สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจจับแสงแบบ Al/n-Si/Al

STUDY ON FABRICATION OF Al/n-Si/Al PHOTODETECTOR

T050327

วรเทพ น้อยปรีชา

รุจิเรข วัฒนชาลี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50327
วัน,เดือน,ปี 29 เม.ย. 2547

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจจับแสงแบบ Al/n-Si/Al

STUDY ON FABRICATION OF Al/n-Si/Al PHOTODETECTOR

โดย

นายวรเทพ น้อยปรีชา รหัส 43015274

นางสาวรุจิเรข วัฒนชาลี รหัส 43515929



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2545

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจจับแสงแบบ Al/n-Si/Al

Study on Fabrication of Al/n-Si/Al Photodetector

นักศึกษาผู้จัดทำ นายวรเทพ น้อยปรีชา รหัส 43015274

นางสาวรุจิเรข วัฒนชาลี รหัส 43515929

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจจับแสงแบบ Al/n-Si/Al
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายวรเทพ น้อยปรีชา รหัส 43015274
	นางสาวรุจิเรข วัฒนชาลี รหัส 43515929
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
ปีการศึกษา	2545

บทคัดย่อ

จากคุณลักษณะเด่นของตัวตรวจจับแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al ซึ่งสามารถตอบสนองที่ความถี่สูง ๆ ได้เนื่องจากมีความจุไฟฟ้าในโครงสร้างต่ำจึงเป็นอุปกรณ์ที่น่าสนใจทำการศึกษาดังนั้นในปริญญานิพนธ์นี้จึงเป็นการศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจจับแสงแบบ Al/n-Si/Al โดยอะลูมิเนียมจะถูกสร้างบนซิลิคอนชนิดเอ็น ที่อุณหภูมิการซินเตอร์ริงที่ 500 °C ซึ่งในโครงงานนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของโครงสร้างนี้ เมื่อได้รับแสงและไม่ได้รับแสง ซึ่งพิจารณาปริมาณกระแสรั่วไหลและแรงดันพังทะลายทั้งที่ขณะที่ได้รับไบอัสตรงและไบอัสกลับ นอกจากนี้ได้ศึกษาความเข้มแสงที่มีผลต่อกระแสของโฟโตไดโอดต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอดที่มีขนาดต่างกันที่ขั้วโลหะเท่ากันกับพื้นที่รับแสงเท่ากันที่ขั้วโลหะต่างกัน ซึ่งผลที่ได้จะนำมาใช้ในการพิจารณาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดและศึกษาผลของพื้นที่รับแสงต่อกระแสโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Study on Fabrication of Al/n-Si/Al Photodetector
Authors	Mr. Worathep Noipreecha 43015274
	Miss Rujirek Wattanachalee 43515929
Thesis Advisor	Asst.Prof. Surasak Niemcharoen
Year	2002

ABSTRACT

From characteristic of Al/n-Si/Al photodetector. It can be response at high frequency because of low capacitance in structure. So this device was interested to study. So that in this thesis was studied on fabrication of Al/n-Si/Al photodetector. Aluminium was fabricated on n-type silicon at 500°C of sintering temperature. In this project would be study about property of current and voltage of photodiode when light receive and dark for consider in quantity of leakage current and breakdown voltage when forward bias and reverse bias. Further more we studied effect of light intensity in photodiode current per light receive area in different size of photodiode but same size of metal electrode and same size of light receive area but different size of metal electrode.The result will be consider in electrical property and light property of photodiode and study on effective of light receive area per photodiode current.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ ที่ได้กรุณาให้คำชี้แนะแนวทางการทำงานตลอดจนขอบเขตการทำงาน พร้อมทั้งช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหารวมทั้งรายละเอียดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณนายสรายุทธ วิศวแสวงสุข สำหรับความช่วยเหลือและดูแลการทำงานในทุก ๆ เรื่อง ทั้งคำปรึกษา ตลอดจนคำชี้แนะ รวมทั้งรายละเอียดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์ รวมถึงรุ่นพี่และเพื่อน ๆ ทุกคนและทุก ๆ กำลังใจที่ให้กันตลอดมา

ขอบคุณศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่สนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

(นายวรเทพ น้อยปรีชา)

(นางสาวรุจิเรข วัฒนชาลี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูปภาพ.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย.....2

บทที่ 2 ทฤษฎี.....3

2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของแสง.....3

2.2 การดูดกลืนแสงในผลึกซิลิคอน.....3

2.3 รอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ.....4

2.3.1 รอยสัมผัสแบบชอตต์กี.....7

2.3.2 รอยสัมผัสแบบอัลลอย.....8

2.3.3 รอยสัมผัสแบบโอห์มิค.....9

2.4 โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM.....9

2.4.1 สภาวะสมดุลความร้อนของโฟโตไดโอด โครงสร้าง MSM.....10

2.4.2 การให้ไบอัสและการกระจายพลังงานศักย์.....11

2.4.3 การไหลของกระแสโฮลและอิเล็กตรอน.....12

2.4.3.1 การไหลของกระแสอิเล็กตรอน.....12

2.4.3.2 การไหลของกระแสโฮล.....13

2.4.4 กระบวนการดูดกลืนแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM.....15

2.4.4.1 กระบวนการดูดกลืนแสงของบริเวณปลอดประจุพาหะ.....15

2.4.4.2 กระบวนการดูดกลืนแสงของบริเวณที่เป็นกลาง.....15

2.4.4.3 กระบวนการดูดกลืนแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al.....16

บทที่ 3 กระบวนการสร้างและการทดลอง.....17

3.1 การออกแบบและกระบวนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1)...17

เอกสารนี้เป็นกรรมสิทธิ์ของผู้เขียน ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.1 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1).....17

3.1.2 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 2).....20

3.2 กระบวนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al.....21

3.2.1 ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al.....23

3.3 การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al.....27

3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติของกระแส-แรงดัน.....27

3.3.2 การศึกษาคุณสมบัติของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสง.....27

3.3.3 การศึกษาผลของพื้นที่รับแสงต่อกระแสโฟโตของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al.....28

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....29

4.1 ผลการทดลองการศึกษาคุณสมบัติของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่ผ่านการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C.....29

4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1)..35

4.2.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1).....35

4.3 ผลการทดลองการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1).....38

4.3.1 ผลการทดลองความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณลักษณะของกระแส-แรงดัน ของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1)..... 39

4.3.1.1 ผลของกระแสโฟโตต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีขนาดต่างกัน แต่มีขนาดของขั้วโลหะเท่ากัน.....43

4.3.1.2 ผลของกระแสโฟโตต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีพื้นที่เท่ากันแต่มีขนาดของขั้วโลหะไม่เท่ากัน.....44

4.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 2).....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (แบบที่ 1).....47
4.4.2 ผลการทดลองความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณลักษณะของกระแส-แรงดัน ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (แบบที่ 1).....49
4.4.3 ผลการทดลองความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณลักษณะของกระแส-แรงดัน ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (แบบที่ 2) 50
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....54
หนังสืออ้างอิง.....56
ภาคผนวก.....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ขนาดของพื้นที่รับแสงและขนาดพื้นที่ขั้วสัมผัส.....20

4.1 ขนาดของพื้นที่รับแสงและขนาดพื้นที่ขั้วสัมผัส.....30

4.2 กระแสรั่วและแรงดันพังทะลายขณะได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับ ของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al.....36

4.3 พื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A1 ถึง A5 และมีความกว้างของขั้วโลหะเท่ากัน (ความกว้างของขั้วโลหะเท่ากับ 2000 μm).....43

4.4 ขนาดของพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีพื้นที่เท่ากัน แต่มีความกว้างของขั้วโลหะไม่เท่ากัน.....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

1.1 โครงสร้างของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al.....1

2.1 ลักษณะกราฟ E-k ของสารกึ่งตัวนำ (ก) แถบช่องตรง (ข) แถบช่องไม่ตรง.....4

2.2 แถบพลังงานของรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ ชนิดเอ็น กรณี
(ก) เป็นกลางและแยกกันอยู่ (ข) การเชื่อมต่อทางไฟฟ้า
(ค) แยกออกจากกันด้วยช่องว่างแคบ ๆ (ง) รอยสัมผัสที่สมบูรณ์.....5

2.3 กำแพงศักย์ของสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันและฟังก์ชันงานของ
ชนิดเอ็น (ก) $\phi_s < \phi_m$ (ชอตต์กี) (ข) $\phi_s > \phi_m$ (โอห์มิค)
ชนิดพี (ค) $\phi_s > \phi_m$ (ชอตต์กี) (ง) $\phi_s < \phi_m$ (โอห์มิค).....6

2.4 ลักษณะแถบพลังงานเมื่อนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำ
(ก) ก่อนการสัมผัส (ข) หลังการสัมผัส.....7

2.5 การเกิดรอยสัมผัสแบบอัลลอย.....8

2.6 ลักษณะของกระแส-แรงดันของรอยสัมผัสแบบโอห์มิค.....9

2.7 โครงสร้างของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM.....9

2.8 (ก) โครงสร้างของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM
(ข) แถบพลังงานของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM ในสภาวะสมดุลความร้อน.....10

2.9 การกระจายประจุ สนามไฟฟ้า และการกระจายพลังงานศักย์ไฟฟ้า
ของโครงสร้าง MSM เมื่อให้แรงดันไบอัส (ด้วยการไบอัสค่าบวกที่รอยสัมผัสที่ 2).....11

2.10 ลักษณะของแถบพลังงานชอตต์กีไดโอด ขณะที่พลังงานแสงถูกดูดกลืนภายในพื้นที่
ปลอดประจุ.....15

2.11 ลักษณะแถบพลังงานของโฟโตคอนดัคเตอร์ขณะได้รับแรงดันไบอัสพร้อมกับมีแสง
ตกกระทบ.....16

2.12 กลไกการเกิดกระแสแสงเนื่องจากการแพร่ของโฮล.....16

3.1 โครงสร้างของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al.....17

3.2 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al.....17

3.3 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม A1, A2, A3, A4 และ A5.....18

3.4 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม B1, B2 และ B3.....19

3.5 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม C1 และ C2.....20

3.6 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม D1 และ D2.....21

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.7 แผนผังกระบวนการสร้างโฟโตไดโอโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al.....22

3.8 ลำดับขั้นตอนการสร้างโฟโตไดโอโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al.....23

3.9 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al 27

3.10 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสง.....27

4.1 การวัดคุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al.....29

4.2 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบสมมาตร.....29

4.3 ลักษณะพารามิเตอร์ของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al.....30

4.4 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A1 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง).....31

4.5 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A2 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง).....31

4.6 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A3 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง).....32

4.7 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A4 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง).....32

4.8 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A5 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง).....33

4.9 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B1 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง).....33

4.10 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B2 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง).....34

4.11 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B3 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง).....34

4.12 โฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขณะได้รับแรงดันไบอัส.....37

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของพื้นที่ปลอดประจุพาหะกับแรงดันไบอัสกลับ.....38

4.14 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสง.....38

4.15 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A1 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน.....39

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อนุญาตให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ต้องขออนุญาต แต่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.16 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A2 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน....39

4.17 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A3 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน....40

4.18 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A4 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน....40

4.19 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A5 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน....41

4.20 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B1 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน....41

4.21 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B2 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน....42

4.22 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B3 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน....42

4.23 ความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตต่อความเข้มแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีพื้นที่รับแสงต่างกันแต่มีขั้วโลหะเท่ากัน....44

4.24 ความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ของหมายเลข A1 และ B1 (ขณะได้รับแรงดันไบอัสเท่ากับ 1 V)....45

4.25 ความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ของหมายเลข A2 และ B2 (ขณะได้รับแรงดันไบอัสเท่ากับ 1 V)....46

4.26 ความสัมพันธ์ของกระแสต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ของหมายเลข A3 และ B3 (ขณะได้รับแรงดันไบอัสเท่ากับ 1 V)....46

4.27 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม C1 และ C2 (แบบที่ 1)....47

4.28 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ขณะไม่ได้รับแสง)....48

4.29 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ในแบบที่ 1 (ขณะไม่ได้รับแสง)....48

4.30 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสง....49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.31 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข C1 (20 μm ไม่ปิดส่วน Al) เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน.....49

4.32 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข C2 (500 μm ไม่ปิดส่วน Al) เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน.....50

4.33 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม D1 และ D2 (แบบที่ 2).....51

4.34 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข D1 (20 μm ปิดส่วน Al) เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน.....52

4.35 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข D2 (500 μm ปิดส่วน Al) เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน.....52

1-ก กระดาษกราฟที่ใช้เขียนมาส์คต้นแบบ.....57

2-ก มาส์คต้นแบบที่ 1.....57

3-ก มาส์คต้นแบบที่ 2.....58

4-ก กระจกมาส์คที่ 1 และ 2.....58

5-ก ชิ้นงานโฟโตไอโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1).....59

6-ก ชิ้นงานโฟโตไอโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 2).....59

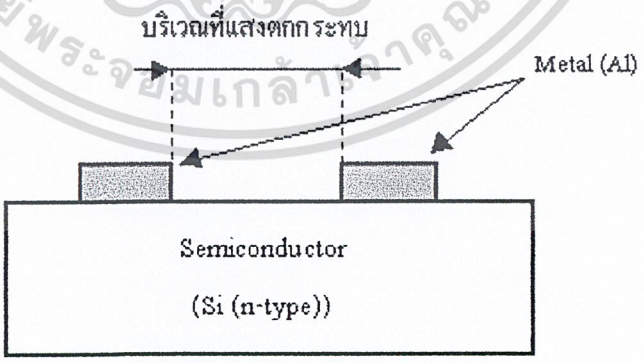
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์ตรวจรับแสงชนิดโฟโตโวลทาอิก ซึ่งมีการประยุกต์ใช้กับวงจรอิเล็คทรอนิกส์มากมาย โดยทำหน้าที่หลักคือ การเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าภายในวงจร สารกึ่งตัวนำที่นำมาสร้างเป็นโฟโตไดโอดจะมีชนิดต่าง ๆ กัน เช่น เจอร์มาเนียม (Ge), ซิลิคอน (Si), แกลเลียมอาเซไนด์ (GaAs) ซึ่งสารกึ่งตัวนำเหล่านี้ก็จะมีคุณสมบัติความไวต่อแสงในย่านความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์โฟโตไดโอดซึ่งก็มีโครงสร้างหลายลักษณะด้วยกัน เช่น พีเอ็นโฟโตไดโอด, พินโฟโตไดโอด, โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM, อะวาลานซ์โฟโตไดโอด ในการเลือกใช้โฟโตไดโอดว่าควรจะเป็นโครงสร้างแบบใดหรือสร้างจากวัสดุชนิดไหนก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่จะนำไปประยุกต์ใช้

ในงานนี้ได้ศึกษาถึงโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al โดยโครงสร้างทั่วไป ประกอบไปด้วยรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำสองรอยสัมผัส ดังรูปที่ 1.1 และแสงที่จะถูกตรวจจะตกกระทบระหว่างรอยสัมผัสระหว่างขั้วโลหะ ข้อดีของโฟโตไดโอดชนิดนี้คือ กระบวนการสร้างของโฟโตไดโอดชนิดนี้จะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการสร้างของโฟโตไดโอดชนิดอื่น ๆ และมีโครงสร้างแบบพลานาร์ (Planar Structure) ทำให้เหมาะสมในการพัฒนาให้เป็นอุปกรณ์ร่วมกับวงจรรวม โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่เป็นซิลิคอน ชนิดเอ็น และโลหะที่เป็นอะลูมิเนียม



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/Si/Al

สารกึ่งตัวนำที่เลือกใช้ ส่วนใหญ่ถ้าเป็นอุปกรณ์ทางแสงจะเป็นแกลเลียมอาเซไนด์ เนื่องจากมีแถบพลังงานแบบช่องตรง (Direct Band Gap) แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ซิลิคอน ถึงแม้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่า...

