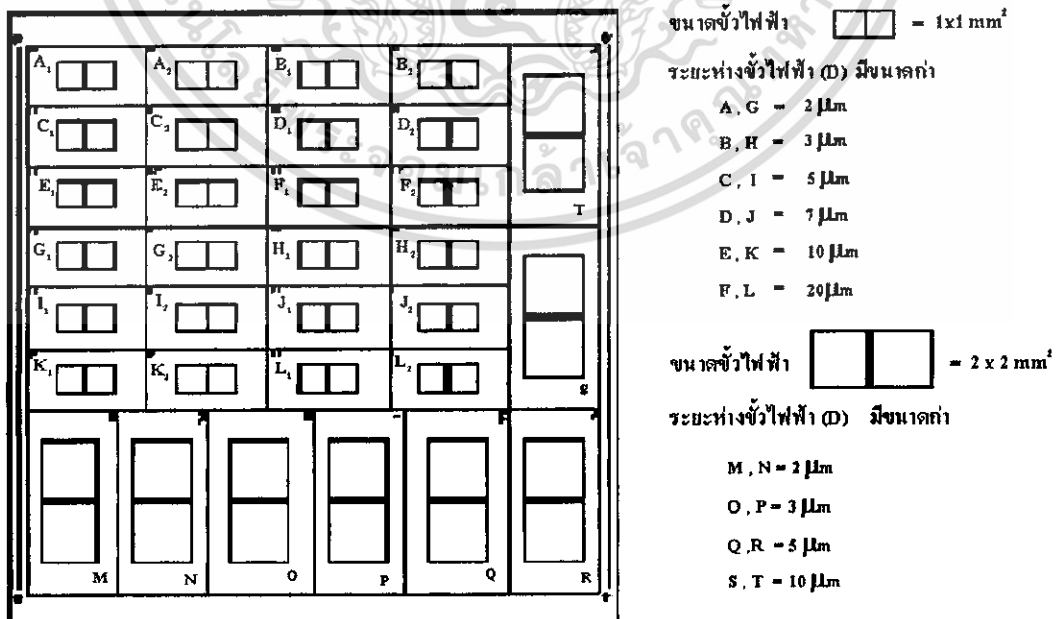
บทที่ 4

การออกแบบ การสร้างและการทดลอง

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ สลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาด เล็ก ชนิด Al/n-Si/Al สามารถสร้างได้ง่าย ซึ่งมีกระบวนการออกแบบและการสร้างด้วยกระจกต้นแบบ เพียง 1 แผ่น โดยมีการออกแบบให้มีพื้นที่รับแสงค่าต่างๆ ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะ โครงสร้างที่ใช้ในการศึกษา กระบวนการสร้างและการทดลองต่างๆ เพื่อใช้หาลักษณะสมบัติของ โครงสร้าง MSM ต่อไป

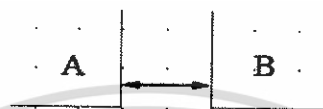
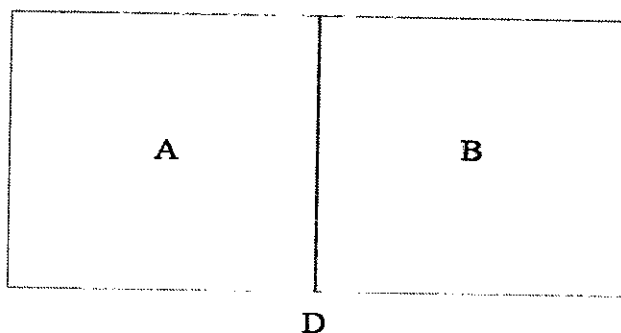
4.1 โครงสร้างและการออกแบบ

โครงสร้าง MSM แบบสลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิด Al/n-Si/Al ประกอบด้วยรอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียม-ซิลิคอนจำนวนสองรอยสัมผัส นี้จะใช้ขั้วโลหะที่มีขนาด เท่ากันทั้งสองด้านเป็นอลูมิเนียมมีขนาด $1 \times 1 \text{ mm}^2$ และ $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ส่วนสารกึ่งตัวนำจะเลือกใช้ เป็นซิลิคอนชนิดเอ็น ซึ่งวัสดุทั้งสองหาสามารถได้ง่ายและยังเป็นวัสดุที่สำคัญในการสร้างวงจรรวม สำหรับระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ใช้เป็นส่วนของพื้นที่รับแสง มีค่า $2 \mu\text{m}$, $3 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$, $7 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

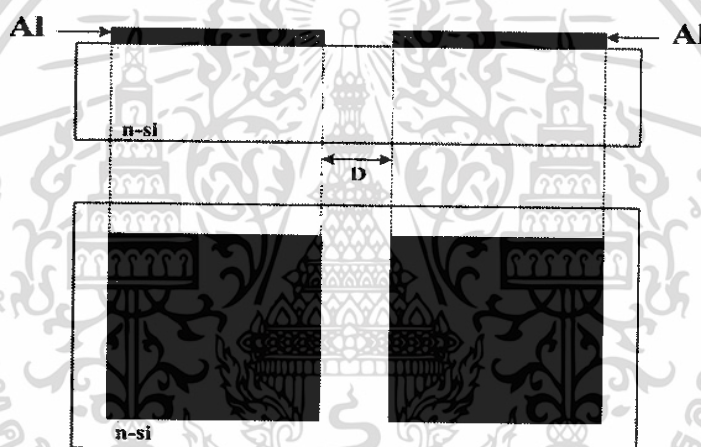


รูปที่ 4.1 การออกแบบตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$D = 2\ \mu\text{m}, 3\ \mu\text{m}, 5\ \mu\text{m}, 7\ \mu\text{m}, 10\ \mu\text{m}, 20\ \mu\text{m}$



รูปที่ 4.2 ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al

4.2 กระบวนการสร้าง

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

1. ทำความสะอาดแผ่นซิลิคอนเบื้องต้น

- Ultrasonic ด้วยน้ำจืด ไอออนแล้ว (De-ionization water : DI) 5 นาที เพื่อกำจัดฝุ่น
- จุ่มใน DI 1 แก้ว
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้มในกรดไนตริก (Nitric Acid) 2 แก้วๆ ละ 5 นาที เพื่อกำจัดเศษ โลหะ
- จุ่มใน DI 1 แก้ว
- ต้มใน DI 2 แก้วๆ ละ 5 นาที
- จุ่มใน DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มใน ไตร โคลเอทธีรีน (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
- อบแผ่นเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก (AZ P1350) ด้วยเครื่องสปินเนอร์ ที่ความเร็วครั้งแรก 500 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 วินาที แล้วความเร็วในครั้งที่สอง 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 25 วินาที
- อบแผ่นครั้งแรก (Pre bake) ให้น้ำยาไวแสงแห้ง ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 20 นาที
- ฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบ ด้วยเครื่อง Mask aligner
- การขึ้นลวดลาย (Develop)
- จุ่มใน AZ developer 2 แก้วๆ ละ 20 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุ่มใน DI 2 แก้ว
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- อบครั้งที่สอง (Post bake) ให้ฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เหลืออยู่แห้ง ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 20 นาที

4. การกัดชั้นอลูมิเนียม

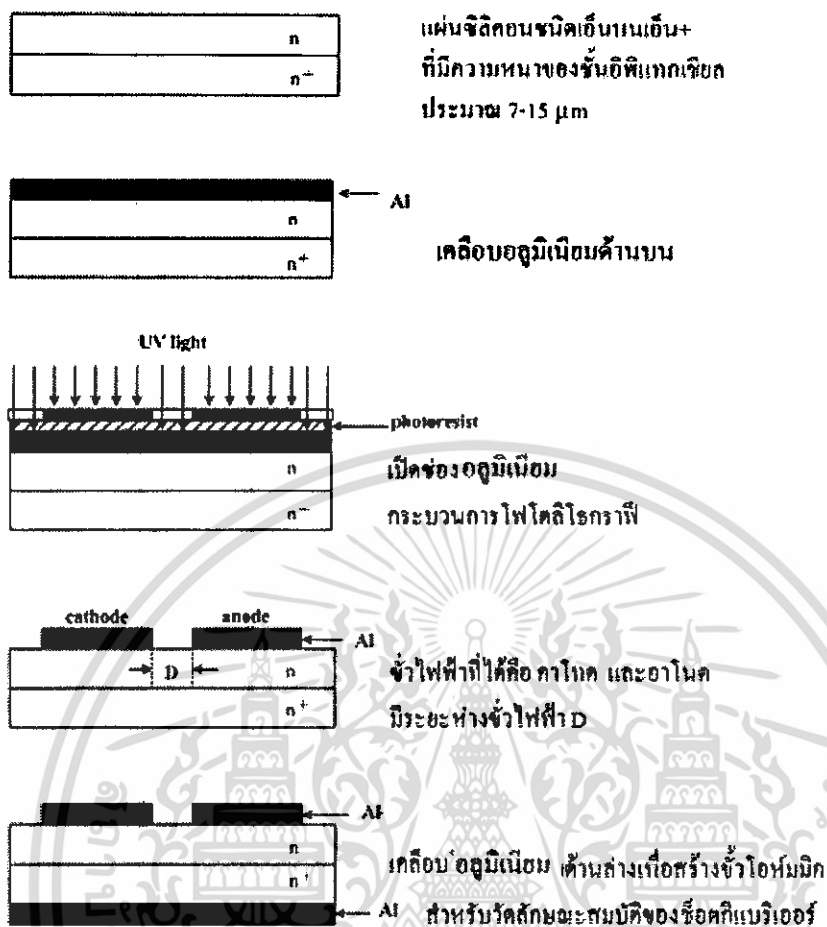
- ทำการสกัดชั้นของอลูมิเนียมในส่วนที่ไม่ต้องการออกด้วยสารละลายสกัดชั้นอลูมิเนียม (Al Etching) ที่มีส่วนผสมของ H_3PO_4 : HNO_3 : CH_3COOH : H_2O ในอัตราส่วน 8 : 5 : 5 : 10
- จุ่มใน Al etching ที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 20 วินาที
- จุ่มใน DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

5. การลอกฟิล์มน้ำยาไวแสง

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

6. กระบวนการซินเทอริง (Sintering)

- กระบวนการซินเทอริงเป็นกระบวนการทางความร้อนที่ทำให้รอยสัมผัสของอลูมิเนียมและซิลิคอนสมบูรณ์ขึ้น
- นำชิ้นงานไปไว้ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1 ลิตร/นาที เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งเป็นเงื่อนไขของเวลาที่ทำให้ได้รอยสัมผัสที่ดีและมีกระแสรั่วไหลต่ำ โดยมีอุณหภูมิที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 480 °C ในรูปที่ 4.3 แสดงภาพภาคตัดขวางของกระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-si/Al