ซิลิคอนจะมีแถบพลังงานแบบช่องไม่ตรง (Indirect Band Gap) เนื่องจากปัจจุบันซิลิคอนถูกใช้เป็นวัสดุพื้นฐานในการสร้างวงจรรวมและมีราคาถูก สำหรับโลหะสามารถที่จะเลือกใช้ได้หลายอย่างเช่น ทองแดง (Cu), โมลิบดีนัม (Mo) สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้อะลูมิเนียม (Al) เนื่องจากสร้างได้ง่ายโดยใช้เครื่องเคลือบโลหะในสุญญากาศในการสร้าง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายในการสร้างชั้นโลหะ อีกทั้งอะลูมิเนียมยังเป็นวัสดุพื้นฐานในการสร้างวงจรรวมเหมือนกับซิลิคอน

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

วัตถุประสงค์และขอบเขตของงาน มีดังต่อไปนี้

1. ศึกษากระบวนการสร้างและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al
2. ศึกษาคุณสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al
3. ศึกษาการออกแบบโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของแสง

แสงมีคุณสมบัติเป็นทั้งคลื่น (Wave) และ อนุภาค (Particle) ปรากฏการณ์ที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวันเช่น การสะท้อนแสง (Reflection) การแทรกสอด (Interference) และการหักเหแสง (Refraction) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น ส่วนปรากฏการณ์ที่แสดงให้เห็นหรืออธิบายได้ว่าแสงเป็นอนุภาคได้แก่ การส่องแสงเข้าสู่ผิวโลหะแล้วทำให้อิเล็กตรอนกระเด็นหลุดออกสู่สุญญากาศ ซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (External Photoelectric Effect)

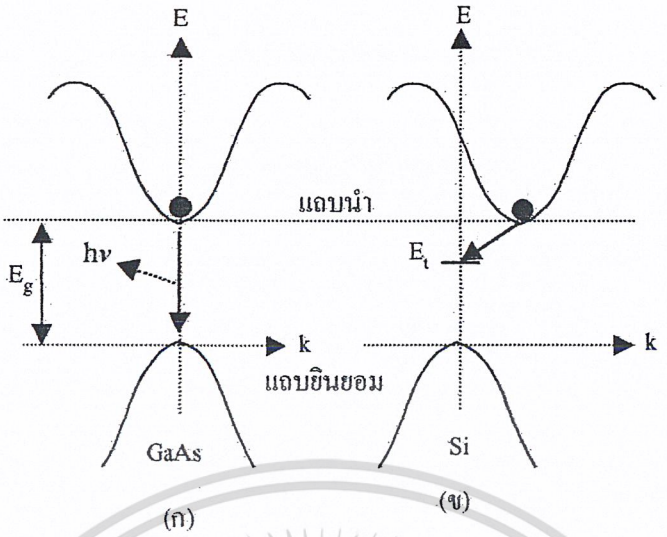
2.2 การดูดกลืนแสงในผลึกซิลิคอน

การดูดกลืนแสงของอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ จนกระทั่งขึ้นไปอยู่ในแถบความนำ พลังงานของโฟตอนของแสงที่มากระตุ้นอิเล็กตรอนจะต้องมีค่ามากกว่าแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำดังสมการที่ (2.1) ซึ่งแถบพลังงานต้องห้ามของซิลิคอนเท่ากับ 1.12 eV

$$h\nu \geq Eg \tag{2.1}$$

การดูดกลืนแสงเกิดจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนจากยอดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ขึ้นไปอยู่จุดต่ำสุดของแถบความนำนั้น การดูดกลืนแสงชนิดนี้จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ เราจะพิจารณาให้แสดงลักษณะของฟังก์ชันเลขคลื่น k (Wave Number) ในกรณีที่ยอดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ตรงกับจุดต่ำสุดของแถบความนำที่ตำแหน่ง k = 0 ดังรูปที่ 2.1 (ก) แถบพลังงานที่มีลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า แถบพลังงานแบบช่องตรง หรือแถบช่องตรง (Direct Band Gap) [8] สารกึ่งตัวที่มีลักษณะแถบพลังงานแบบช่องตรง เช่น แกลเลียมอาเซไนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลักษณะกราฟ E-k ของสารกึ่งตัวนำ (ก) แถบช่องตรง (ข) แถบช่องไม่ตรง

ในกรณีที่จุดยอดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไม่ตรงกับจุดต่ำสุดของแถบความนำ ที่ตำแหน่ง k = 0 ดังรูปที่ 2.1 (ข) แถบพลังงานลักษณะนี้เรียกว่า แถบพลังงานช่องไม่ตรง หรือ แถบช่องไม่ตรง (Indirect Band Gap) และสารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะแถบพลังงานแบบช่องไม่ตรง เช่น ซิลิคอน, เจอร์มาเนียม

เนื่องจากซิลิคอนเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดแถบช่องไม่ตรง ดังนั้นคุณสมบัติทางแสงจึงไม่ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางแสงของแกลเลียมอาเซไนต์ แต่ก็ยังสามารถผลิตซิลิคอนเป็นสิ่งประดิษฐ์ด้านตรวจจับแสง เช่น โฟโตไดโอดและเซลล์แสงอาทิตย์

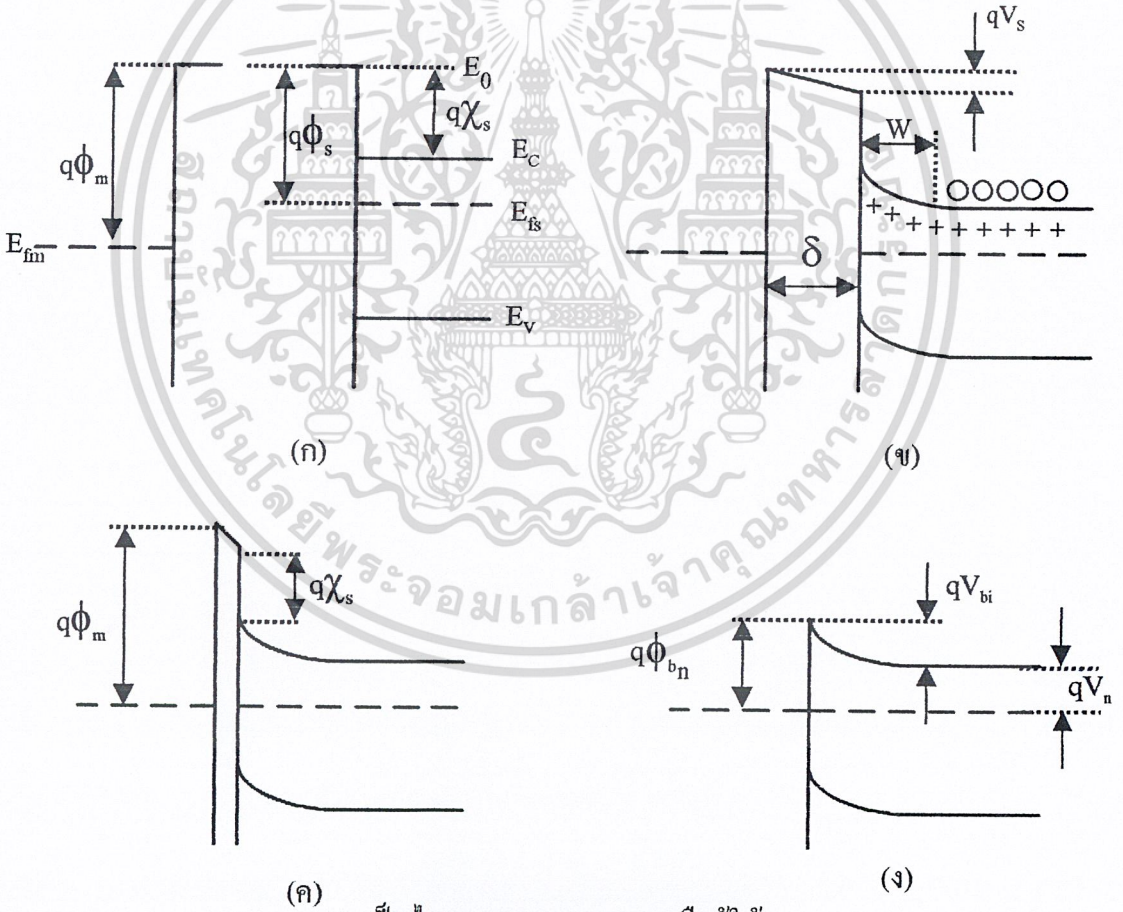
2.3 รอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ

รอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำจะให้คุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าออกมาเป็น 2 กรณีคือ รอยสัมผัสแบบโอห์มิค และรอยสัมผัสแบบชอตต์กี โดยขึ้นอยู่กับฟังก์ชันงานของโลหะ (ϕ_m) ฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ (ϕ_s) และอิเล็กตรอนแอฟฟินิตีของสารกึ่งตัวนำ (χ_s) ที่นำมาสัมผัส สำหรับค่าฟังก์ชันงานสารกึ่งนำที่นำมาสัมผัสมีค่าน้อยกว่าค่าฟังก์ชันงานของโลหะและสมมติให้ไม่มีสถานะพื้นผิวเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.2 (ก) เมื่อนำมาสัมผัสกันอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำจะไปยังโลหะ ระดับเฟอร์มิทั้งสองจะตรงกันดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข) และทำให้เกิดสนามไฟฟ้าบริเวณรอยสัมผัส กรณีของสารกึ่งตัว ชนิดเอ็น ประจุบวกจะเกิดจากอิเล็กตรอนความนำที่หลุดจากพื้นผิวทำให้เกิดไอออนบวกของสารเจือผู้ให้บริเวณปลอดอิเล็กตรอนขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของอะตอมสารเจือผู้ให้มีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในโลหะมาก จึงทำให้เกิดชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารเจือผู้ให้ที่มีความหนา W โดยเทียบเคียงได้กับความกว้างของบริเวณปลอดพาหะของรอยสัมผัสพี-เอ็น แถบพลังงานของสารกึ่งนำจะโค้งงอขึ้นดังรูปที่ 2.2 (ข) ศักย์ไฟฟ้าสถิต V_s (Electrostatic Potential) ระหว่างภายนอกของพื้นผิวของโลหะและสารกึ่งตัวนำหาได้จาก $V_s = \delta\varepsilon_s$ โดยที่ δ เป็นความกว้างภายในช่องว่างระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ และ ε_s เป็นสนามไฟฟ้าภายในช่องว่างระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ ถ้าโลหะและสารกึ่งตัวนำเข้ามาใกล้กันมาก ๆ V_s มีค่าเป็นศูนย์ ถ้า ε_s ยังคงมีปริมาณที่แน่นอน (รูปที่ 2.2 (ค) และในที่สุด (รูปที่ 2.2 (ง)) กำแพงศักย์ที่เกิดขึ้นบริเวณสุญญากาศจะหายไปหลังจากนั้นจะได้รอยสัมผัสในอุดมคติของโลหะและสารกึ่งตัวนำเห็นได้ชัดจากความจริงที่ว่า เมื่อ V_s มีค่าเป็นศูนย์ ความสูงของกำแพงศักย์ ที่สัมพันธ์กับระดับเฟอร์มิหาได้จาก

$$\phi_{bn} = \phi_m - \chi_S \qquad (2.2)$$



\+ เป็นไอออนของอะตอมสารเจือผู้ให้

O เป็นไอออนของอะตอมสารเจือผู้รับ

รูปที่ 2.2 แถบพลังงานของรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ ชนิดเอ็น กรณี

(ก) เป็นกลางและแยกกันอยู่ (ข) การเชื่อมต่อทางไฟฟ้า

(ค) แยกออกจากกันด้วยช่องว่างแคบ ๆ (ง) รอยสัมผัสที่สมบูรณ์

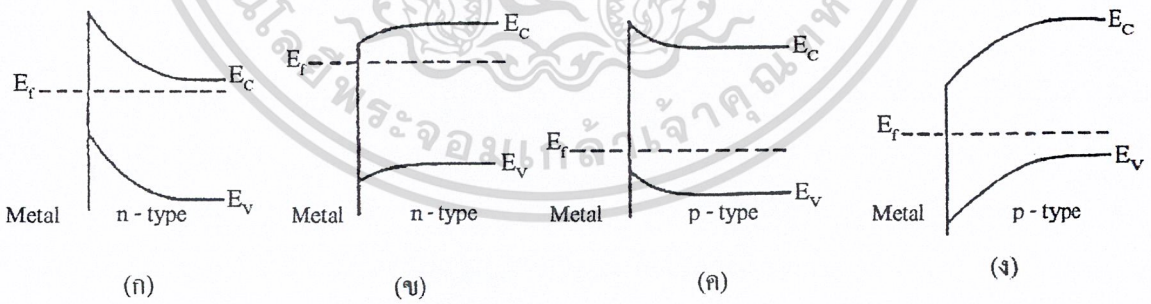
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติ รอยสัมผัสของโลหะและสารกึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 2.2 (ง) จะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากจะเกิดชั้นบาง ๆ ของฉนวนที่เป็นออกไซด์ที่มีความหนาประมาณ 10 – 20 Å เกิดขึ้นบนพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำ รอยสัมผัสในทางปฏิบัติมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 2.2 (ค) อย่างไรก็ตามกำแพงศักย์ที่เกิดขึ้นจากชั้นออกไซด์จะมีความหนาน้อยมากจนทำให้อิเล็กตรอนสามารถผ่านทะลุไปได้โดยง่าย ดังนั้นจึงไม่ทำให้เกิดความแตกต่างเกี่ยวกับอิเล็กตรอนความนำระหว่างรูปที่ 2.2 (ค) กับรูปที่ 2.2 (ง) นอกจากนี้ศักย์ตกคร่อม V_s ในฟิล์มออกไซด์มีค่าน้อยมากซึ่งสมการที่ (2.2) ยังคงเป็นสมการที่ดีในการประมาณค่า

จากข้างต้นเป็นสารกึ่งตัวนำ ชนิดเอ็น ที่มีฟังก์ชันงาน ϕ_s น้อยกว่าฟังก์ชันงานของโลหะ ϕ_m บริเวณรอยสัมผัสจะเกิดกำแพงศักย์ซึ่งเป็นคุณสมบัติของรอยสัมผัสแบบชอตต์กี แต่ในกรณีที่ ϕ_s มีค่ามากกว่า ϕ_m แถบพลังงานมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 (ข) เมื่อทำการไบอัสให้กับรอยสัมผัสเป็นผลให้อิเล็กตรอนไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ บริเวณรอยสัมผัสจะไม่มีกำแพงศักย์เกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มิค

ในสารกึ่งตัวนำชนิดพีซึ่งมี ϕ_m มากกว่า ϕ_s จะได้แถบพลังงานดังรูปที่ 2.3 (ค) ซึ่งเป็นลักษณะของรอยสัมผัสแบบโอห์มิค กรณีที่สารกึ่งตัวนำชนิดพีที่มี ϕ_s มากกว่า ϕ_m มีลักษณะของแถบพลังงานดังรูปที่ 2.3 (ง) ซึ่งเป็นกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดพีโฮลยากที่จะข้ามกำแพงศักย์ไปได้ มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 2.3 (ก) และเป็นลักษณะของรอยสัมผัสที่มีการเรคติไฟร์เกิดขึ้น

จากรูปที่ 2.3 (ข) และ (ค) จะไม่เหมือนรอยสัมผัสในทางปฏิบัติ การรวมตัวของพาหะส่วนมากของโลหะและสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดการเรคติไฟร์ขึ้น หรือ เป็นรอยสัมผัสแบบชอตต์กี



รูปที่ 2.3 กำแพงศักย์ของสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันและฟังก์ชันงานของ

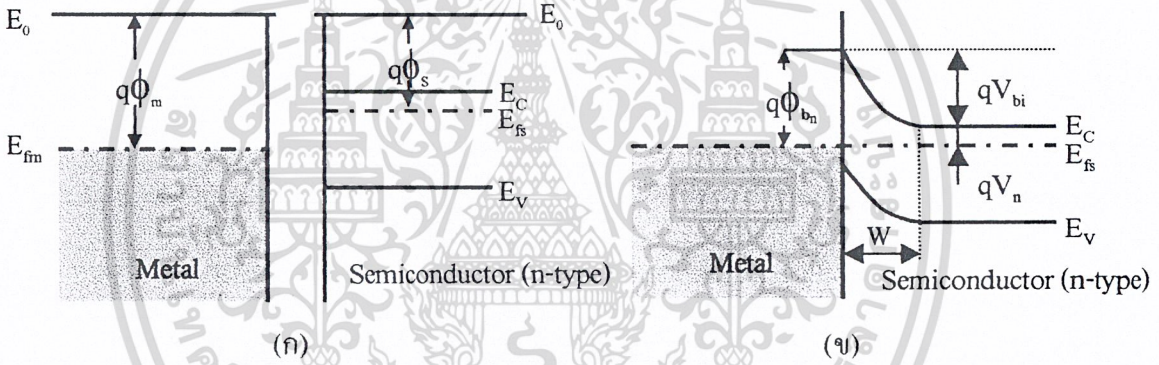
ชนิดเอ็น (ก) $\phi_s < \phi_m$ (ช๊อตต์กี) (ข) $\phi_s > \phi_m$ (โอห์มิค)

ชนิดพี (ค) $\phi_s > \phi_m$ (ช๊อตต์กี) (ง) $\phi_s < \phi_m$ (โอห์มิค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1รอยสัมผัสแบบชอตต์กี

รอยสัมผัสแบบชอตต์กีเกิดจากการนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำ ชนิดเอ็น ซึ่งถ้าค่าฟังก์ชันงานของโลหะ (ϕ_m) มีค่ามากกว่าค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ (ϕ_S) และสมมติให้ไม่มีสถานะพื้นผิว จะพบว่าเมื่อนำมาสัมผัสกันอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่จากสารกึ่งนำผ่านรอยสัมผัสไปยังโลหะ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าบริเวณรอยสัมผัส ซึ่งสนามไฟฟ้านี้ทำให้แถบพลังงานบริเวณรอยสัมผัสเกิดการโค้งงอ โดยที่ขนาดของระดับพลังงานต่ำสุดของแถบความนำในสารกึ่งตัวนำที่โค้งงอขึ้นจนกระทั่งถึงระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะ เรียกว่า ค่าความสูงของกำแพงศักย์ ϕ_{b_n} (Barrier Height) จากรูปที่ 2.4 เป็นลักษณะแถบพลังงานของรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น โดยในด้านของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นบริเวณที่สัมผัสกับโลหะ ทำให้เกิดความกว้างของบริเวณปลอดประจุพาหะขึ้นในระยะ W หรือเกิดศักย์ไฟฟ้าภายใน V_{bi} (Built-in Voltage) ในสภาวะสมดุลความร้อน ค่าความสูงของกำแพงศักย์จะเท่ากับสมการที่ (2.3)



รูปที่ 2.4 ลักษณะแถบพลังงานเมื่อนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำ ชนิดเอ็น
(ก) ก่อนการสัมผัส (ข) หลังการสัมผัส

จากรูปที่ 2.4 ϕ_{b_n} คือ ค่าความสูงของกำแพงศักย์
ϕ_m คือ ฟังก์ชันงานของโลหะ
ϕ_S คือ ฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ
E_0 คือ ระดับพลังงานที่สุญญากาศ
E_{fm} คือ ระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะ
E_{fs} คือ ระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำ
E_C คือ ระดับพลังงานความนำ
E_V คือ ระดับพลังงานวาเลนซ์
V_{bi} คือ ศักย์ไฟฟ้าภายใน
q คือ ค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q\phi_{b_n} = q(V_{bi} + V_n) \quad (2.3)$$

และเมื่อให้แรงดันไบอัส จะมีปริมาณความหนาแน่นกระแสไหลผ่านรอยสัมผัสดังสมการที่ (2.4)

$$J = J_s\left(e^{qV/kT} - 1\right) \quad (2.4)$$

และ
$$J_S = A_n{}^* T^2 e^{\left(\frac{-q\phi_{b_n}}{kT}\right)} \quad (2.5)$$

โดย J คือ ความหนาแน่นกระแสที่ไหลผ่านรอยสัมผัส

J_S คือ ความหนาแน่นกระแสอิ่มตัวของรอยสัมผัส

V คือ แรงดันไบอัสภายนอก

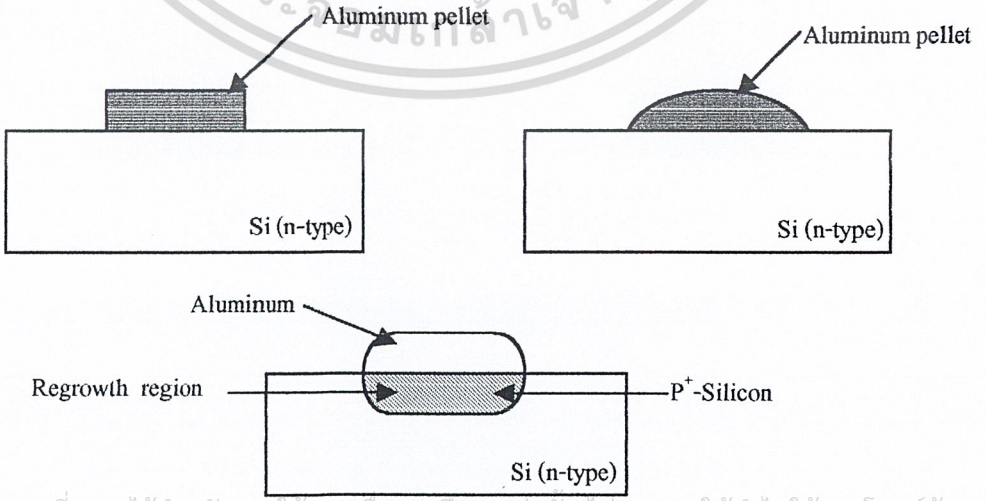
k คือ ค่าคงที่ของโบสถ์มันน์

T คือ อุณหภูมิสมบูรณ์

$A_n{}^*$ คือ ค่าคงที่ริชาร์ดสันของอิเล็กตรอน

2.3.2 รอยสัมผัสแบบอัลลอย

ในกระบวนการสร้างรอยสัมผัสแบบอัลลอย (Alloy Contact) [7] หรือแบบ p^+- n ในกระบวนการสร้างเราจะใช้ฐานรองสารกึ่งตัวนำที่เป็นชนิดเอ็น จากนั้นก็จะสร้างขั้วโลหะ (ที่เป็นสารเจือ) สร้างบนผิวฐานรองโดยตรง แล้วให้ความร้อนจนกระทั่งเกิดปฏิกิริยากระตุ้นให้อะตอมของโลหะ สามารถที่จะแพร่เข้าไปในสารกึ่งตัวนำ



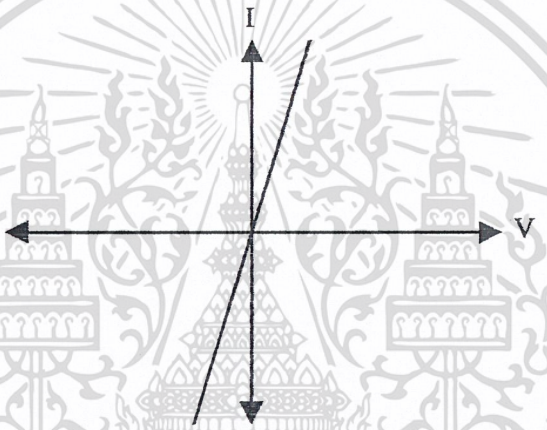
รูปที่ 2.5 การเกิดรอยสัมผัสแบบอัลลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 เราจะพบว่าฐานรองที่ใช้จะเป็นสารกึ่งตัวนำ ชนิดเอ็น และโลหะที่จะนำมาสร้างอาจจะเป็นอะลูมิเนียม (Al) หรืออินเดียม (In) เนื่องจากอะลูมิเนียมหรืออินเดียม เมื่อแพร่เข้าไปในสารกึ่งตัวนำแล้ว ก็จะประพฤติตัวเป็นอะตอมผู้รับ (Acceptor)

2.3.3 รอยสัมผัสแบบโอห์มิค (Ohmic Contact)

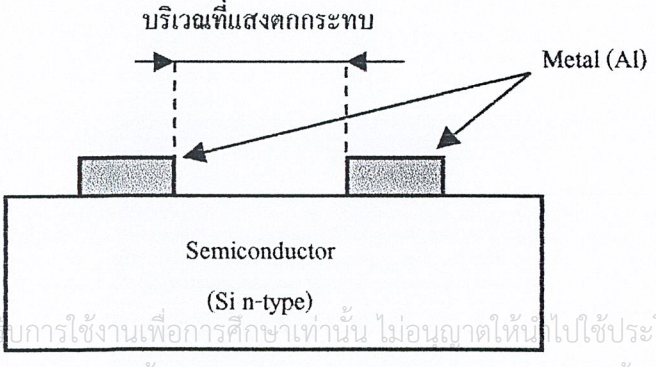
โดยทั่วไปการสร้างรอยสัมผัสโอห์มิคจะเป็นรอยสัมผัสโลหะกับสารกึ่งตัวนำ สร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวผ่านการไหลกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอกนิกส์ออกไปยังวงจรภายนอก สามารถสร้างขึ้นได้โดยการพิจารณาความแตกต่างของฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำและโลหะที่จะนำมาสัมผัสหรือการแพร่สารเจือมาก ๆ เป็นชั้นบาง ๆ ของสารกึ่งนำก่อนทำขั้วสัมผัส หรือการทำลายพื้นผิวสารกึ่งตัวนำก่อนทำขั้วสัมผัส



รูปที่ 2.6 ลักษณะของกระแส-แรงดันของรอยสัมผัสแบบโอห์มิค

2.4 โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM

โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM ประกอบรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำจำนวนสองรอยสัมผัสสองขั้วที่สร้างบนสารกึ่งตัวนำ และแสงที่จะทำการตรวจจับจะถูกกำหนดให้กระทบบริเวณพื้นที่ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ ซึ่งอยู่ระหว่างขั้วโลหะทั้งสอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM