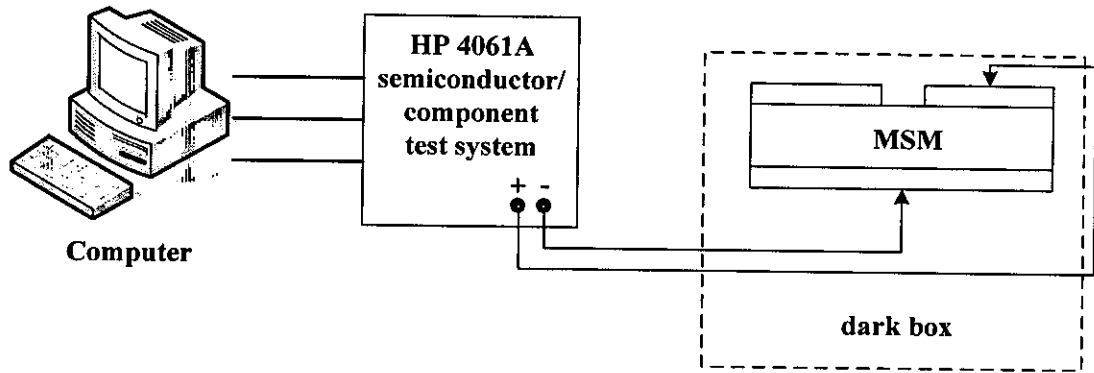
รูปที่ 4.3 ภาพภาคตัดขวางของกระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง Al/n-Si/Al

4.3. การทดลอง

ภายหลังจากการสร้างอุปกรณ์แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบหาลักษณะสมบัติของอุปกรณ์ ซึ่งจะมีการทดลองดังต่อไปนี้

4.3.1 การทดลองลักษณะสมบัติกำแพงศักย์ซีดกกี

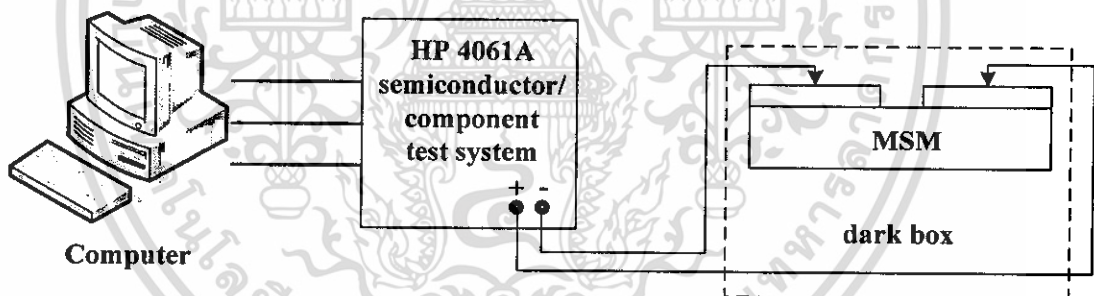
การศึกษากำแพงศักย์ซีดกกี เป็นการทดลองเพื่อหาลักษณะสมบัติกระแสแรงดันของอุปกรณ์ที่เป็น โครงสร้างซีดกกีไดโอด โดยผ่านการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิระหว่าง 480°C ซึ่งจะนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความสูงกำแพงศักย์ต่อไป และเป็นการหาค่าแรงดันภายในของอุปกรณ์ โดยใช้เครื่อง HP 4061A semiconductor/component test system ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภาพที่ใช้ในการทดลองหาค่าแรงแงกซ์ยี่ห้อดี

4.3.2 การทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดขณะไม่ได้รับแสงกระทบ

นำอุปกรณ์ Al/n-Si/Al ที่ผ่านกระบวนการสร้าง และผ่านการขึ้นเตาที่อุณหภูมิระหว่าง 480°C มาทำการทดลองหาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของอุปกรณ์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ HP 4061A ดังแสดงในรูปที่ 4.5

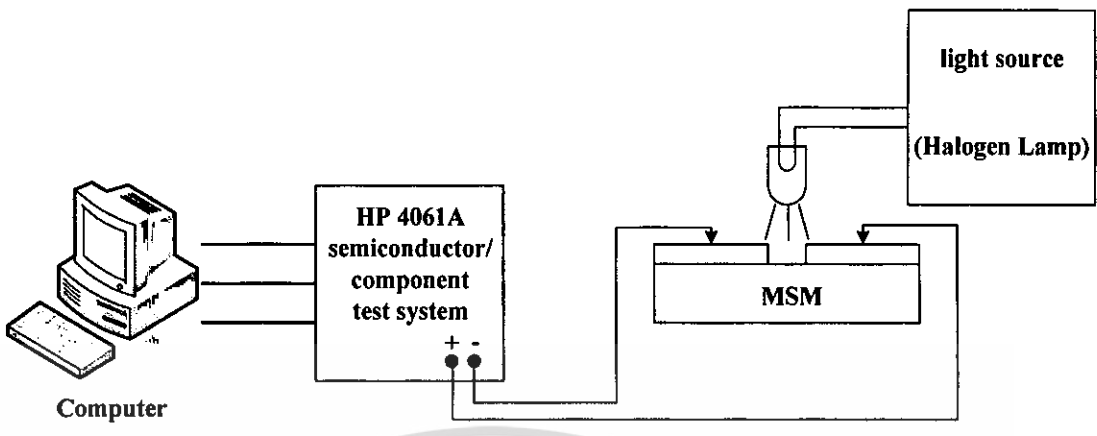


รูปที่ 4.5 แผนภาพที่ใช้ในการทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน

4.3.3 การทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด ในแบบสัญญาณแสง กระแสตรง

นำอุปกรณ์ Al/n-Si/Al ซึ่งมีระยะห่างขั้วไฟฟ้า $2\ \mu\text{m}$, $3\ \mu\text{m}$, $5\ \mu\text{m}$, $7\ \mu\text{m}$, $10\ \mu\text{m}$, $20\ \mu\text{m}$ มาทำการทดลองหาลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของอุปกรณ์ในแบบสัญญาณแสง กระแสตรง (dc) ภายใต้เงื่อนไขของการให้แสงตกกระทบจากแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฮาโลเจนของบริษัท STOCKER & YALE รุ่น 20 Series ที่มีความเข้มค่าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.6

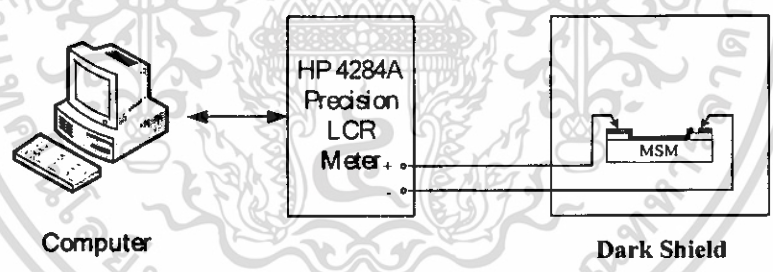
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แผนภาพการทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันในแบบสัญญาณแสงกระแสตรง

4.3.4 ผลการทดสอบลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al

การทดลองลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดัน จะใช้เครื่อง HP 4284A ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนภาพเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดัน

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง การศึกษา การทดลองมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า, สมบัติทางแสงและกลไกการเกิดกระแสแสงของตัวตรวจวัดแสงแบบสลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กชนิด Al/n-Si/Al โดยศึกษาจากลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน

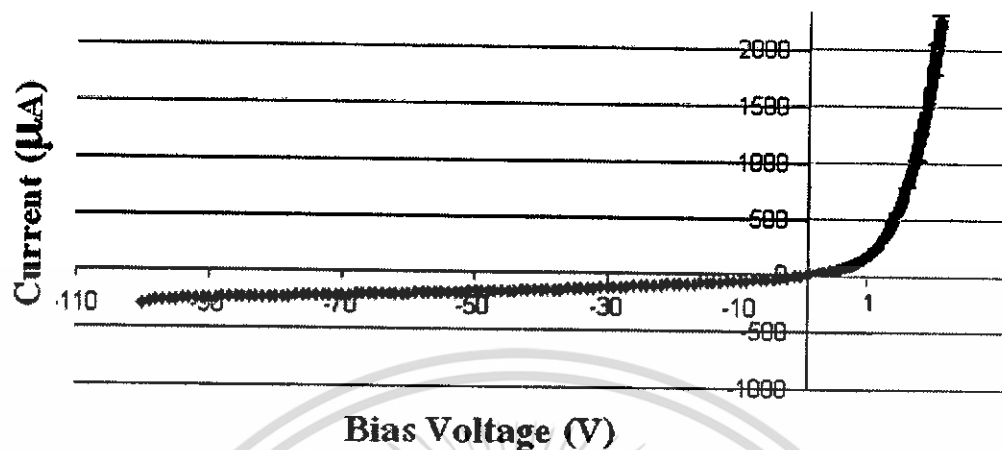
การทดลอง

เนื่องจากโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM ประกอบด้วยรอยสัมผัสชนิดกึ่งตัวนำ 2 รอยสัมผัส การทดลองนี้ ในขั้นแรกจึงมีการทดสอบสมบัติของรอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมและซิลิคอนซึ่งเป็นรอยสัมผัสแบบชนิดกึ่งตัวนำ จากนั้นจะเป็นการทดสอบลักษณะทางไฟฟ้าของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้าและขนาดของขั้วไฟฟ้า ข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาต่อไป

5.1 ผลการทดลองลักษณะสมบัติของรอยสัมผัสชนิดกึ่งตัวนำ

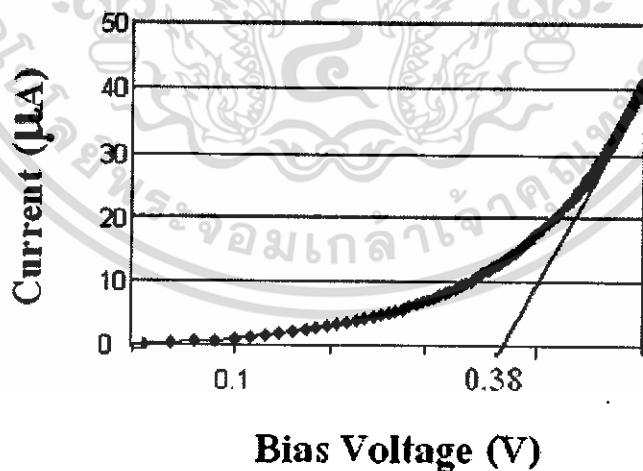
สมบัติของรอยสัมผัสชนิดกึ่งตัวนำที่สำคัญได้แก่ แรงดันภายใน (V_{bi}) และความสูงกำแพงศักย์ชนิดกึ่งตัวนำ (ϕ_{bn}) การวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของรอยสัมผัสชนิดกึ่งตัวนำจะใช้เครื่องวัดลักษณะสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor/Component test system) HP 4061A โดยเทคนิคการวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของรอยสัมผัสชนิดกึ่งตัวนำร่วมกับการคำนวณจะทราบถึงแรงดันภายใน และความสูงกำแพงศักย์ชนิดกึ่งตัวนำ