2.4.1 สภาวะสมดุลความร้อนของโฟโตไดโอด โครงสร้าง MSM

โครงสร้างของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM [4] แสดงในรูปที่ 2.8 (ก) ประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำที่มีการแพร่สารเจือ ชนิดเอ็น อย่างสม่ำเสมอและขั้วโลหะสองขั้ว โดยลักษณะของแถบพลังงานของโฟโตไดโอดในสภาวะสมดุลความร้อนแสดงในรูปที่ 2.8 (ข) ซึ่งค่า

ϕ_{n1} คือ ความสูงของกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนของรอยสัมผัสที่ 1

ϕ_{n2} คือ ความสูงของกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนของรอยสัมผัสที่ 2

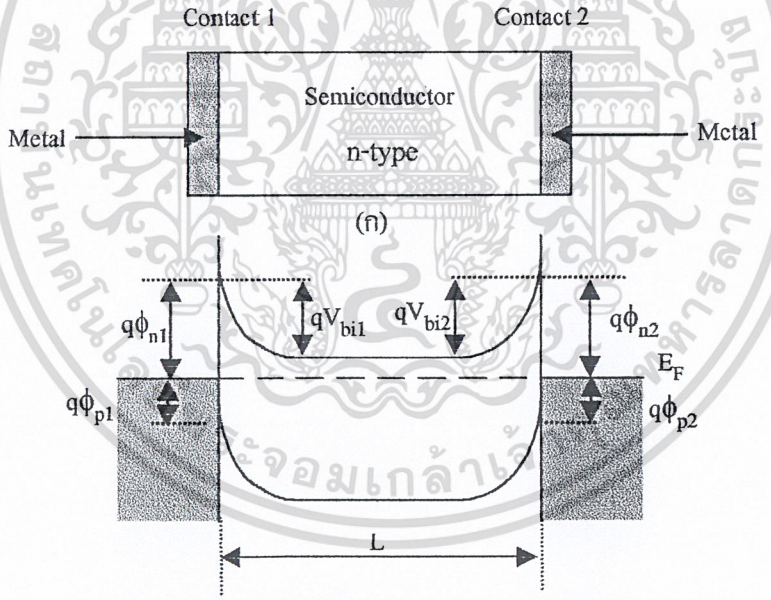
ϕ_{p1} คือ ความสูงของกำแพงศักย์ของโฮลของรอยสัมผัสที่ 1

ϕ_{p2} คือ ความสูงของกำแพงศักย์ของโฮลของรอยสัมผัสที่ 2

V_{bi1} คือ ศักย์ไฟฟ้าภายในของรอยสัมผัสที่ 1

V_{bi2} คือ ศักย์ไฟฟ้าภายในของรอยสัมผัสที่ 2

L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วสัมผัส



รูปที่ 2.8 (ก) โครงสร้างของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM

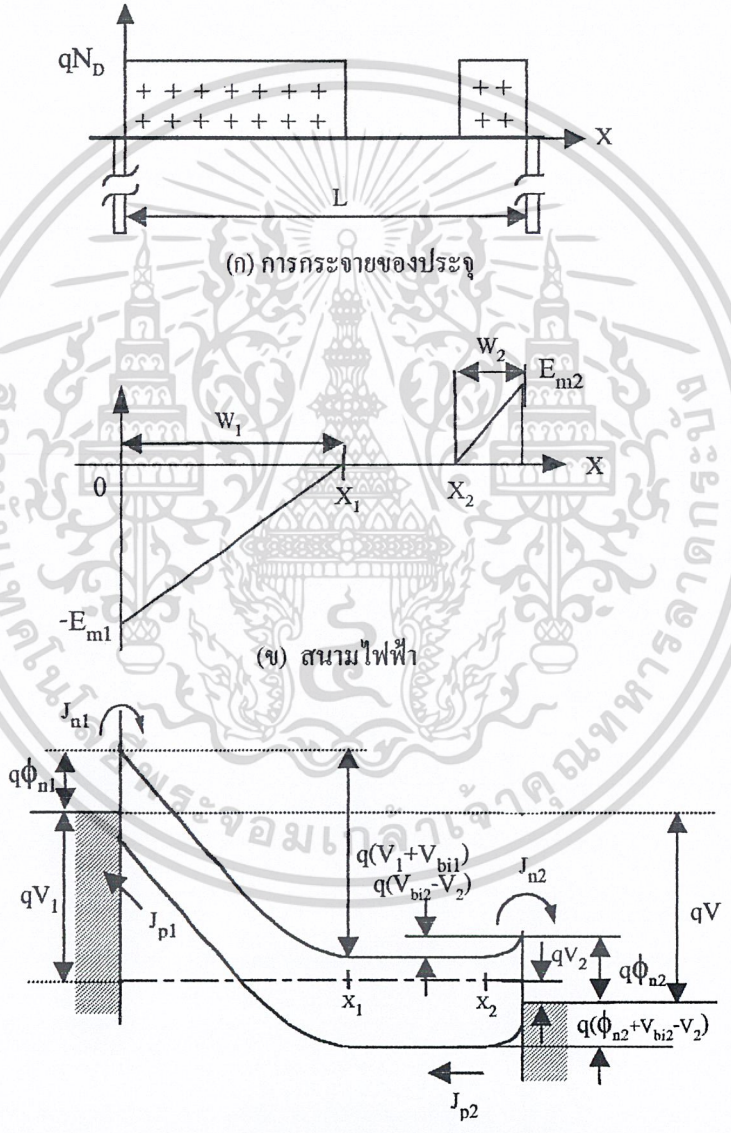
(ข) แถบพลังงานของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM ในสภาวะสมดุลความร้อน

ถ้าพื้นที่ของทั้งสองรอยสัมผัสมีค่าเท่ากันและค่าความสูงกำแพงศักย์ $\phi_{n1} = \phi_{n2}$ เท่ากัน กล่าวได้ว่าโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM แบบสมมาตร (Symmetrical MSM Structure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การให้ไบอัสและการกระจายพลังงานศักย์

เมื่อมีการไบอัสให้กับโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM โดยไฟลบจะต่อเข้ากับขั้วโลหะที่ 1 และขั้วบวกต่อเข้ากับรอยสัมผัสที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.9 รอยสัมผัสที่ 1 เป็นแบบไบอัสกลับและรอยสัมผัสที่ 2 เป็นแบบไบอัสตรง จากทฤษฎีเทอร์มิโอนิค อิมิสชัน (Thermionic Emission) ดังนั้นกระแสอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมาจากรอยสัมผัสที่ 1 กระแสโฮลจะเกิดจากการแพร่จากรอยสัมผัสที่ 2 ไปยังรอยสัมผัสที่ 1 ดังนั้นความต่อเนื่องของกระแส (Current Continuity) จะเป็นเงื่อนไขที่ทำให้กระแสอิเล็กตรอนที่ไหลข้ามกำแพงศักย์ของรอยสัมผัสทั้งสองต้องมีขนาดเท่ากัน



(ค) การกระจายพลังงานศักย์ไฟฟ้า

รูปที่ 2.9 การกระจายประจุ สนามไฟฟ้า และการกระจายพลังงานศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้าง MSM ภายให้การให้แรงดันไบอัส (ด้วยการไบอัสค่าบวกที่รอยสัมผัสที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การไหลของกระแสโฮลและอิเล็กตรอน

2.4.3.1 การไหลของกระแสอิเล็กตรอน

แรงดันไบอัสเริ่มต้น คือ แรงดันไบอัสที่ทำให้ผลรวมของบริเวณปลอดพาหะ W_1 และ W_2 มีความยาวน้อยกว่าระยะ L การกระจายของประจุพาหะของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM แสดงในรูปที่ 2.9 (ก) โดยประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นกับที่มีความหนาแน่นของอะตอมสารเจือผู้ให้ ที่สอดคล้องกับสนามไฟฟ้าและการกระจายของศักย์ไฟฟ้าจะแสดงดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ข) และ 2.9 (ค) โดยสนามไฟฟ้าและการกระจายของศักย์ไฟฟ้า ซึ่งได้จากการอินทิเกรทชันของสมการพัวซองซ์ (Poisson Equation) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ข) และ 2.9 (ค) ตามลำดับ เมื่อเราให้แรงดันไบอัส V โดยแรงดันที่จะตกคร่อมอยู่ที่รอยสัมผัสทั้ง 2 ด้าน จะได้

$$V = V_1 + V_2 \tag{2.6}$$

โดยที่ V คือ แรงดันไบอัสภายนอก

V_1 คือ แรงดันตกคร่อมรอยสัมผัสที่ 1

V_2 คือ แรงดันตกคร่อมรอยสัมผัสที่ 2

จากกระแสต่อเนื่องได้รับ (อ้างอิงจากรูปที่ 2.9 (ค)) จะได้ว่า (สมมติให้พื้นที่ของรอยสัมผัสทั้งสองเท่ากัน)

$$J_{n1} = J_{n2} \tag{2.7}$$

ความหนาแน่นของกระแสขณะไบอัสกลับ J_{n1} ของรอยสัมผัสที่ 1 คือ

$$J_{n1} = A_n^* T^2 e^{-\beta\phi_{n1}} e^{\beta(\Delta\phi_{n1}+\alpha_1 E_{m1})}\left(1-e^{-\beta V_1}\right) \tag{2.8}$$

โดย A_n^* คือ ค่าคงที่ยังผลริชาร์ดสันของอิเล็กตรอน (Effective Richardson Constant of Electron), T คือ อุณหภูมิ, β มีค่าเท่ากับ q/kT, E_{m1} คือ สนามไฟฟ้าสูงสุด ณ จุด x = 0, α_1 คือ สัมประสิทธิ์อินทรินซิค แบร์ลิเออร์ โลเวอริง (Intrinsic Barrier Lowering Coefficient) และ $\Delta\phi_{n1}$ คือ ชอตต์กี แบร์ริเออร์ โลเวอร์ริง (Schottky Barrier Lowering) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\text{โดย } \Delta\phi_{n1} = \sqrt{\left(\frac{qE_{m1}}{4\pi\varepsilon_s}\right)} \tag{2.9a}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{และ} \qquad E_{m1} = \sqrt{\left[\frac{2qN_D}{\varepsilon_s}\left(V_1 + V_{bi1}\right)\right]} \qquad (2.9b)$$

ความหนาแน่นของกระแส J_{n2} ของรอยสัมผัสที่ 2 ขณะได้รับไบอัสตรง คือ

$$J_{n2} = A_n^* T^2 e^{-\beta\phi_{n2}} e^{\beta(\Delta\phi_{n2}+\alpha_2 E_{m2})}\left(e^{\beta V_2} - 1\right) \qquad (2.10)$$

ซึ่งค่า $\Delta\phi_{n2}$ หาได้จากสมการที่ (2.9a) โดนการแทนค่า (V_1+V_{bi1}) ด้วยเทอม $(V_{bi2}-V_2)$

ความสัมพันธ์ระหว่าง V_1 และ V_2 ได้นำสมการที่ (2.9a) และ (2.10) แทนในสมการที่ (2.7) และจัดความสัมพันธ์ในรูปของ V_1 และ V_2 จะได้

$$\left(\Delta\phi_{n1} - \Delta\phi_{n2}\right) + \left(\alpha_1 E_{m1} - \alpha_2 E_{m2}\right) - \left(\phi_{n1} - \phi_{n2}\right) = \frac{1}{\beta}\ln\left[\frac{\left(e^{\beta V_2} - 1\right)}{\left(1 - e^{-\beta V_1}\right)}\right] \qquad (2.11a)$$

สำหรับโครงสร้างของโฟโตไดโอด แบบสมมาตร $\phi_{n1} = \phi_{n2}$, $V_{bi1}=V_{bi2}=V_{bi}$ และสมมติให้ $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ สมการที่ (2.11a) ลดรูปได้เป็น

$$\left(\frac{q^3 N_D}{8\pi^2 \varepsilon_s^3}\right)^{1/4}\left[\left(V_1 + V_{bi}\right)^{1/4} - \left(V_{bi} - V_2\right)^{1/4}\right] = \frac{1}{\beta}\ln\left[\frac{\left(e^{\beta V_2} - 1\right)}{\left(1 - e^{-\beta V_1}\right)}\right] \qquad (2.11\ b)$$

สมการที่ (2.6) และ (2.11a) สามารถหาคำตอบได้จากวิธีการ Numerically หรือ Graphically กระแสอิเล็กตรอนเป็นฟังก์ชันของแรงดัน เนื่องจากรอยสัมผัสที่ 1 เป็นไบอัสกลับ และรอยสัมผัสที่ 2 เป็นไบอัสตรง แรงดันที่ไบอัสส่วนใหญ่แล้วจะตกคร่อมอยู่บริเวณปลอดประจุพาหะของรอยสัมผัสที่ 1

2.4.3.2 การไหลของกระแสโฮล

กระแสโฮลสามารถที่จะไหลในโครงสร้างของโฟโตไดโอดชนิดนี้ได้ เนื่องจากตามทฤษฎีเทอร์มิโอนิค อิมิสชัน (Thermionic Emission) กระแสโฮลจะไหลจากรอยสัมผัสที่ 2 ดังแสดงใน รูปที่ 2.9 (ค) เมื่อให้แรงดันไบอัสเริ่มต้น กำแพงศักย์ยังผล (Effective Barrier) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

โฮลที่รอยสัมผัสที่ 2 มีค่าเท่ากับ (ϕ_{p2}+ V_{bi2} - V_2) โฮลที่เกิดขึ้นที่รอยสัมผัสที่ 2 จะมีการแพร่จากตำแหน่ง x_2 ไปยัง x_1 เกิดเป็นกระแสโฮลนั่นเอง

บริเวณที่เป็นกลาง (Neutral region; ระยะที่ x เท่ากับ $x_1 > x > x_2$) สมการภาวะคงตัวต่อเนื่อง (Steady-State Continuity Equation) คือ