ในการสร้างรอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมและซิลิคอน เพื่อให้เกิดรอยสัมผัสที่ดี จะทำการสร้างโดยใช้เงื่อนไขการขึ้นเตอรังที่อุณหภูมิ 480°C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นจะทำการวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ด้วยเครื่องวัดลักษณะสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ HP 4061A ซึ่งลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของรอยสัมผัสชนิดกึ่งตัวนำจะแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 5.1 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของรอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมและซิลิคอนชนิดเอ็น

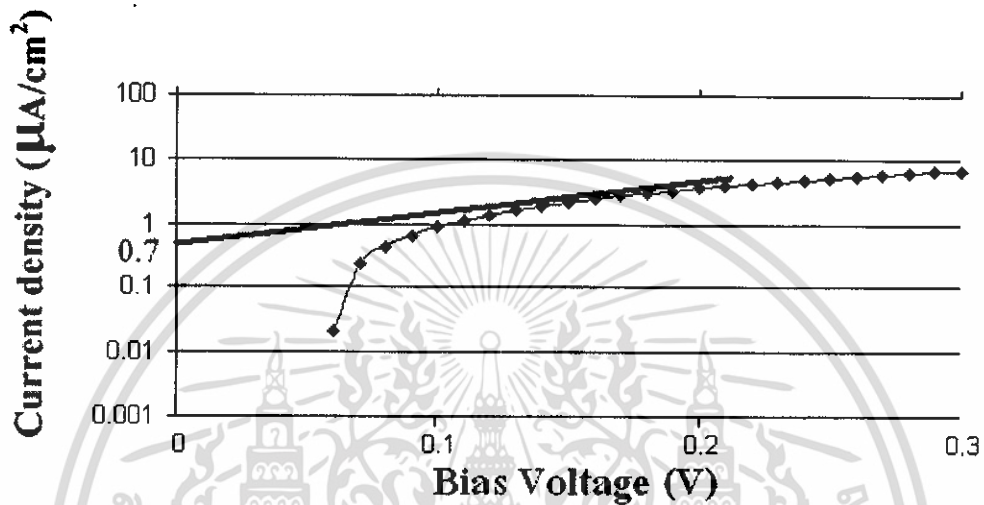
เมื่อนำลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันมาหาค่าแรงดันภายในโดยแกนตั้งของกราฟเป็นแกนกระแส ส่วนแกนนอนเป็นแกนแรงดันไบอัส ดังรูปที่ 5.2 พบว่ารอยสัมผัสชนิดนี้ก็มีแรงดันภายในประมาณ 0.38 โวลต์



รูปที่ 5.2 การหาแรงดันภายในของรอยสัมผัสชนิดนี้

สำหรับกำแพงศักย์ชนิดนี้สามารถหาได้ด้วยเทคนิคกระแส-แรงดัน โดยนำลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน มาแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส (J) -แรงดันในแบบกึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลึอก คังรูปที่ 5.3 เมื่อลากเส้นตรงผ่านจุดไปตัดแกนความหนาแน่นกระแส จะ ได้ความหนาแน่นของ กระแสที่แรงดัน ไบอัสเท่ากันศูนย์ หรือเรียกว่าความหนาแน่นกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (J_0) โดยความ หนาแน่นกระแสสามารถหาได้จากสมการที่ 5.1



รูปที่ 5.3 การหาค่า J_0 จากกราฟความหนาแน่นกระแส-แรงดันของรอยสัมผัสซีดก็ย

$$J = J_0 \left\{ \exp\left(\frac{qV_A}{kT}\right) - 1 \right\} \quad (5.1)$$

โดยที่ J_0 คือ ความหนาแน่นกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ มีค่าเท่ากับ

$$J_0 = RT^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{bn}}{kT}\right) \quad (5.2)$$

ความสูงกำแพงศักย์ซีดก็ยสามารถหาได้จาก

$$\phi_{bn} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{RT^2}{J_0}\right) \quad (5.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ k คือ ค่าคงที่ของโบสตันน์ มีค่าเท่ากับ 1.381×10^{23} J/K
 T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์
 R คือ ค่าคงตัวริชาร์ดสัน มีค่าเท่ากับ $110 \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{K}^{-2}$ (n-Si)
 q คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

เมื่อแทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ 5.3 ทำให้ได้ค่ากำแพงศักย์ช็อคตีย์เท่ากับ 0.78 V

5.2 ผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดขณะไม่ได้รับแสงกระทบ

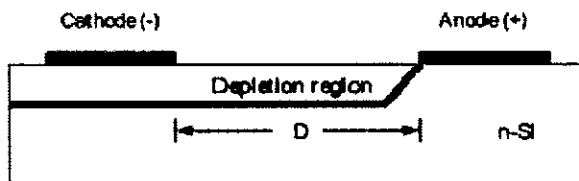
เมื่อทำการสร้างโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al ที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ใช้เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่รับแสง มีค่า 2 μm , 3 μm , 5 μm , 7 μm , 10 μm , 20 μm และขนาดขั้วไฟฟ้าขนาด $1 \times 1 \text{ mm}^2$ และ $2 \times 2 \text{ mm}^2$ แล้วทำการทดลองดังนี้

การทดสอบลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ หรือที่เรียกว่ากระแสมืด (I_{dark}) ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al โดยใช้เครื่องวัดลักษณะสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ HP 4061A ซึ่งแสดงแผนภาพของเครื่องมือดังรูปที่ 4.5 ผลการทดสอบลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al ขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ ซึ่งพบว่ากระแสมืดของโฟโตไดโอดมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับแรงดันไบอัส เมื่อแรงดันไบอัสเพิ่มขึ้นกระแสมืดของโฟโตไดโอดมีค่าสูงขึ้นตาม โดยมีความสมมาตรกันทั้งด้านบวกและลบ

5.2.1 ผลของระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ต่อลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน

ที่โครงสร้างแบบสลิคเต็ว ขนาดเล็ก (Short electrode) เมื่อบริเวณปลอดพาหะขยายจนเต็มระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ทำให้เกิดกระแสมืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงมาก การเพิ่มของกระแสมืด (I_{dark}) ของโฟโตไดโอด เป็นแบบปรากฏการณ์พังก์ทู ดังรูปที่ 5.4

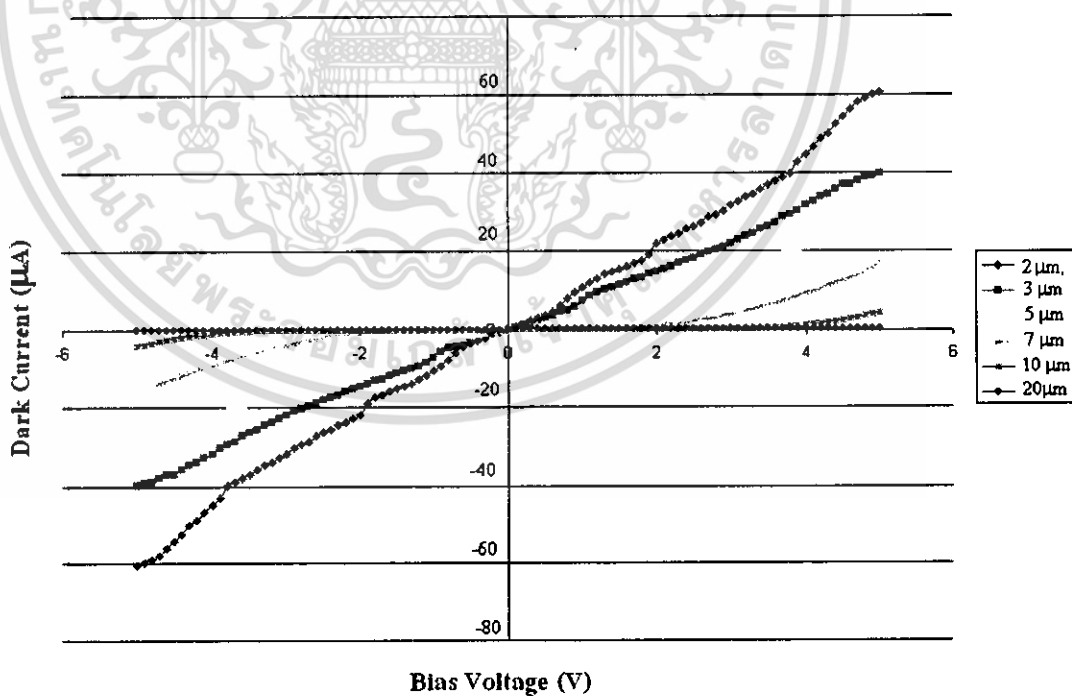
ที่โครงสร้างแบบสลิคเต็ว ขนาดใหญ่ (Wide electrode) เมื่อบริเวณปลอดพาหะขยายไม่เต็มระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (D) จะพบว่ามึบริเวณนิวทรัล กระแสมืดของโฟโตไดโอดจะขึ้นกับขนาดของบริเวณปลอดพาหะ และเมื่อบริเวณปลอดพาหะมีค่าขนาดเท่ากัน ดังนั้นกระแสมืดจะมีค่าคงที่ ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.4 โครงสร้างแบบสลิตเดี่ยว ขนาดเล็ก (Short electrode)

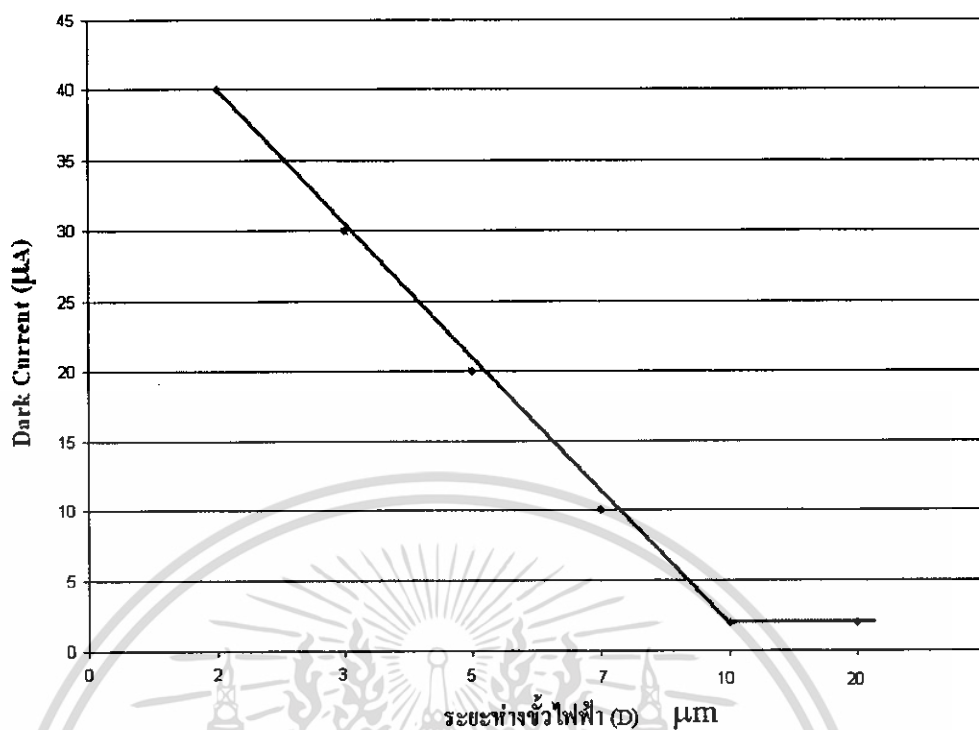


รูปที่ 5.5 โครงสร้างแบบสลิตเดี่ยว ขนาดใหญ่ (Wide electrode)

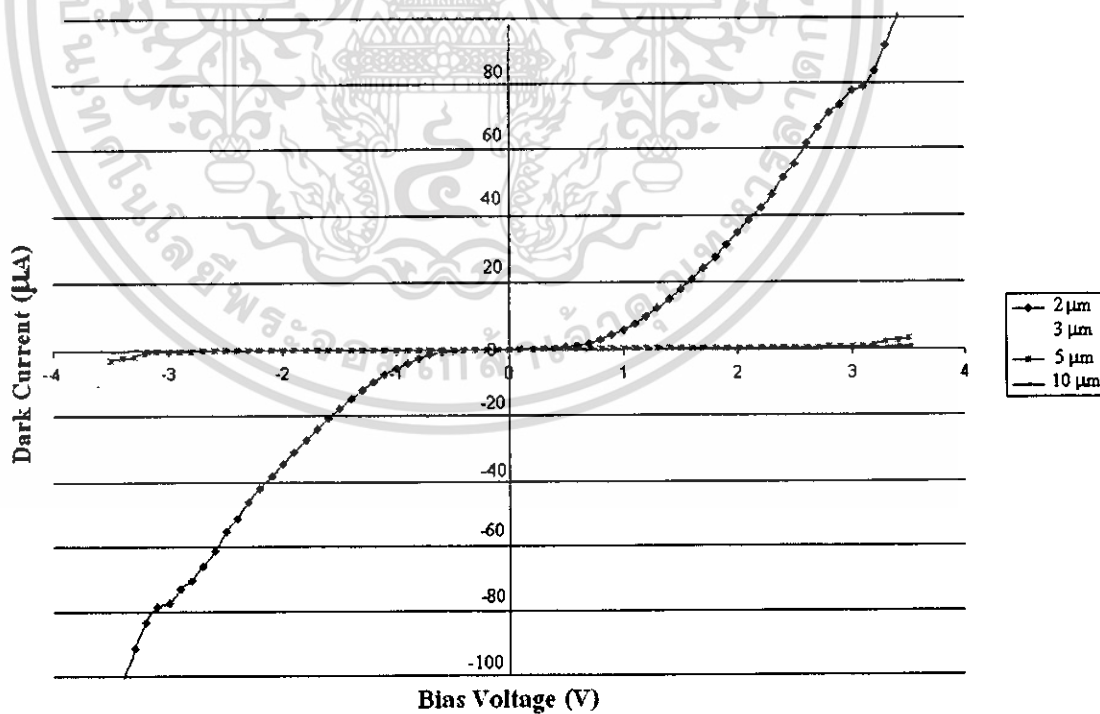


รูปที่ 5.6 ลักษณะสมบัติกระแสแรงดัน ของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al ขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $1 \times 1 \text{ mm}^2$ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

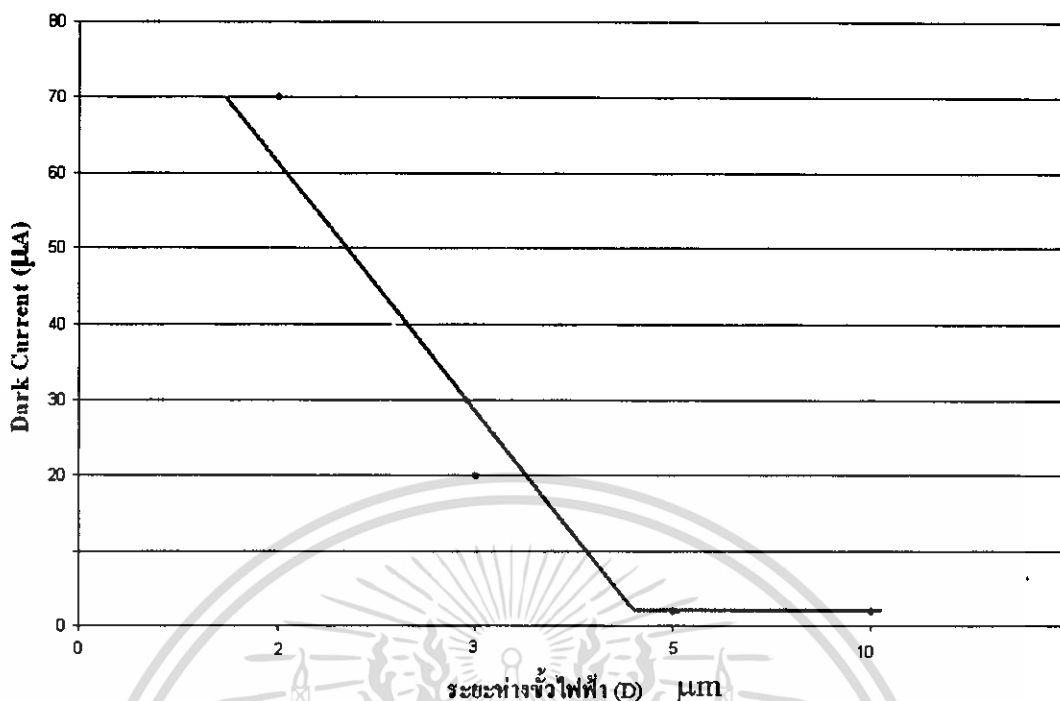


รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมืดกับระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $1 \times 1 \text{ mm}^2$



รูปที่ 5.8 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al ขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $2 \times 2 \text{ mm}^2$ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมืดกับระยะทางจั่วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดจั่วไฟฟ้า $2 \times 2 \text{ mm}^2$

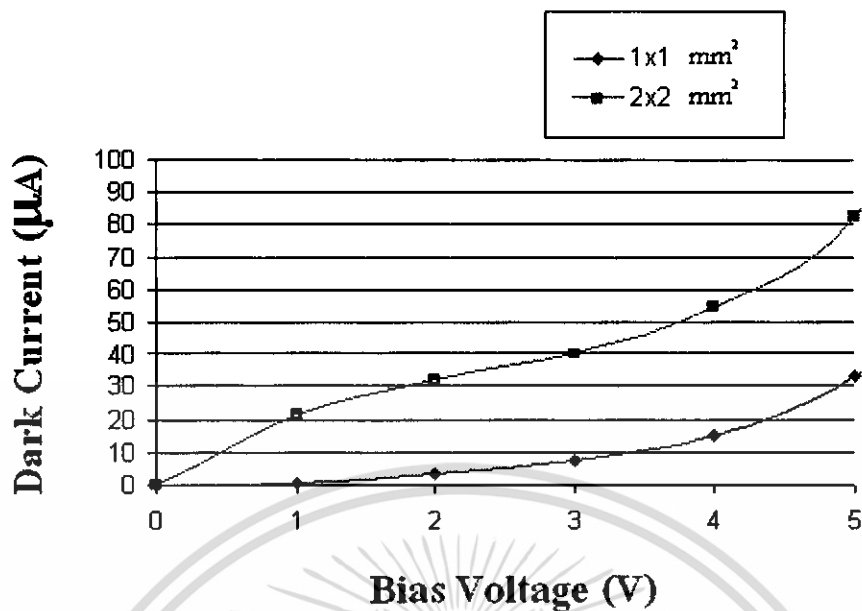
5.2.2 ผลของขนาดจั่วไฟฟ้าต่อลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน

การที่กระแสมืดเปลี่ยนแปลงตามขนาดของจั่วไฟฟ้า เนื่องจากขนาดจั่วไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่รอยสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้พื้นที่ของรอยสัมผัสช็อคก็ย์เพิ่มขึ้น จากสมการที่ 5.5 พบว่ากระแสรั่วไหลของรอยสัมผัสช็อคก็ย์แปรผันกับขนาดพื้นที่ของรอยสัมผัส

$$I_0 = ART^2 e^{\frac{-q\phi_{bn}}{kT}} \quad (5.5)$$

โดยที่

- A คือ พื้นที่รอยสัมผัส
- R คือ ค่าคงตัวริชาร์ดสัน มีค่า $110 \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{K}^{-2}$ (n-Si) [12]
- T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)
- q คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- ϕ_{bn} คือ ความสูงกำแพงศักย์ช็อคก็ย์
- k คือ ค่าคงที่โบลต์ซมันน์ มีค่าเท่ากับ $8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$



รูปที่ 5.6 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al ขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 5 μm เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดขั้วไฟฟ้า

จากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) และเปลี่ยนแปลงขนาดขั้วไฟฟ้า มีผลต่อกระแสมืดของโฟโตไดโอด ซึ่งทำให้กระแสมืดของโฟโตไดโอดเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน ส่วนแรงดันพังทลายของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al มีค่าอยู่ในช่วง 5 โวลต์

5.3 ผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดในสภาวะแสงกระแสตรง

ในการวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันในสภาวะแสงกระแสตรงใช้เครื่องวัดลักษณะสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ HP 4061 A โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฮาโลเจน แสดงดังแผนภาพของเครื่องมือในรูปที่ 4.6

โดยทำการวัดกระแสมืดในขณะที่โฟโตไดโอดไม่ได้รับแสงตกกระทบ (I_{dark}) และกระแสรวมของโฟโตไดโอดขณะได้รับแสงตกกระทบ (I_{total}) จากนั้นจึงทำการหาค่ากระแสแสงของโฟโตไดโอด (I_{photo}) จากสมการที่ 5.6

$$I_{\text{photo}} = I_{\text{total}} - I_{\text{dark}} \quad (5.6)$$

จากนั้นนำค่ากระแสแสงที่ได้มาแสดงเป็นกราฟลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เพื่อวิเคราะห์สมบัติของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ต่อไป