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{p - p_{no}}{D_p \tau_p} = 0 \qquad (2.12)$$

โดย p_{n0} คือ ความหนาแน่นของโฮลในสภาวะสมดุลความร้อน

D_p คือ สัมประสิทธิการแพร่ของโฮล

τ_p คือ ช่วงการมีชีวิตของโฮล (lifetime)

คำตอบของสมการที่ (2.12) คือ

$$p - p_{no} = Ae^{xL_p} + Be^{-xL_p} \qquad (2.13)$$

โดย L_p คือ ค่าคงตัวของการแพร่ซึม [$L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$]

และเงื่อนไขขอบเขต กำหนดให้ (1) ที่ตำแหน่ง $x = x_1$, $p = p_{no} e^{\left(-qV_1/kT\right)}$

(2) ที่ตำแหน่ง $x = x_2$

$$J_{p2} = A_p^* T^2 e^{-\beta\left(\phi_{p2} + V_{bi2} - V_2\right)} \qquad (2.14)$$

โดย A_p^* คือ ค่าคงที่ยังผลริชาร์ดสันของโฮล (Effective Richardson Constant of Hole)

เงื่อนไขขอบเขตจะเป็นตัวกำหนดค่าคงตัว A และ B ในสมการที่ (2.15) ความหนาแน่นกระแส J_{p1} ถูกกำหนดโดย แกรเดียนต์ (Gradient) ที่ตำแหน่ง x_1 และเงื่อนไขที่สภาวะสมดุลความร้อน กระแสโฮล J_{p1} เท่ากับศูนย์ เนื่องจากแรงดันไบอัสเท่ากับศูนย์

$$J_{p1} = qD_p \left.\frac{dp}{dx}\right|_{x1}$$

$$= \frac{qD_p p_{n0} \tanh\left[\left(x_2 - x_1\right)L_p\right]}{L_p}\left(1 - e^{-\beta V_1}\right) + \frac{A_p^* T^2 e^{-\beta\left(\phi_{p1} - V_{bi2}\right)}}{\cosh\left[\left(x_2 - x_1\right)/L_p\right]}\left(e^{\beta V_2} - 1\right) \qquad (2.15)$$

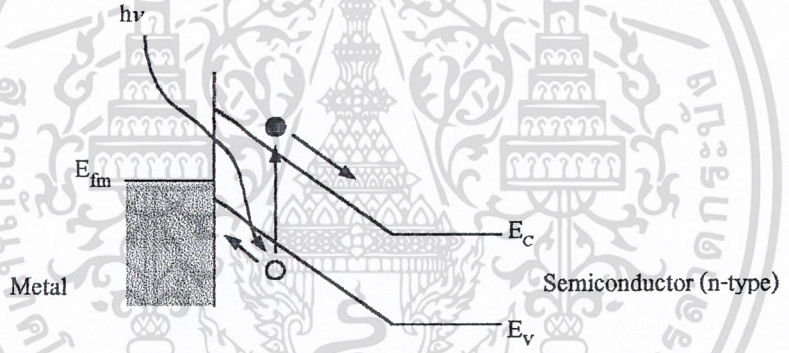
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 กระบวนการดูดกลืนแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM

เมื่อให้แรงดันไบอัสจากรูปที่ 2.9 (ค) พื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง MSM สามารถแบ่งพื้นที่รับแสงเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่ปลอดประจุพาหะและพื้นที่เป็นกลาง ซึ่งพื้นที่ปลอดประจุพาหะจะมีกระบวนการดูดกลืนแสงเหมือนกับการดูดกลืนแสงของชอตต์กีโฟโตไดโอด และส่วนพื้นที่เป็นกลางจะมีกระบวนการดูดกลืนแสงเหมือนกับโฟโตคอนดัคเตอร์

2.4.4.1 กระบวนการดูดกลืนแสงของบริเวณปลอดประจุพาหะ

กระบวนการดูดกลืนแสงของพื้นที่ปลอดประจุพาหะของรอยสัมผัสมีกระบวนการดูดกลืนแสงเหมือนกับกระบวนการดูดกลืนแสงของชอตต์กีโฟโตไดโอด [2] พลังงานแสงจะถูกดูดกลืนในพื้นที่ปลอดประจุพาหะของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น โดยพลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนจะต้องมีค่าพลังงานมากกว่าแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮล (Electron-hole Pair) คู่อิเล็กตรอน-โฮลที่ถูกเกิดภายในพื้นที่ปลอดประจุพาหะจะถูกแยกออกโดยสนามไฟฟ้า

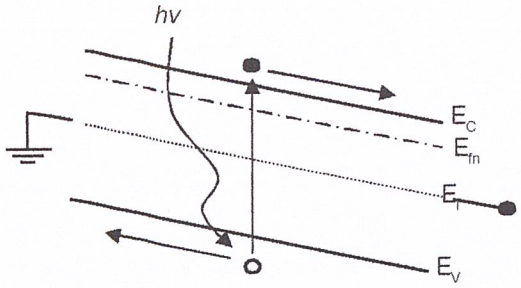


รูปที่ 2.10 ลักษณะของแถบพลังงานชอตต์กีไดโอด ขณะที่พลังงานแสงถูกดูดกลืนภายในพื้นที่ปลอดประจุ

2.4.4.2 กระบวนการดูดกลืนแสงของพื้นที่เป็นกลาง

กระบวนการดูดกลืนแสงของพื้นที่เป็นกลาง จะมีกระบวนการดูดแสงเหมือนกับของโฟโตคอนดัคเตอร์ [9] เมื่อแสงตกกระทบบริเวณสารกึ่งตัวนำที่เป็นกลาง จะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล โดยที่ระดับพลังงานของแสงที่ถูกดูดกลืนจะต้องมีมากกว่าหรือเท่ากับแถบพลังงานต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

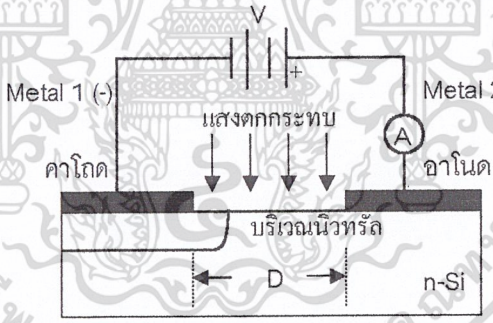
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



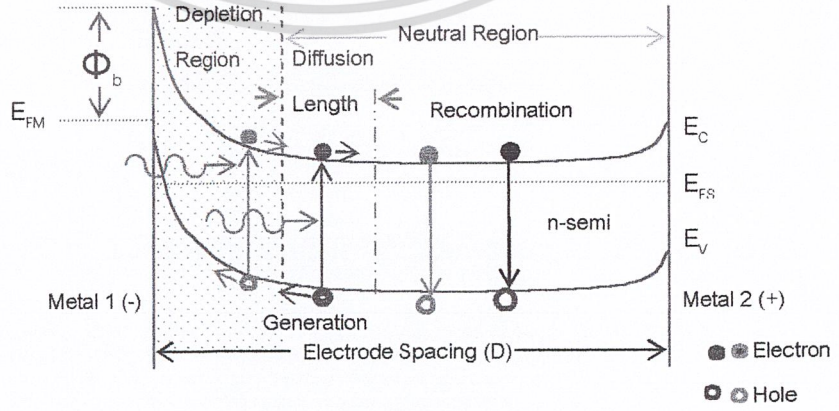
รูปที่ 2.11 ลักษณะแถบพลังงานของโฟโตคอนดัคเตอร์ขณะได้รับแรงดันไบอัสพร้อมกับมีแสงตกกระทบ

2.4.4.3 กระบวนการดูดกลืนแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

เมื่อให้แสงตกกระทบดังรูปที่ 2.12 จะพบว่าแสงตกกระทบในบริเวณปลอดประจุพาหะ(Depletion Region) และบริเวณที่เป็นกลาง (Neutral Region) ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ขึ้นมา อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปทางด้าน Metal 2 (+) เกิดการรวมตัว (Recombination) จนแทบจะไม่มีผลใด ๆ เกิดขึ้น ส่วนโฮลในบริเวณปลอดประจุพาหะถูกผลักออกไปทำให้เกิดกระแสขึ้นมา สามารถแบ่งกระแสได้เป็น 2 ส่วนคือ กระแสโฟโตไดโอดและกระแสโฟโตคอนดัคเตอร์



(ก) ลักษณะของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อมีแสงตกกระทบขณะได้รับแรงดันไบอัส



(ข) ลักษณะแถบพลังงานของการเกิดกระแสแสง

รูปที่ 2.12 กลไกการเกิดกระแสแสง เนื่องจากการแพร่ของพาหะโฮล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3

การออกแบบ กระบวนการสร้างและการทดลอง

3.1 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al

3.1.1 การออกแบบโฟโตไดโอด โครสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1)

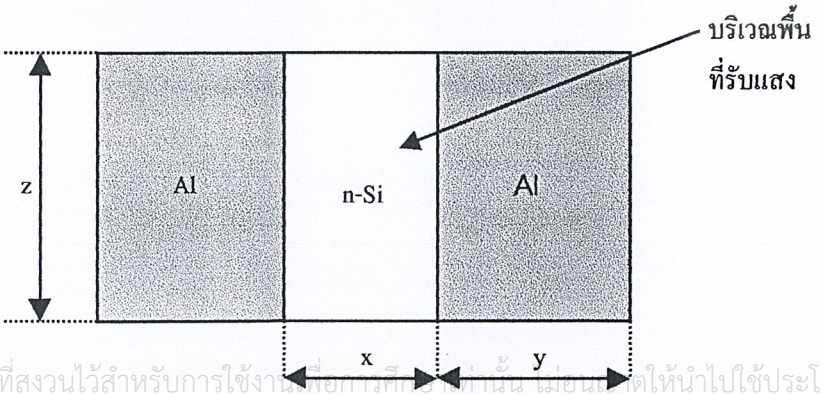
โครงสร้างของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ประกอบไปด้วยรอยสัมผัสระหว่างอะลูมิเนียมและซิลิคอน ชนิดเอ็น ระนาบ <100> ความต้านทาน 25 Ω-cm จำนวน 2 รอยสัมผัส และมีพื้นที่รับแสงอยู่ระหว่างขั้วสัมผัส โดยมีซิลิคอนไดออกไซด์เป็นตัวกำหนดพื้นที่รับแสง บริเวณด้านหลังแผ่นเคลือบอะลูมิเนียมเพื่อสร้างเป็นเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มิค



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al

ในการออกแบบนี้สามารถแบ่งพื้นที่เป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่ขั้วสัมผัสโลหะที่เป็นอะลูมิเนียม และพื้นที่รับแสงที่เป็นซิลิคอน ชนิดเอ็น

การออกแบบบริเวณที่เป็นพื้นที่ของขั้วสัมผัสแต่ละด้านจะถูกกำหนดให้มีพื้นที่ของรอยสัมผัสหนึ่งด้านเท่ากับพื้นที่รอยสัมผัสระหว่างอะลูมิเนียมและซิลิคอน ชนิดเอ็น ซึ่งพื้นที่ที่เป็นขั้วสัมผัสของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al จะมีขนาดเท่ากับพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษากระบวนการสร้างรอยสัมผัส 1 รอยสัมผัสซึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 54×10^{-4} cm^2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al