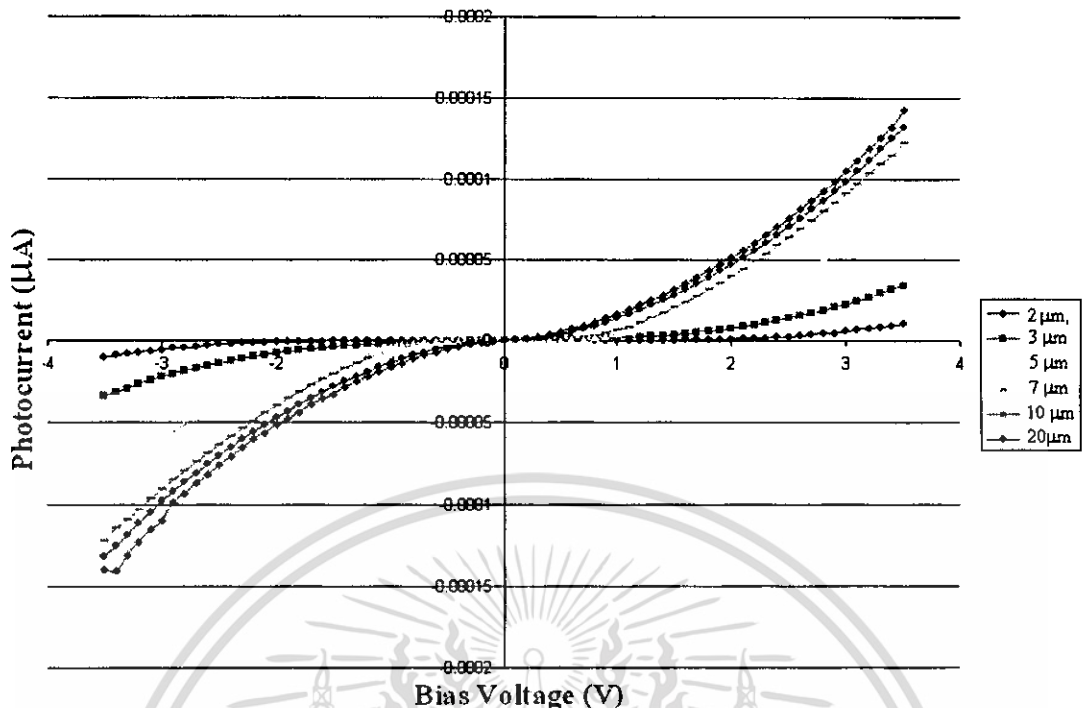
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 ผลของระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ต่อลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน

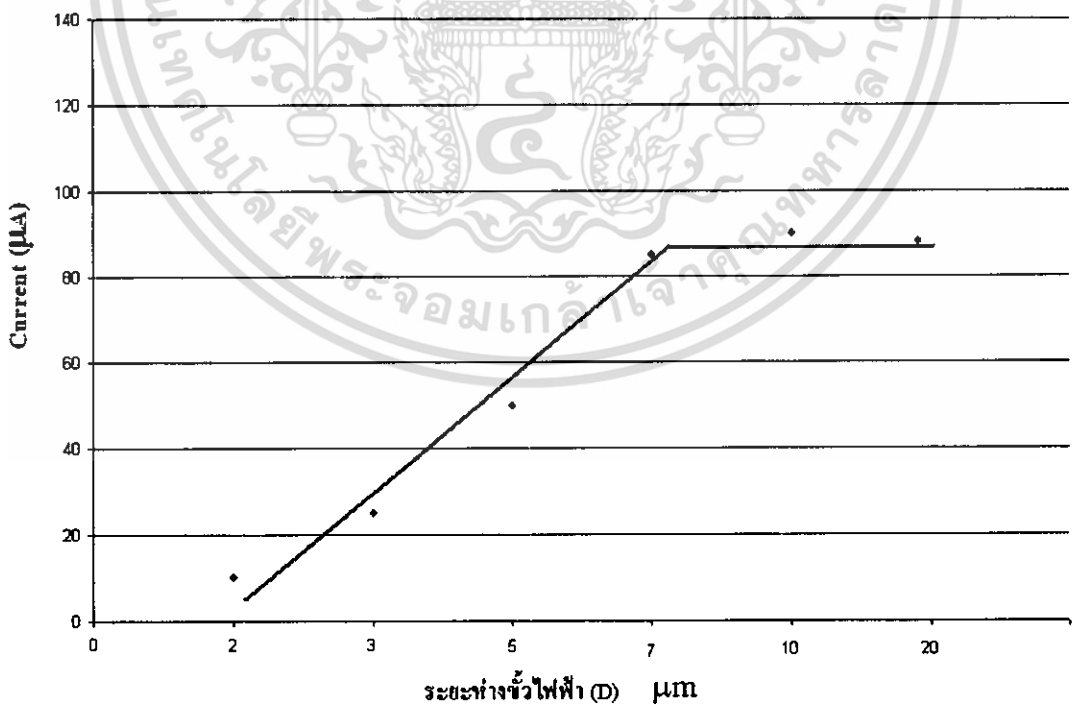
จากผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) พบว่าโฟโตไดโอด Al/n-Si/Al ที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) เท่ากับค่า 2 μm , 3 μm , 5 μm , 7 μm , 10 μm , 20 μm ที่แรงดันไบอัสคงที่ค่าหนึ่งให้กระแสแสงเพิ่มขึ้น สาเหตุที่กระแสแสงของโฟโตไดโอดเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างขั้วไฟฟ้า เพราะการเพิ่มระยะห่างขั้วไฟฟ้าเป็นการเพิ่มพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอดเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายเพิ่มขึ้นตามระยะห่างขั้วไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากกระแสแสงของโฟโตไดโอดจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณปลอดพาหะนั้นั้น ซึ่งสามารถคำนวณความกว้างบริเวณปลอดพาหะ (W_C) ได้จากสมการที่ 5.6

$$W_C = \left\{ \frac{2\varepsilon}{qN_D} (V_{bi} + V_A) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5.6)$$

- โดย
- ε คือ ค่าเปอร์มิตติวิตีของสารกึ่งตัวนำ
 - q คือ ประจุไฟฟ้าอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} C
 - N_D คือ อะตอมสารเจือผู้ให้ใน n-Si
 - V_{bi} คือ กำแพงศักย์เกิดขึ้นในด้านสารกึ่งตัวนำ
 - V_A คือ แรงดันไบอัสที่ตกคร่อมรอยสัมผัสชนิดกึ่ง

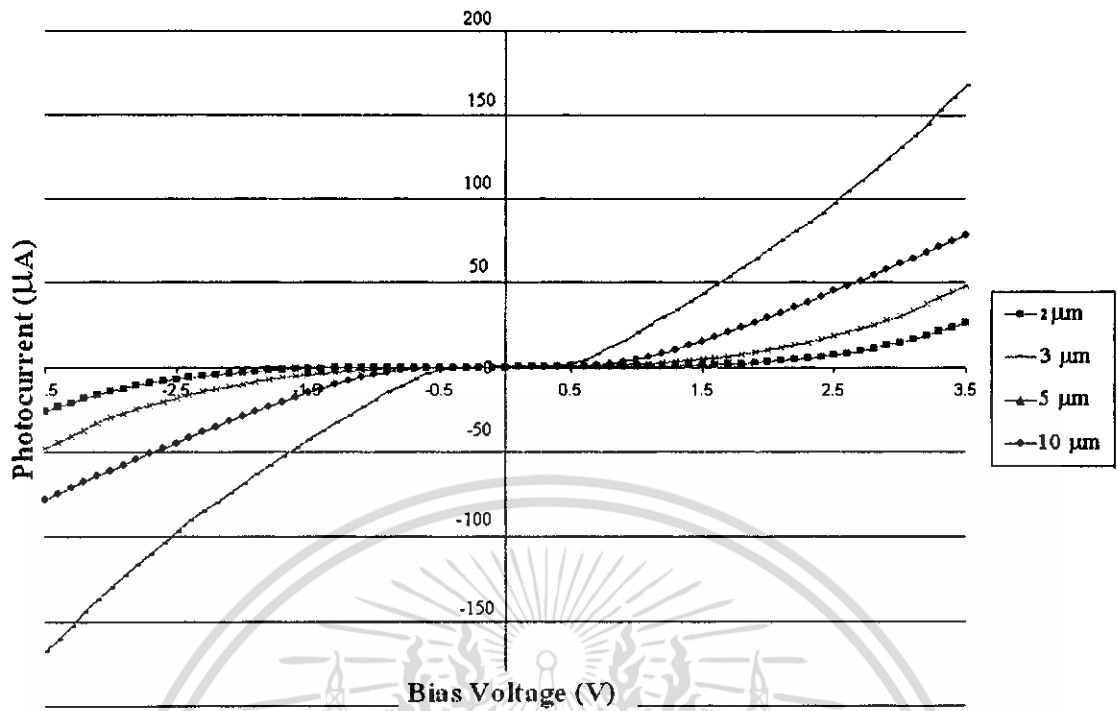


รูปที่ 5.11 ลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $1 \times 1 \text{ mm}^2$ ความเข้มแสง 25000 lux

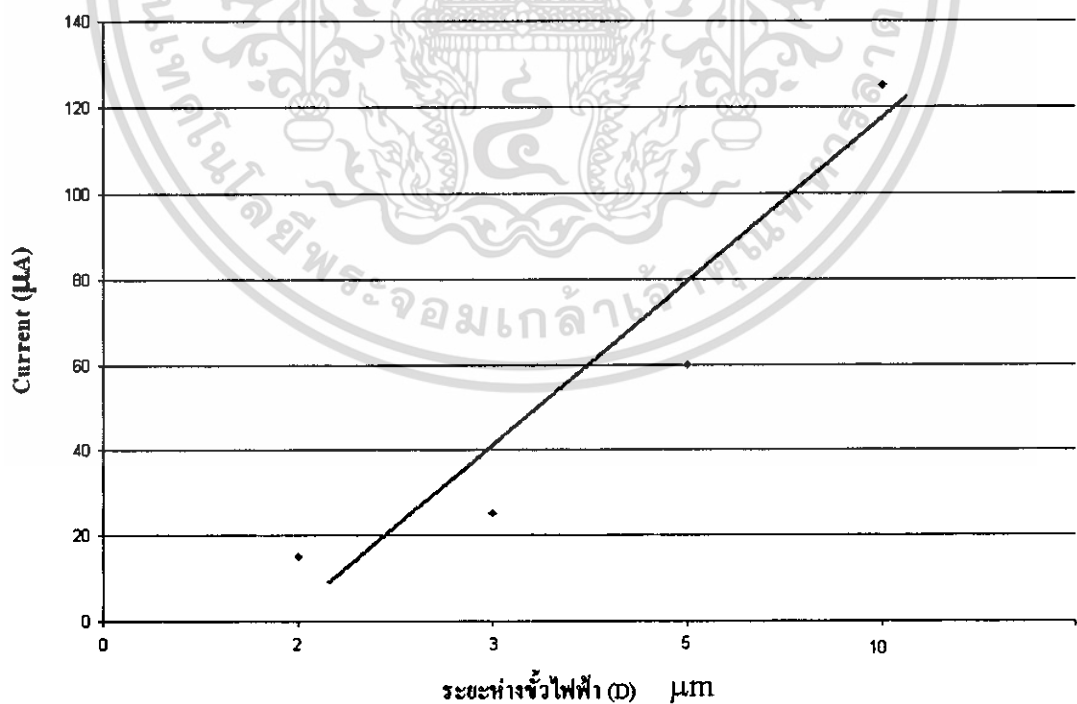


รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงกับระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $1 \times 1 \text{ mm}^2$ ความเข้มแสง 25000 lux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



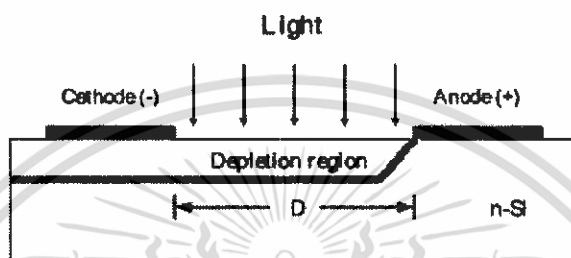
รูปที่ 5.13 ลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ความเข้มแสง 25000 lux