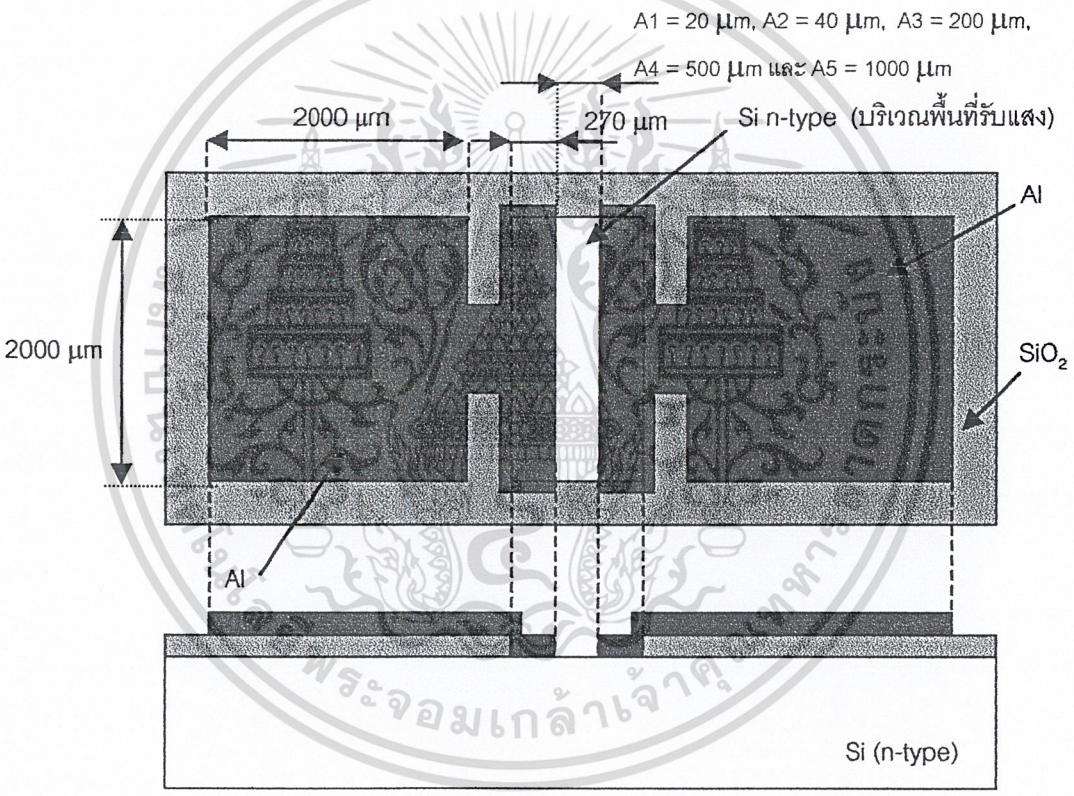
50327

กำหนดให้ x คือ ความยาวของพื้นที่รับแสงหรือระยะห่างระหว่างขั้วสัมผัส

y คือ ความยาวของขั้วสัมผัส

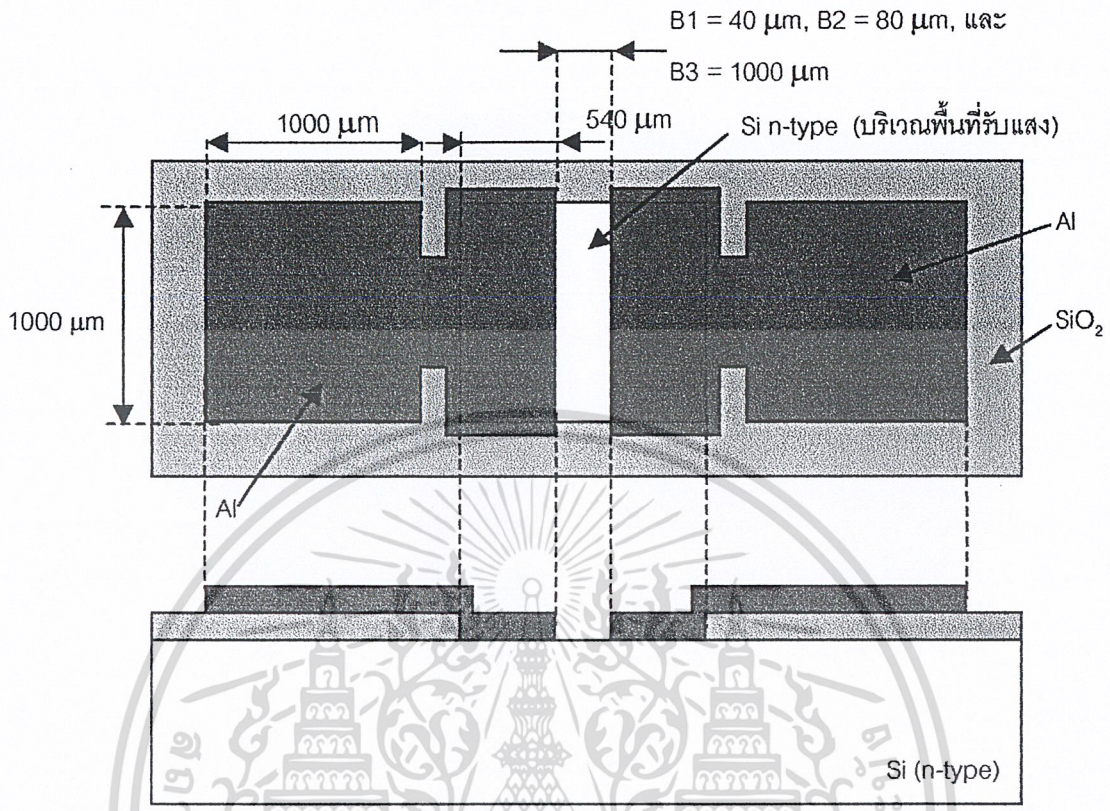
z คือ ความกว้างของพื้นที่รับแสงหรือความกว้างของขั้วสัมผัส

ส่วนความกว้างของพื้นที่รับแสงมีความกว้างเท่ากับ 2000 μm และ 1000 μm ตามลำดับ จากรูปที่ 3.2 คือระยะ z โดยที่ความกว้างของพื้นที่รับแสงที่ความกว้างเท่ากับ 2000 μm จะมีระยะ x หรือระยะห่างระหว่างขั้วสัมผัสเท่ากับ 20 μm, 40 μm, 200 μm, 500 μm และ 1000 μm ดังรูปที่ 3.3 ตามลำดับ และที่ความกว้างของพื้นที่รับแสงเท่ากับ 1000 μm จะมีระยะ x เท่ากับ 40 μm, 80 μm และ 1000 μm ดังรูปที่ 3.4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม A1, A2, A3, A4 และ A5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม B1, B2 และ B3

การกำหนดให้พื้นที่ของรอยสัมผัสทั้งสองด้านเท่ากัน โดยแต่ละด้านมีพื้นที่เท่ากับ 54×10^{-4} cm^{-2} ความกว้างของพื้นที่รับแสง ซึ่งก็คือ ความกว้างด้านหนึ่งของขั้วสัมผัส จากรูปที่ 3.4 คือค่า y โดยที่ ความกว้างของขั้วสัมผัส 2000 μm จะมีความยาวของพื้นที่รับแสง 270 μm และความกว้างของขั้วสัมผัส 1000 μm จะมีความยาวของขั้วสัมผัส 540 μm และได้กำหนดให้ A1, A2 และ A3 มีพื้นที่รับแสงเท่ากันกับ B1, B2 และB3 ตามลำดับ แต่จะมีความกว้างและความยาวของพื้นที่รับแสงแตกต่างกัน ดังตาราง 3.1

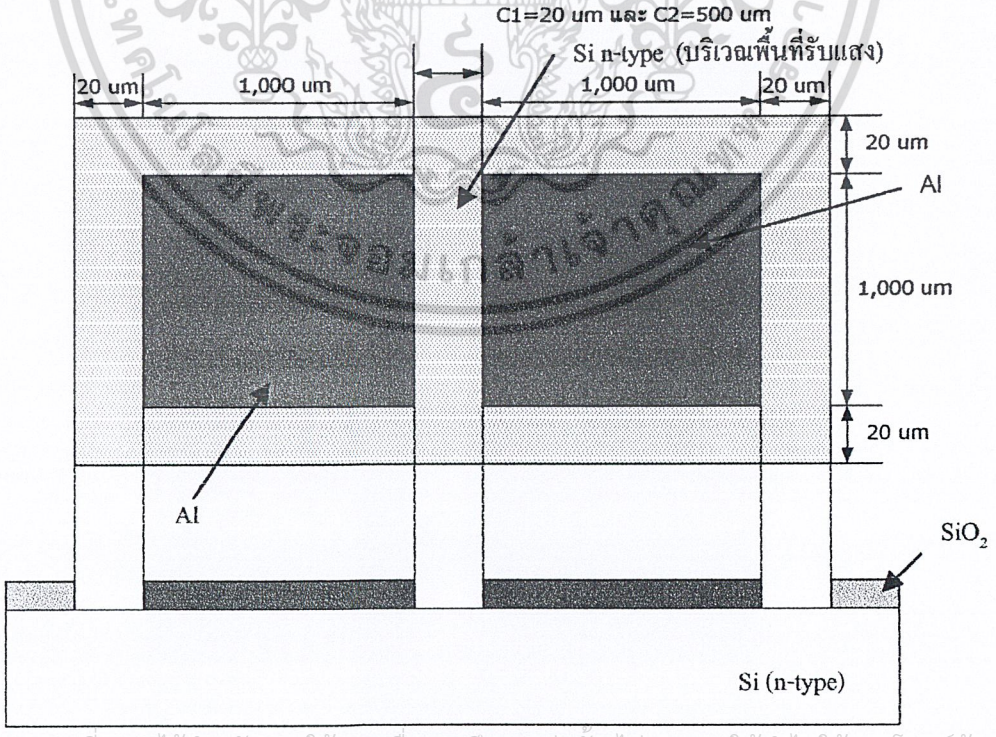
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.1 ขนาดของพื้นที่รับแสงและขนาดพื้นที่ขั้วสัมผัส

หมายเลข	ขนาด x (μm)	ขนาด y (μm)	ขนาด z (μm)
A1	20	270	2000
A2	40	270	2000
A3	200	270	2000
A4	500	270	2000
A5	1000	270	2000
B1	40	540	1000
B2	80	540	1000
B3	400	540	1000

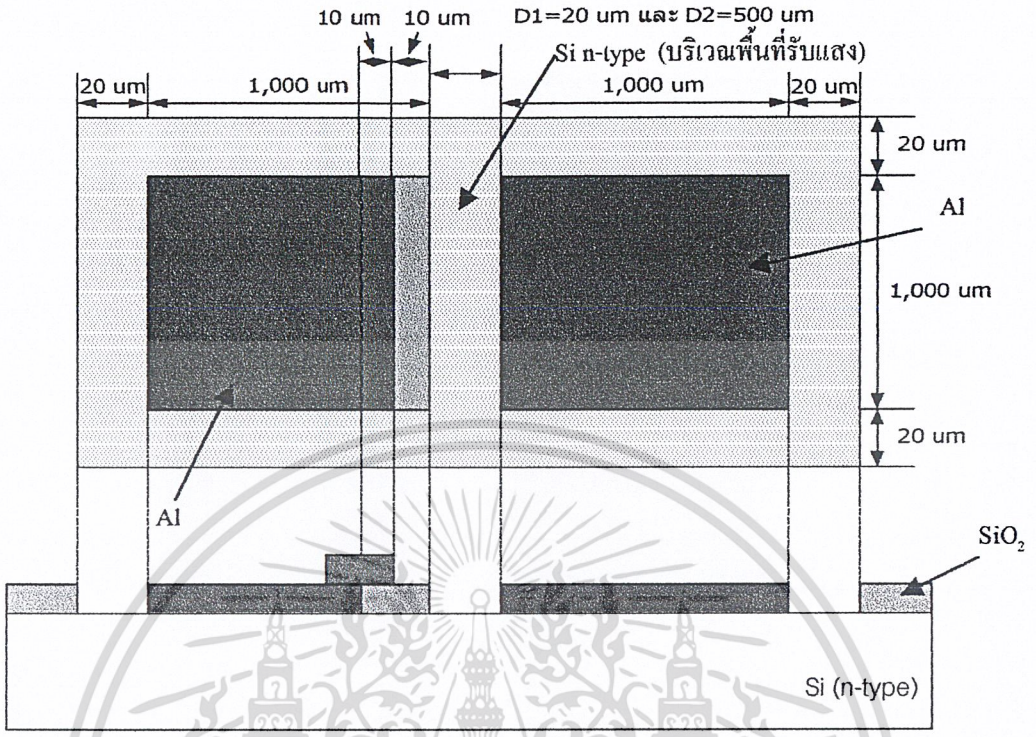
จากตารางที่ 3.1 A1 ถึง A5 จะต่อกับแพด (Pad) ขนาด 2000 μm x 2000 μm และ B1 ถึง B3 จะต่อกับแพด ขนาด 1000 μm x 1000 μm

3.1.2 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม C1 และ C2 (แบบที่ 1)



รูปที่ 3.6 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม D1 และ D2 (แบบที่ 2)

3.2 กระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

ในกระบวนการสร้างนี้จะใช้มาส์คต้นแบบทั้งหมด 2 มาส์ค ด้วยกันซึ่งจะใช้สำหรับกระบวนการสร้างดังต่อไปนี้

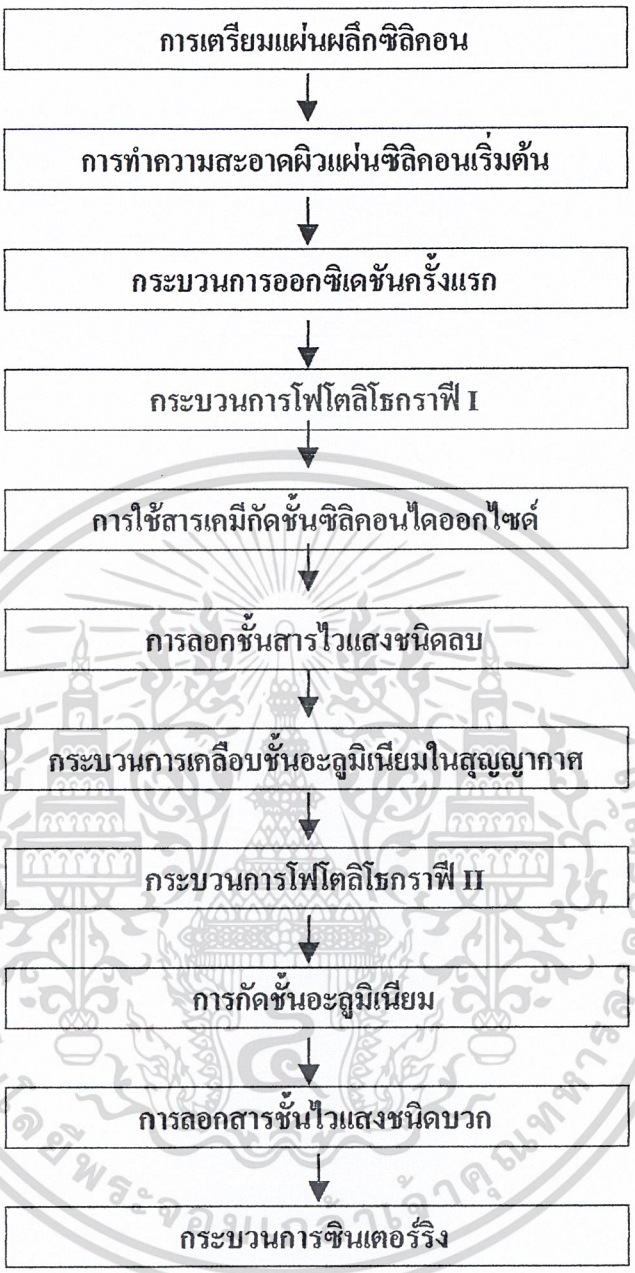
มาส์คที่ I ใช้สำหรับเปิดช่องซิลิคอนไดออกไซด์เพื่อสร้างขั้วอะลูมิเนียมและบริเวณที่เป็นพื้นที่รับแสง

มาส์คที่ II ใช้สำหรับสร้างลวดลายอะลูมิเนียม

สำหรับลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al โดยใช้มาส์คต้นแบบสำหรับการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ในขั้นตอนของการซินเตอร์ริงจะซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 15 นาที

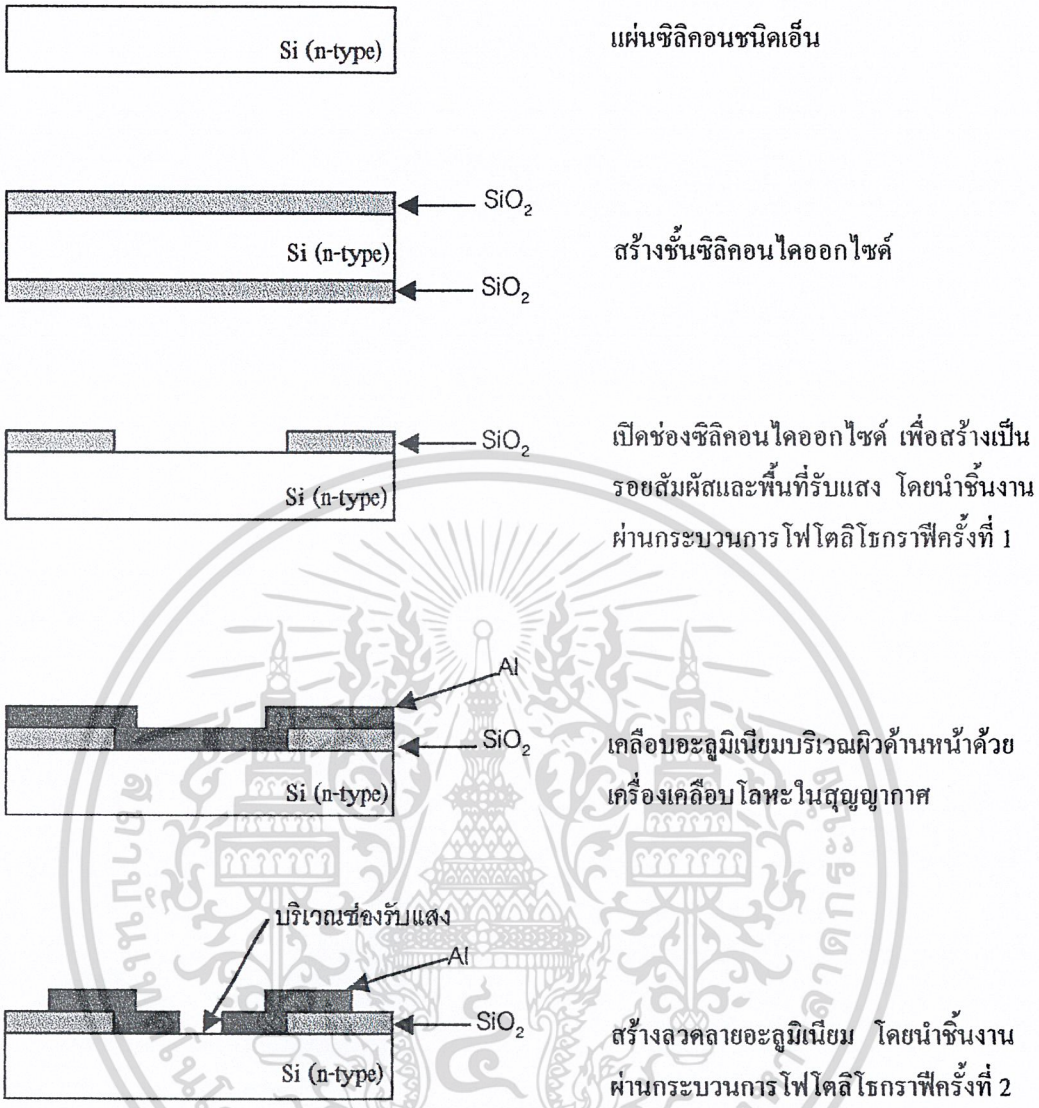
กระบวนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al สามารถแสดงตามแผนผังได้ดังรูปที่ 3.7 สำหรับภาพตัดขวางของกระบวนการสร้างแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แผนผังกระบวนการสร้างโฟโตไอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ลำดับขั้นตอนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al

3.2.1 ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

โดยมีลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างดังต่อไปนี้

1. การเตรียมแผ่นผลึกซิลิคอน
   - ใช้แผ่นผลึกรูปเดี่ยวแบบ Single ชนิดเอ็นมีระนาบ <100>
   - ค่าความต้านทานจำเพาะ 25 โอห์ม-เซนติเมตร
   - ความหนาของแผ่นผลึก 380 ไมครอน
2. การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิคอนเริ่มต้น (Initial Cleaning)
   - ทำความสะอาดผิวด้วยน้ำบริสุทธิ์ (De-ionized Water)ในเครื่องสั่นความถี่สูง (Ultrasonic Cleaning)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- กัดผิวหน้าแผ่นผลึกด้วยกรดกัดแก้ว HF 5% เป็นเวลา 2 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในกรดไนตริก (HNO_3) เป็นเวลา 10 นาที
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์ เป็นเวลา 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. กระบวนการออกซิเดชันครั้งแรก (First Oxidation)

เพื่อทำการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ให้มีความหนาประมาณ 5000 Å ในการทำออกซิเดชันนำแผ่นซิลิคอนที่ทำความสะอาดแล้ว ทิ้งไว้ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิ 1100 $^{\circ}$C

เงื่อนไขและขั้นตอนกระบวนการสร้าง

- ทำการออกซิเดชั่นแบบแห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.2 ลิตร/นาที
- ทำการออกซิเดชั่นแบบชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.1 ลิตร/นาที
- ทำการออกซิเดชั่นแบบแห้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.2 ลิตร/นาที

4. กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี I (Mask Photolithography I)

ใช้กระจกมาส์คต้นแบบสำหรับการเปิดช่องซิลิคอนไดออกไซด์ออกบริเวณที่จะสร้างขั้วสัมผัสอะลูมิเนียมและซิลิคอน โดยการเคลือบน้ำยาไว้แสงชนิดลบ Waycoat ลงบนแผ่นผลึกซิลิคอน ด้วยอุปกรณ์ที่เรียนว่าสปินเนอร์ (Spinner) แล้วนำไปอบให้แห้ง จึงนำไปทำการถ่ายกระจกต้นแบบมาส์คที่ I

ขั้นตอนกระบวนการสร้าง

- อบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 20 - 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบ Waycoat โดยใช้เครื่องสปินเนอร์ความเร็ว 5000 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 วินาที
- อบครั้งแรก ให้น้ำยาแห้งที่อุณหภูมิ 90 - 100°C เป็นเวลา 25 นาที
- ฉายแสงผ่านกระจกมาส์คที่ I ด้วยอุปกรณ์ Mask Aligner ซึ่งจะให้แสงอัลตราไวโอเลตออกมา แหล่งกำเนิดแสง คือ หลอดเมอร์คิวรี่ λ = 5000 Å เป็นเวลา 12 วินาที
- การล้างภาพ จุ่มในน้ำยาล้างภาพ (Xylene) 2 ครั้ง ครั้งละ 1 นาที จุ่มในน้ำยาทำความสะอาด (Isopropyl) 3 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาทีล้างในน้ำบริสุทธิ์ แล้วเป่าให้แห้งทันทีด้วยก๊าซไนโตรเจน
- อบครั้งที่สอง ให้แผ่นฟิล์มที่เหลืออยู่แห้งที่อุณหภูมิ 90 - 100°C เป็นเวลา 20-30 นาที

5. การใช้สารเคมีกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

เพื่อทำการกัดชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ ใช้สารละลายเคมีซึ่งมีส่วนผสมของกรดกัดแก้วเป็นหลัก ทำการละลายชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ตรงบริเวณที่ต้องการเปิดออก สารละลายที่ใช้ในการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์นี้ เรียกว่า สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer) มีอัตราการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ประมาณ 1000 Å/นาที

ขั้นตอนการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

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

6. การลอกชั้นสารไวแสงชนิดลบ Waycoat

สารไวแสงที่ถูกแสงและยังคงค้างอยู่บนแผ่นผลึกซิลิคอน สามารถลอกทิ้งได้โดย

- ต้มในกรดซัลฟุริค (H_2SO_4) 2 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์ 2 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มในไตรโคลโรเอททีลีน เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภทไขมัน
- ล้างด้วยอะซิโตนในเครื่องสั่นความถี่สูง เป็นเวลา 3 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- จุ่มในกรดกัดแก้ว (HF) 5% เป็นเวลา 20 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

7. กระบวนการเคลือบชั้นอะลูมิเนียมในสุญญากาศ

ในการเคลือบชั้นอะลูมิเนียมโดยใช้เครื่องเคลือบโลหะในสุญญากาศ (Vacuum Evaporation) ทำการเคลือบแผ่นซิลิคอนด้วยอะลูมิเนียมที่ความดันประมาณ 1.6×10^{-6} Torr.

8. กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี II

ในกระจกมาส์คที่ II เป็นต้นแบบสำหรับการกัดส่วนของอะลูมิเนียมที่ไม่ต้องการออกขั้นตอนนี้ใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวก AZ

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- อบแห้งเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15-20 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสง ชนิดบวก AZ โดยใช้เครื่องสปินเนอร์ ขนาด 5000 รอบ/นาทีเป็นเวลา 20 วินาที
- อบครั้งแรกให้น้ำยาไวแสงแห้งที่อุณหภูมิ 85-90°C เป็นเวลา 20 นาที
- ฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบมาส์ค II ด้วยอุปกรณ์ Mask Aligner เป็นเวลา 12 วินาที
- การล้างภาพ จุ่มในน้ำยา AZ-Developer 2 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที ล้างในน้ำบริสุทธิ์ แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- อบครั้งที่สอง ให้แผ่นฟิล์มที่เหลืออยู่แห้งที่อุณหภูมิ 85-90°C เป็นเวลา 20-30 นาที

9. การกัดชั้นอะลูมิเนียม

สารละลายที่ใช้ละลายชั้นอะลูมิเนียมได้แก่สารละลายผสมซึ่งมีกรดฟอสฟอริคเป็นหลักมีลำดับขั้นตอนดังนี้

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

10. การลอกชั้นสารไวแสงชนิดบวก AZ

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- จุ่มแผ่นซิลิคอนลงในอะซิโตน เป็นเวลาประมาณ 1 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

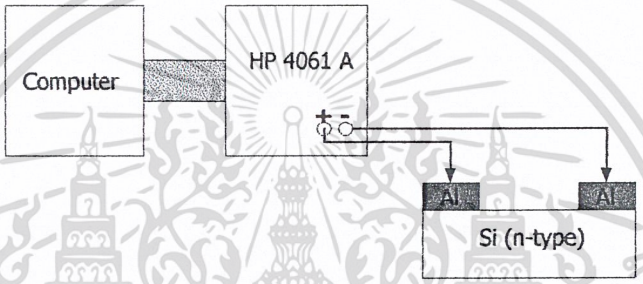
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. กระบวนการซินเตอร์ริง

กระบวนการซินเตอร์ริง (Sintering) เป็นกระบวนการที่ทำให้การสัมผัสของอะลูมิเนียมและซิลิคอนเป็นรอยสัมผัสที่สมบูรณ์ โดยจะนำแผ่นซิลิคอนไปไว้ในบรรยากาศของไนโตรเจนที่มี อัตราการไหล 0.7 ลิตร/นาที เป็นเวลา 15 นาที ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ปกติคือ 500°C จากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ได้ไปวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่อไปโดยมีลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างดังต่อไปนี้

3.3 การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

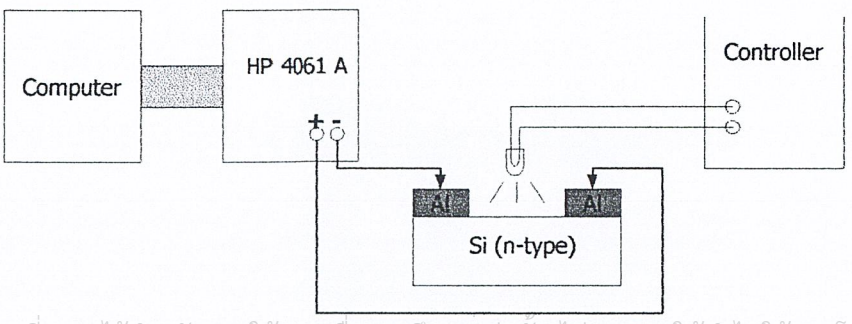
3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติของกระแส-แรงดัน



รูปที่ 3.9 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al

จากรูปที่ 3.9 ในการศึกษาหัวข้อนี้ จะใช้การวัดจากเครื่อง HP4061A ซึ่งต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ในการควบคุมเครื่อง HP4061A และเก็บข้อมูล โดยเครื่อง HP4061A จะให้แรงดันไบอัสกับชิ้นงานและวัดการเปลี่ยนแปลงของกระแส

3.3.2 การศึกษาคุณสมบัติของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสง

การศึกษาในหัวข้อนี้ จากรูปที่ 3.10 ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดฮาโลเจน (Halogen Lamp) ขนาด 150 W และมีชุดควบคุมสำหรับปรับความเข้มแสง ฉายแสงลงบนชิ้นงานที่ต่ออยู่กับเครื่อง HP4061A โดยจะฉายแสงที่ความเข้มต่าง ๆ กัน แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เกิดขึ้น

3.3.3 การศึกษาผลของพื้นที่รับแสงต่อกระแสโฟโตของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al

ในหัวข้อนี้ จะพิจารณาจากผลการทดลองในหัวข้อ 3.3.2 โดยเปรียบเทียบกับพื้นที่รับแสงที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

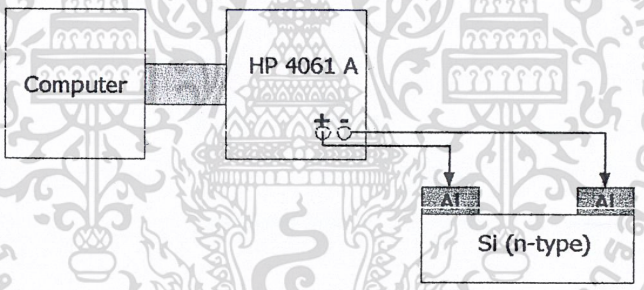
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