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงกับระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ความเข้มแสง 25000 lux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไบอัสและความกว้างบริเวณปลอดพาหะ พบว่าเมื่อให้แรงดันไบอัส จะทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายตัวออก ในขณะที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้าที่มีค่าน้อย ดังนั้นพื้นที่รับแสงระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดจะมีเฉพาะบริเวณปลอดพาหะ เนื่องจากขนาดของระยะห่างขั้วไฟฟ้ามีขนาดเล็กกว่าค่าบริเวณปลอดพาหะ ดังนั้นจะมีแต่บริเวณปลอดพาหะเท่านั้น ไม่มีบริเวณนิวทรัล แล้วกระแสแสงทั้งหมดเกิดจากบริเวณปลอดพาหะเท่านั้น ซึ่งแสดงว่าแรงดันทั้งหมดจะตกคร่อมที่บริเวณปลอดพาหะดังแสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 โครงสร้าง MSM ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) มีขนาดเล็กมาก เมื่อให้แรงดันไบอัสแล้วเกิดบริเวณปลอดพาหะเท่านั้น

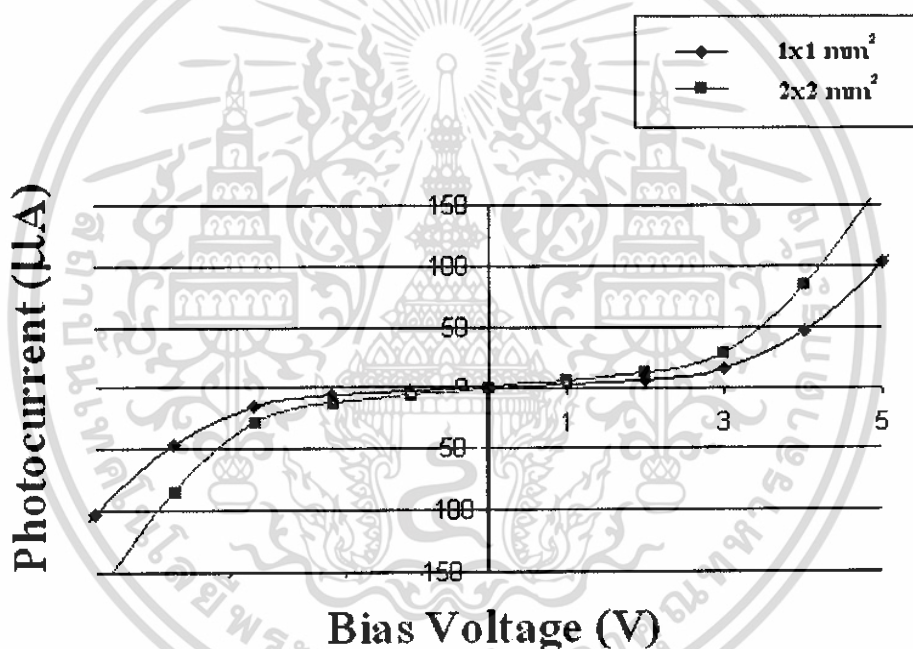
เมื่อแรงดันไบอัสที่ การเพิ่มระยะห่างขั้วไฟฟ้าจนกระทั่งทำให้เกิดเฉพาะส่วนที่เป็นบริเวณนิวทรัลมีความกว้างเพิ่มขึ้น เมื่อแสงตกกระทบลงบนโฟโตไดโอดจะทำให้คู่อิเล็กตรอน-โฮลเกิดขึ้นทั้งในบริเวณปลอดพาหะและบริเวณนิวทรัล สนามไฟฟ้าที่ตกคร่อมในบริเวณปลอดพาหะจะทำให้โฮลเคลื่อนที่ตามทิศของสนามไฟฟ้าเข้าหาขั้วแคโทด ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ตรงข้ามกับทิศของสนามไฟฟ้าเข้าสู่บริเวณนิวทรัล ในบริเวณนิวทรัลโฮลที่เกิดขึ้นบางส่วนจะเคลื่อนที่ด้วยการแพร่เข้าสู่บริเวณปลอดพาหะและถูกสนามไฟฟ้าเร่งให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทด โฮลส่วนที่เหลือจะเกิดการรวมตัวกับอิเล็กตรอนในบริเวณนิวทรัล เนื่องจากแผ่นสลิคฐานรองเป็นซิลิคอนชนิดเอ็น อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับอะตอมสารเจือที่อยู่ในซิลิคอนจึงการเคลื่อนที่แบบแพร่ของอิเล็กตรอนจึงเกิดขึ้นได้น้อย โดยอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะรวมตัวกับโฮลในที่สุด จากคำอธิบายข้างต้นจึงสรุปได้ว่ากระแสแสงของโฟโตไดโอด Al/n-Si/Al จึงเป็นกระแสแสงที่เกิดจากโฮลการเพิ่มแรงดันไบอัสจะทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายตัวมากขึ้นกระแสแสงที่ได้จากโฟโตไดโอดจึงมีค่าสูงขึ้น ดังผลการทดลองในรูปที่ 5.11 5.14

เมื่อนำข้อมูลจากลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดันในรูปที่ 5.11-5.14 มาพิจารณาพบว่าความสัมพันธ์เป็นไปตามแนวโน้มเดียวกัน คือ ค่ากระแสแสงมีค่าขึ้นกับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าและค่ากระแสแสงจะสูงขึ้นตามแรงดันไบอัส ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายตัวของบริเวณปลอดพาหะเมื่อเพิ่มแรงดันไบอัส

จากผลการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า ทำให้ได้ข้อสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของโครงสร้าง MSM ที่มีขนาดกว้างเกินกว่าความกว้างของบริเวณปลดพาหะ ไม่มีผลทำให้ค่ากระแสแสงของโฟโตไดโอดชนิด Al/n-Si/Al มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากกระแสแสงจะเกิดบริเวณปลดพาหะ ขยายตัวจากด้านแคโทดไปถึงด้านแอนโนดได้ และไม่มีบริเวณนิวทรัล

5.3.2 ผลของขนาดของขั้วไฟฟ้า ต่อลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน

จากผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของขั้วไฟฟ้าที่มีขนาด $1 \times 1 \text{ mm}^2$ และ $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ที่แรงดันไบอัสคง ระยะห่างขั้วไฟฟ้าของไดโอดและความเข้มแสงคงที่ค่าหนึ่งดังแสดงในรูป 5.12



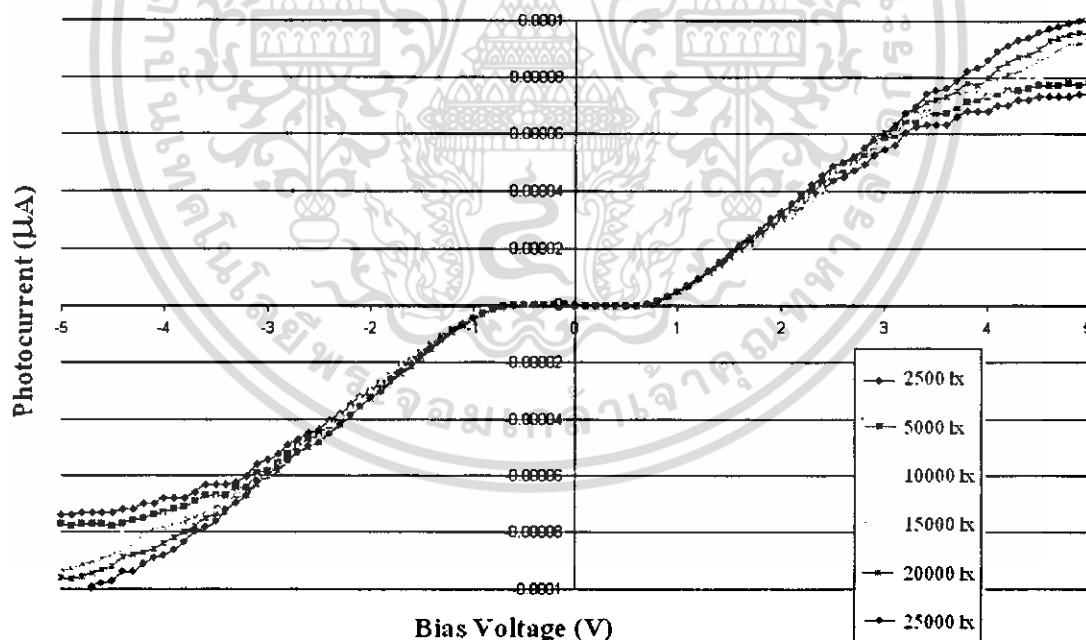
รูปที่ 5.16 ลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของขั้วไฟฟ้าที่มีขนาด $1 \times 1 \text{ mm}^2$ และ $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า $5 \text{ }\mu\text{m}$ ความเข้มแสง 20000 lux

จากรูปที่ 5.16 ซึ่งเป็นผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของขั้วไฟฟ้า ที่แรงดันไบอัสคงที่ค่าหนึ่ง พบว่าโฟโตไดโอดที่มีขนาดของขั้วไฟฟ้า $1 \times 1 \text{ mm}^2$ ให้กระแสแสงต่ำกว่าขนาดของขั้วไฟฟ้า $2 \times 2 \text{ mm}^2$ เนื่องจากการเพิ่มขนาดของขั้วไฟฟ้าเป็นการเพิ่มพื้นที่รับแสงให้มีค่ามากขึ้น ดังนั้นบริเวณปลดพาหะซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดกระแสแสงของโฟโตไดโอดมีพื้นที่เพิ่มมากขึ้น กระแสแสงของโฟโตไดโอดจึงมีค่าสูงขึ้น

จากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงขนาดของขั้วไฟฟ้า ได้ข้อสรุปว่าการเพิ่มขนาดของขั้วไฟฟ้าทำให้กระแสแสงของโฟโตไดโอดเพิ่มขึ้น

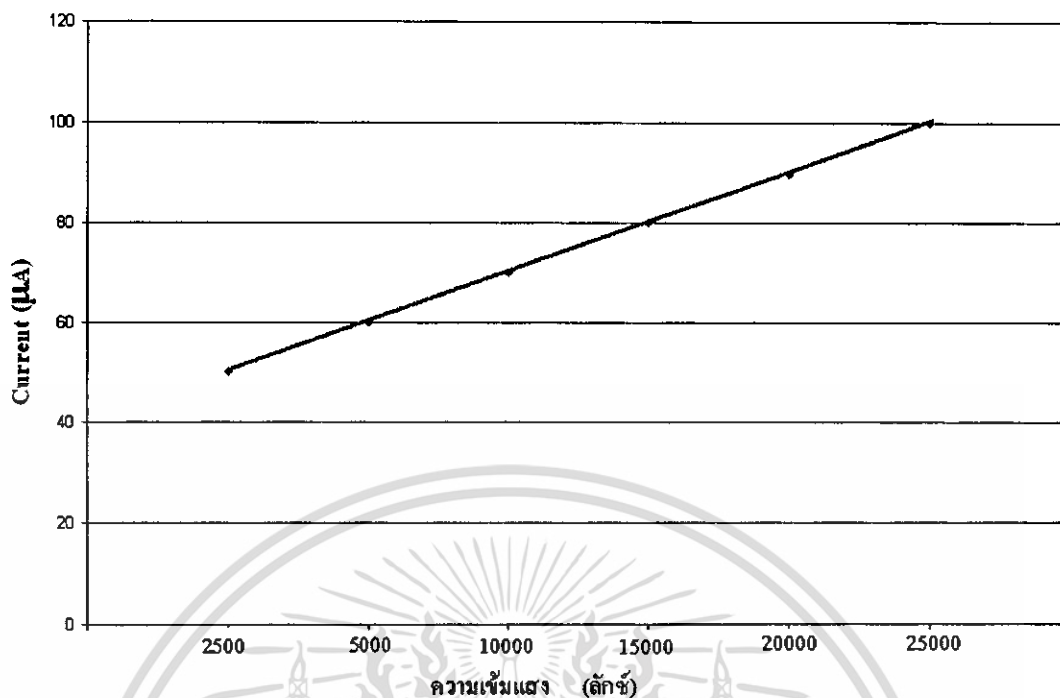
5.3.3 ผลของความเข้มแสงต่อลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน

ลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในรูปที่ 5.14 ที่แรงดันไบอัสคงที่ค่าหนึ่ง ความเข้มแสงตกกระทบบน 2500 ลักซ์ให้กระแสแสงน้อยที่สุด เมื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ตกกระทบบนโฟโตไดโอดเป็น 5000, 10000, 15000, 20000 และ 25000 ลักซ์ ทำให้โฟโตไดโอดมีกระแสแสงสูงมากขึ้น โดยที่แรงดันไบอัสคงที่ กระแสแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับ การที่กระแสแสงของโฟโตไดโอดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มแสง เพราะปริมาณโฟตอนที่ตกกระทบบนโฟโตไดโอดมีมากขึ้น ความเข้มแสงหมายถึงความหนาแน่นของโฟตอนที่ตกกระทบบนพื้นผิวต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เมื่อปริมาณโฟตอนที่ตกกระทบบนมีมากขึ้น ดังแสดงได้จากรูปที่ 5.21 ทำให้อัตราการเกิดของคู่อิเล็กตรอน-โฮลเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อปริมาณพาหะทำให้เกิดกระแสมีสูงขึ้นกระแสแสงที่ได้จึงเพิ่มขึ้นความความเข้มแสงที่ตกกระทบบน

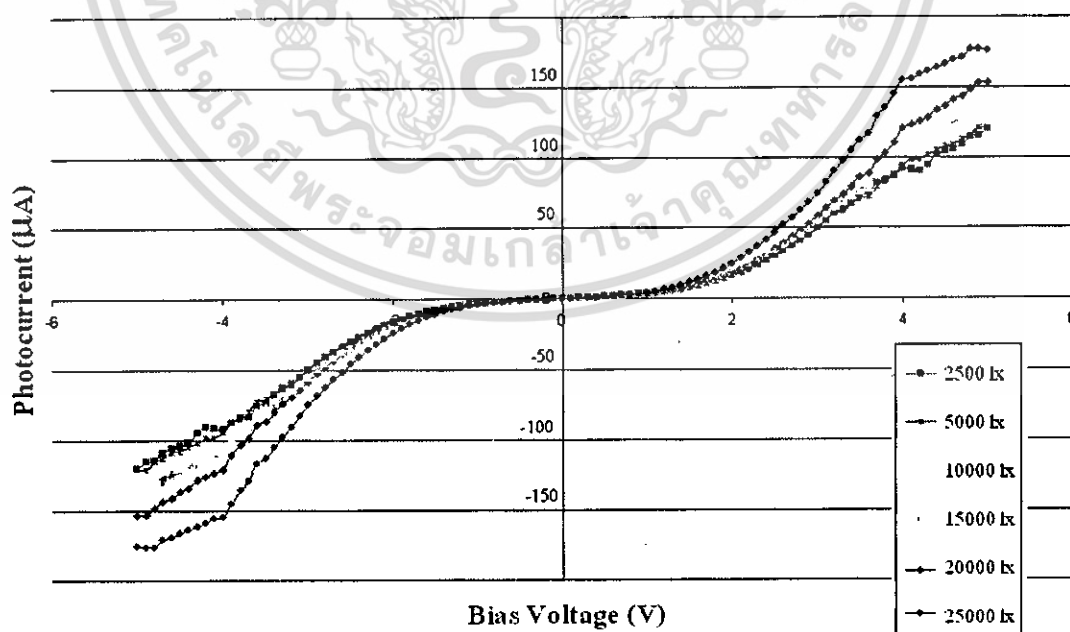


รูปที่ 5.17 ลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง

ในช่วง 2,500 – 25,000 ลักซ์ ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า $5 \mu\text{m}$ ขนาดขั้วไฟฟ้า $1 \times 1 \text{ mm}^2$

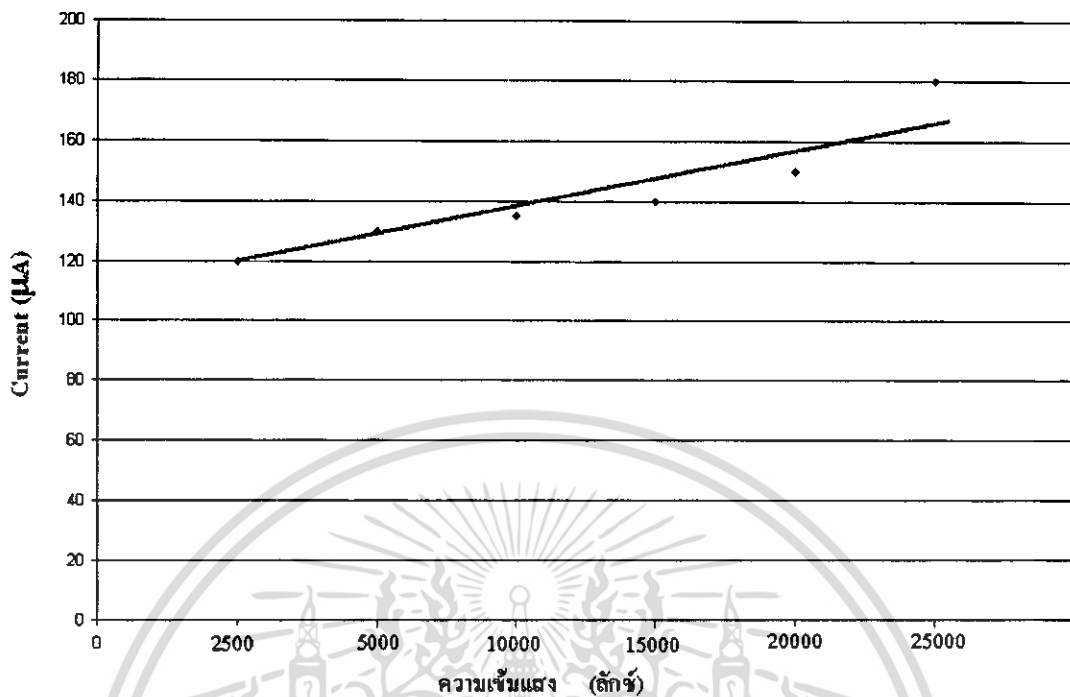


รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสแสงกับความเข้มแสงในช่วง 2,500 – 25,000 ลักซ์ ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 5 μm ขนาดขั้วไฟฟ้า $1 \times 1 \text{ mm}^2$

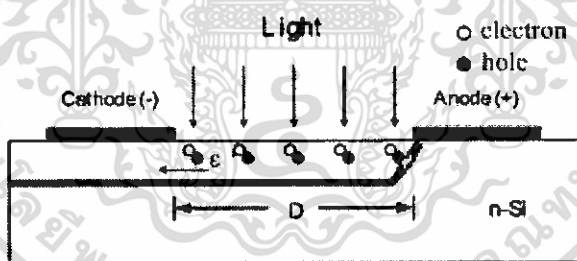


รูปที่ 5.19 ลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ในช่วง 2,500 – 25,000 ลักซ์ ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 5 μm ขนาดขั้วไฟฟ้า $2 \times 2 \text{ mm}^2$

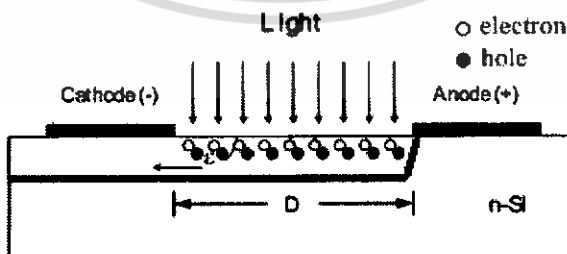
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสแสงกับความเข้มแสง ในช่วง 2,500 – 25,000 ลักซ์ ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 5 µm ขนาดขั้วไฟฟ้า 2x2 mm²



(ก)



(ข)

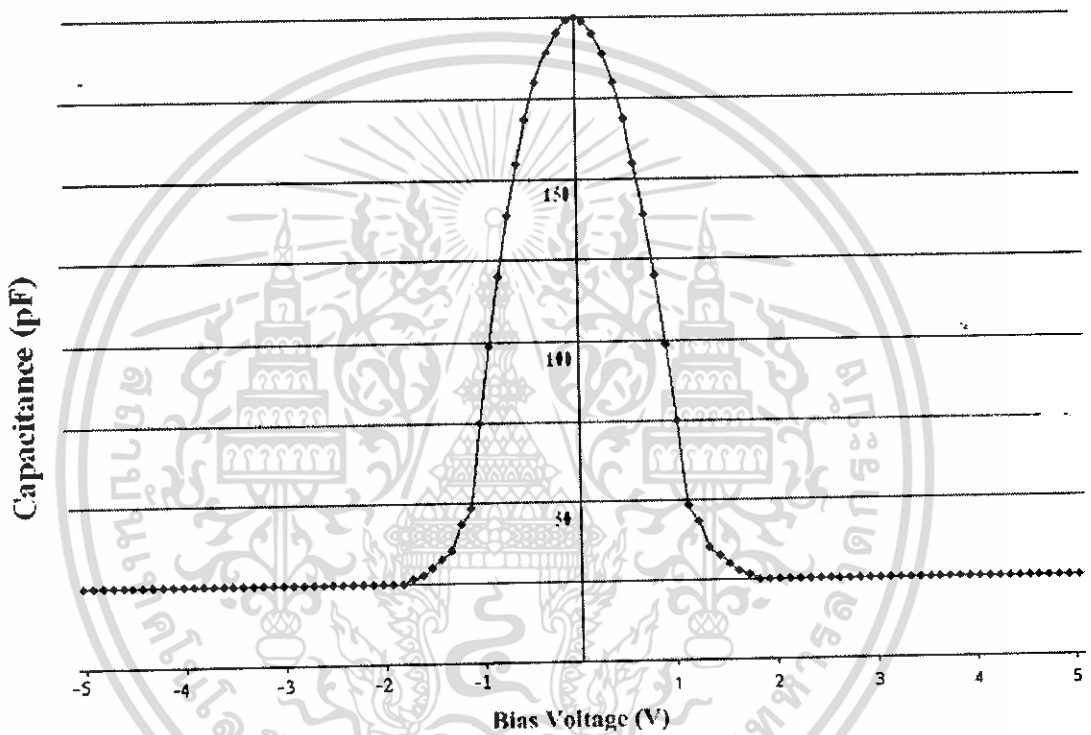
รูปที่ 5.21 การเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล เมื่อได้รับแสงตกกระทบ

(ก) กรณีความเข้มแสงน้อย (ข) กรณีความเข้มแสงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดลองลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันของอุปกรณ์ Al/n-Si/Al

นำเอาอุปกรณ์ Al/n-Si/Al ที่ผ่านการซินเตอร์ริงอุณหภูมิ 480 °C ทำการหาความสัมพันธ์ของความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแรงดันไบอัส ขณะที่ไม่มีแสงตกกระทบตัวอุปกรณ์ ดังการทดลอง ซึ่งลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 4.7 โดยโครงสร้าง MSM พิจารณาได้ว่าประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุที่บริเวณรอยสัมผัสทั้งสองต่ออนุกรมกัน
ที่ขนาดขั้วไฟฟ้า 2x2 mm² ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 10 μm



รูปที่ 5.22 ลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันของ Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแรงดันไบอัสค่าต่างๆ

จะเห็นได้จากกราฟจะได้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 25 pF ที่ไบอัส 1.5 โวลต์ และความจุไฟฟ้ามักจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มไบอัสเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากบริเวณปลอดพาหะขยายจนเต็มระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า

บทที่ 6

สรุป

โครงการนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและกระบวนการสร้าง โครงสร้าง MSM แบบสลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิด Al/n-Si/Al ซึ่งโลหะอลูมิเนียมและสารกึ่งตัวนำซิลิคอนที่เลือกใช้ในโครงการนี้เป็นวัสดุที่หาง่าย กระบวนการสร้างไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถสร้างเป็นวงจรรวมด้วยเทคโนโลยีซิลิคอนที่มีความแพร่หลายอย่างมากได้ ซึ่งตัวตรวจวัดแสงที่ได้รับความนิยมอย่างมากตัวหนึ่ง และคาดว่าจะมีประโยชน์อย่างมากในอนาคตอันใกล้ เพราะมีจุดเด่นที่สำคัญหลายประการ เช่น มีค่าความจุไฟฟ้าต่ำทำให้มีการตอบสนองสัญญาณที่ความถี่สูง หรือ มีโครงสร้างที่สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย

ในโครงการนี้จึงได้ศึกษาโครงสร้าง MSM แบบสลิตเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิด Al/n-Si/Al ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) มีขนาดค่า 2 μm , 3 μm , 5 μm , 7 μm , 10 μm , 20 μm และขนาดขั้วไฟฟ้า 1x1 mm² และ 2 x 2 mm² โดยศึกษาการทดลองลักษณะสมบัติค่าแอมพลิจูดสัญญาณ การทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดขณะไม่ได้รับแสงกระทบและการทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดในสัญญาณแสงกระแสตรง

จากการทดสอบลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด ขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ พบว่าที่โครงสร้างแบบสลิตเดี่ยว ขนาดเล็ก (Short electrode) เมื่อบริเวณปลอดพาหะขยายจนเต็มระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ทำให้เกิดกระแสมืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงมาก การเพิ่มของกระแสมืด (I_{dark}) ของโฟโตไดโอด เป็นแบบปรากฏการณ์พหุคูณ และที่โครงสร้างแบบสลิตเดี่ยวขนาดใหญ่ (Wide electrode) เมื่อบริเวณปลอดพาหะขยายไม่เต็มระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (D) จะพบว่ามีบริเวณนิวทรัล กระแสมืดของโฟโตไดโอดจะขึ้นกับขนาดของบริเวณปลอดพาหะ และเมื่อบริเวณปลอดพาหะมีค่าขนาดเท่ากัน ดังนั้นกระแสมืดจะมีค่าคงที่ ส่วนการเพิ่มขนาดขั้วไฟฟ้าทำให้บริเวณปลอดพาหะมีขนาดใหญ่มากขึ้น ดังนั้นทำให้เกิดกระแสมืดมากขึ้น

จากผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดในสัญญาณแสงกระแสตรง การเพิ่มระยะห่างขั้วไฟฟ้าของโฟโตไดโอด พบว่าที่โครงสร้างแบบสลิตเดี่ยว ขนาดเล็ก (Short electrode) เมื่อบริเวณปลอดพาหะขยายจนเต็มระยะห่างขั้วไฟฟ้า (D) ทำให้เกิดกระแสเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่รับแสงมีค่าเพิ่มมากขึ้น และที่โครงสร้างแบบสลิตเดี่ยว ขนาดใหญ่ (Wide electrode) เมื่อบริเวณปลอดพาหะขยายไม่เต็มระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (D) จะพบว่ามีบริเวณนิวทรัล กระแสแสงของโฟโตไดโอดจะขึ้นกับขนาดของบริเวณปลอดพาหะ และเมื่อบริเวณปลอดพาหะมีค่าขนาดเท่ากัน ดังนั้นกระแสจะมีค่าคงที่

กระแสแสงของโฟโตไดโอดมีการเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขนาดของขั้วไฟฟ้าเป็นการเพิ่มพื้นที่รับแสงให้มีความมากขึ้น ดังนั้นขนาดบริเวณปลอดพาหะซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดกระแสแสงของโฟโตไดโอดมีพื้นที่เพิ่มมากขึ้น กระแสแสงของโฟโตไดโอดจึงมีค่าสูงขึ้น ส่วนการเพิ่มขนาดขั้วไฟฟ้าของโฟโตไดโอด พบว่ากระแสแสงของโฟโตไดโอดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่รับแสงให้มีความมากขึ้น ดังนั้นขนาดบริเวณปลอดพาหะมากขึ้น ส่งผลให้มีบริเวณรับแสงมากขึ้น ดังนั้นกระแสแสงเพิ่มขึ้นเช่นกัน

การเพิ่มความเข้มแสงที่ตกกระทบบนโฟโตไดโอด ทำให้โฟโตไดโอดมีกระแสแสงสูงมากขึ้น โดยการที่กระแสแสงของโฟโตไดโอดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มแสง เนื่องมาจากปริมาณโฟตอนที่ตกกระทบบนโฟโตไดโอดมีมากขึ้น (ความเข้มแสงหมายถึงความหนาแน่นของโฟตอนที่ตกกระทบบนพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่)



บรรณานุกรม

สมเกียรติ สุภเดช. **เซมิคอนดักเตอร์ดีไวซ์**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.

สมเกียรติ สุภเดช. **เซมิคอนดักเตอร์ฟิสิกส์**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.

ธนศ โษะเหม. “การออกแบบและการสร้างตัวตรวจวัดแสงชนิด Al/n-Si/Al แบบพลาแนร์” วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM แบบสลิคเดี่ยวที่มี ระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิด Al/n-Si/Al

นกคต อัญชัญศรีชาติ

ปิยะนันท์ บุญทวี

ศศ.ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ในปฏิญานิพนธ์นี้ จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM สลิคเดี่ยวที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิด Al/n-Si/Al ที่มีสารกึ่งตัวนำคือซิลิกอนและโลหะที่ใช้เป็นอลูมิเนียม โดยอลูมิเนียมจะถูกสร้างขึ้นบนแผ่นซิลิกอน โดยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ จากนั้นทำการปรับปรุงลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าด้วยการใช้ความร้อน ที่อุณหภูมิซินเดอริงระหว่าง 480°C เป็นเวลานาน 15 นาที ซึ่งจะทำให้ความสูงของกำแพงศักย์ที่อดก็มีความเพิ่มขึ้นเป็นผลให้กระแสรั่วไหลที่ได้มีค่าน้อยลง จากนั้นนำอุปกรณ์ Al/n-Si/Al ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้ามีขนาด $2\ \mu\text{m}$, $3\ \mu\text{m}$, $5\ \mu\text{m}$, $7\ \mu\text{m}$, $10\ \mu\text{m}$, $20\ \mu\text{m}$ และมีขนาดขั้วไฟฟ้า $1 \times 1\ \text{mm}^2$ และ $2 \times 2\ \text{mm}^2$ มาศึกษากลไกการเกิดกระแสแสง เมื่ออุปกรณ์ได้รับแรงดันไบแอสทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายตัว เนื่องจากขนาดขั้วไฟฟ้าที่ออกแบบมีขนาดเล็กทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายจนเต็มระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งหมดและสนามไฟฟ้าที่ให้แก่จะตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะทั้งหมด จะเห็นว่าไม่มีบริเวณนิวทรัล อยู่เลยส่งผลให้กระแสแสงทั้งหมดนั้นเกิดมาจาก บริเวณปลอดพาหะ

SHORT ELECTRODE GAP SINGLE SLIT STRUCTURE OF Al/n-Si/Al PHOTODETECTOR

Noppadon Anchansrichart*

Piyanan Boontawee

Asst.Prof. Dr. Surasak Niemcharoen

Education Year 2006

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to present the design and fabrication of short electrode gap of Al/n-Si/Al photodetector. Aluminium film deposited on silicon substrate by vacuum evaporator. The electrical characteristics are improved by the heat treatment process at 480°C for 15 minute. The experimental results reveal that schottky barrier higher than not singtering condition and the dark current is reduced. The Al/n-Si/Al photodetector that have electrode width 2 μm , 3 μm , 5 μm , 7 μm , 10 μm , 20 μm and area of pads is 1x1 mm² and 2 x 2 mm² to study generate photocurrent. When device biased the depletion region will be spreading because design of electrode gap is very small. The depletion region spread until full electrode gap and applied potential drop all of depletion region. The applied potential don't drop in neutral region as a result of all photocurrent is generated in depletion region.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์
ผศ.ดร. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ ที่ให้คำปรึกษา วางแนวทาง ตลอดจนชี้แนะและความช่วยเหลือทุกด้าน
ในงานวิจัยนี้บรรลุปเป้าหมาย

ขอขอบคุณ คุณสุรชาติ เมืองอ่ำ คุณวรเทพ น้อยปรีชา ที่ให้ความรู้ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆ
ในกระบวนการสร้างและการวัดผลการทดลอง ตลอดจนความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

สำหรับคุณประโยชน์ที่เกิดวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบให้แก่อาจารย์ที่เคารพทุกท่านและ
ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ซึ่งเป็นสถานที่ที่ให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำวิจัย



นภดล

(นาย นภดล อัญชัยศรีชาติ)

ปิยะเพ็ญ

(นางสาว ปิยะนันท์ บุญทวี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้