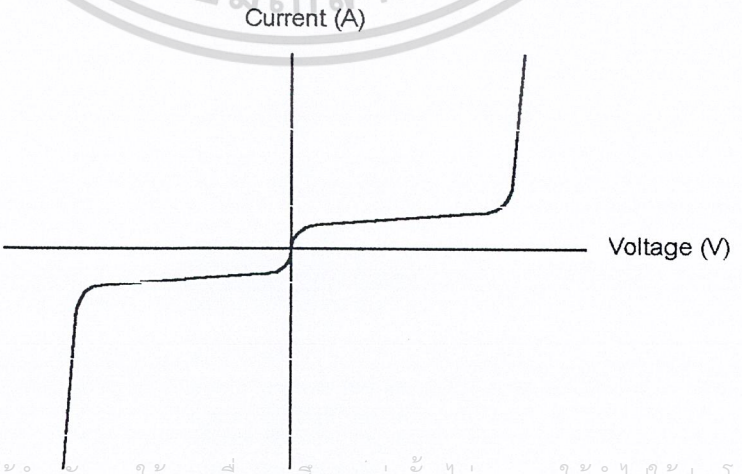
4.1 ผลการทดลองการศึกษาคุณสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่ผ่านการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C

ในกระบวนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ในขั้นตอนของซินเตอร์ริงจะซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C เวลา 15 นาที ซึ่งจะทำให้ได้โฟโตไดโอดที่มีรอยสัมผัสแบบอัลลอย จากนั้นจึงนำโฟโตไดโอดไปวัดหาคุณสมบัติกระแส-แรงดันโดยแสดงการวัดในรูปที่ 4.1

เนื่องจากโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่ได้ออกแบบไว้เป็นแบบสมมาตร คือ พื้นที่ของรอยสัมผัสระหว่างอะลูมิเนียมและซิลิคอนทั้ง 2 ด้าน เท่ากัน และค่าความสูงของกำแพงศักย์ของรอยสัมผัสทั้งสองด้านมีค่าเท่ากัน ($\phi_{n1} = \phi_{n2}$) ดังนั้น กระแสของโฟโตไดโอดขณะได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับจะมีลักษณะที่เหมือนกัน ดังรูปที่ 4.2



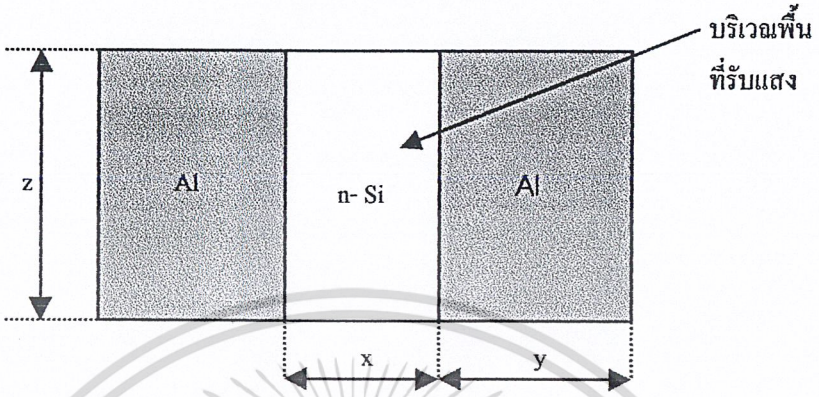
รูปที่ 4.1 การวัดคุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al



รูปที่ 4.2 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบสมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบในหัวข้อที่ 3.1.1 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ในการแสดงค่าพารามิเตอร์จะใช้เป็นหมายเลขดังแสดงในตารางที่ 4.1 และลักษณะของชิ้นงานแสดงในรูปที่ 4.3



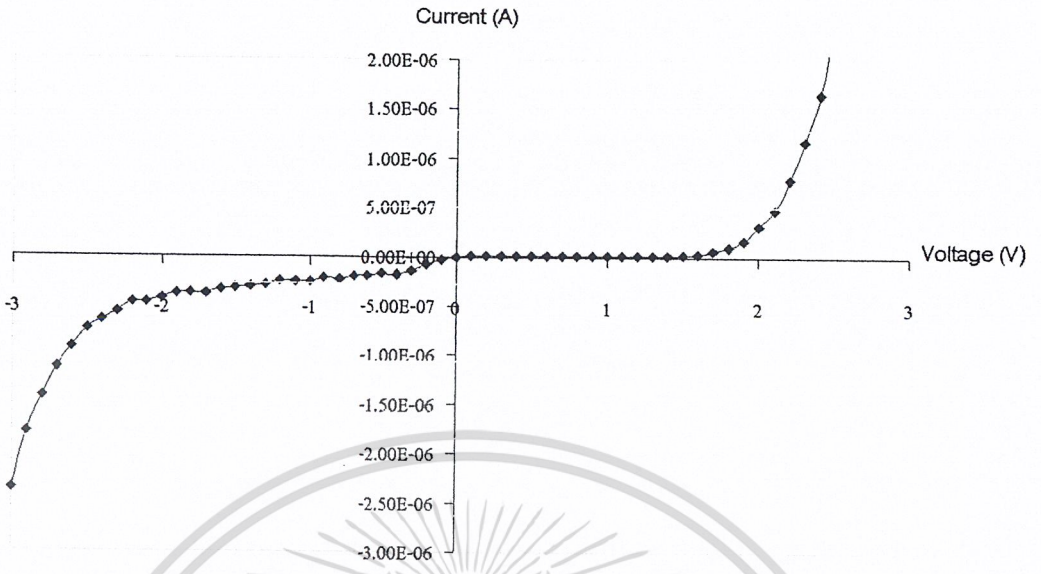
รูปที่ 4.3 ลักษณะพารามิเตอร์ของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al

จากรูปที่ 4.3 กำหนดให้ x คือ ความยาวของพื้นที่รับแสงหรือระยะห่างระหว่างขั้วสัมผัส
y คือ ความยาวของขั้วสัมผัส
z คือ ความกว้างของพื้นที่รับแสงหรือความกว้างของขั้วสัมผัส

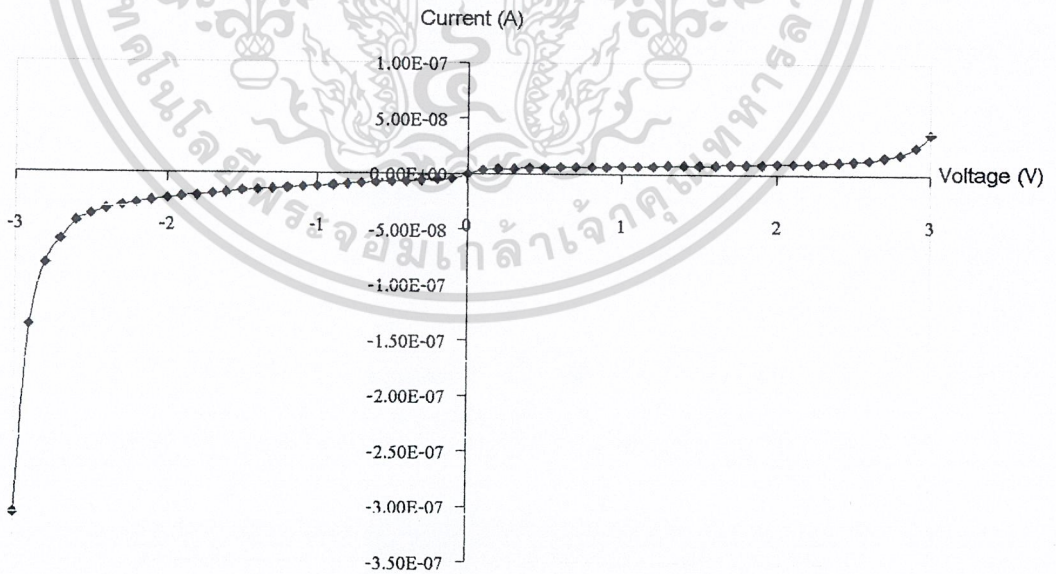
ตารางที่ 4.1 ขนาดของพื้นที่รับแสงและขนาดพื้นที่ขั้วสัมผัส

หมายเลข	ขนาด x (μm)	ขนาด y (μm)	ขนาด z (μm)
A1	20	270	2000
A2	40	270	2000
A3	200	270	2000
A4	500	270	2000
A5	1000	270	2000
B1	40	540	1000
B2	80	540	1000
B3	400	540	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

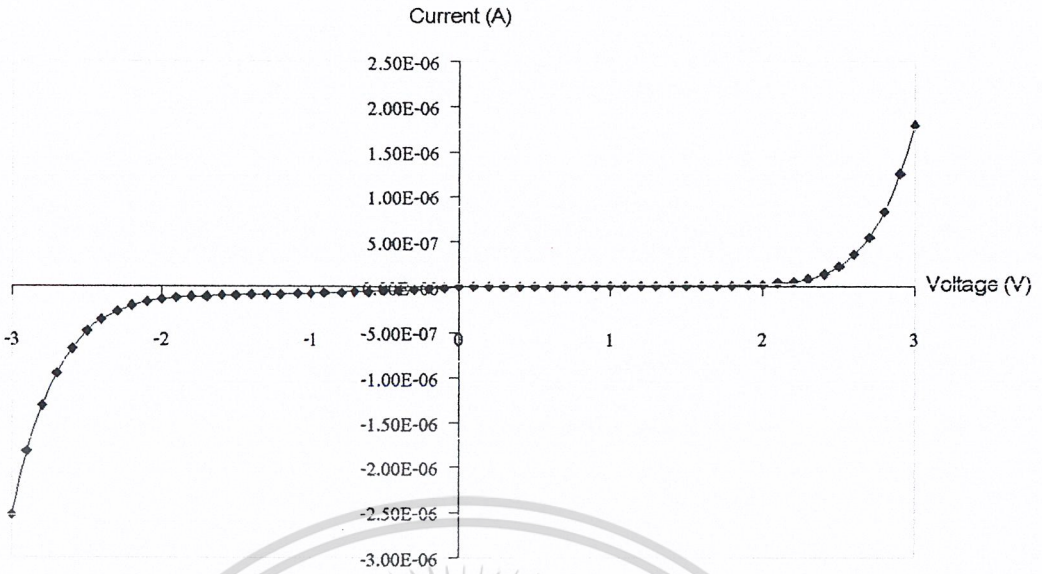


รูปที่ 4.4 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A1 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง)

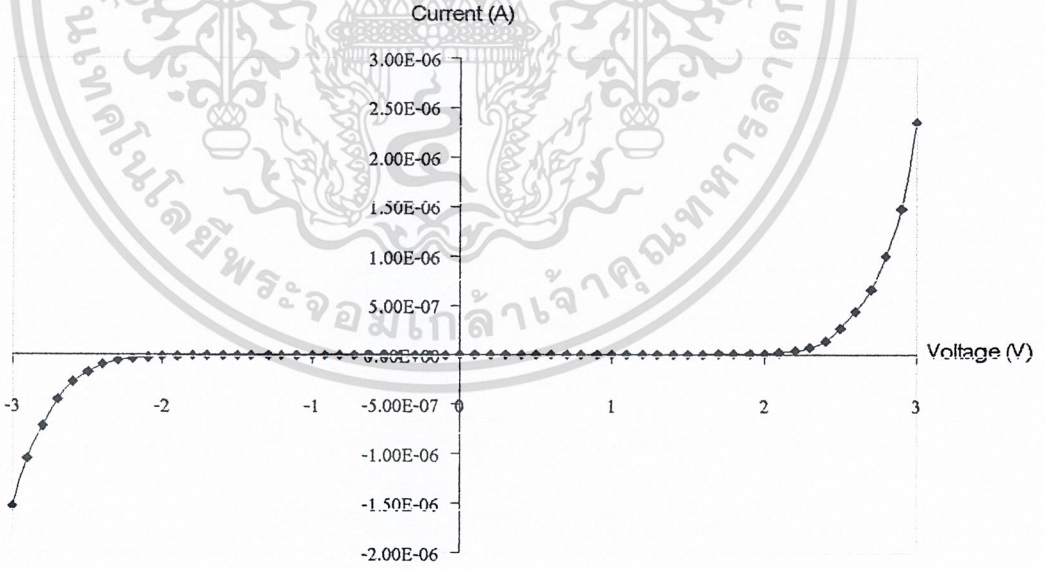


รูปที่ 4.5 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A2 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

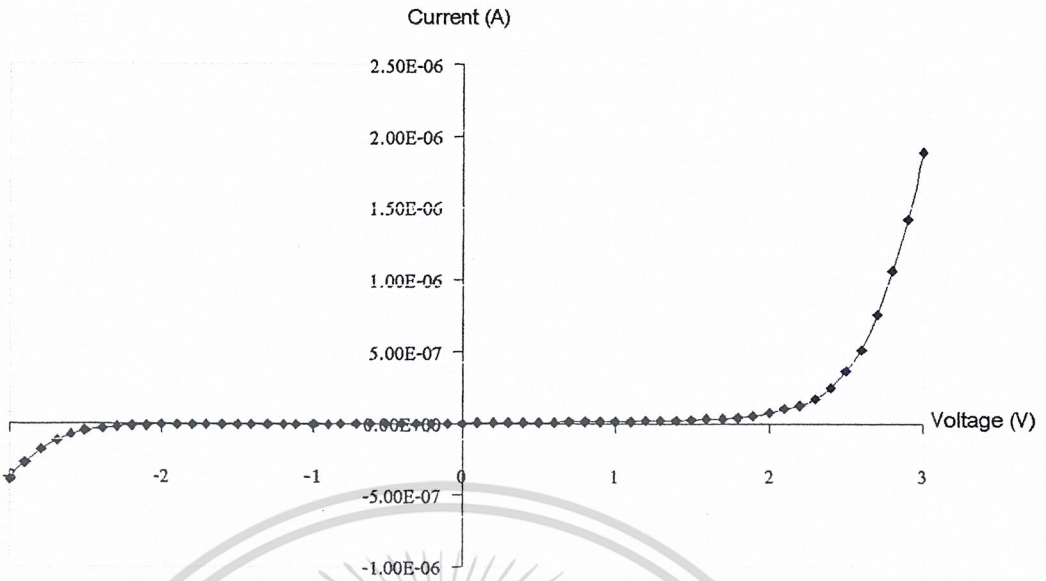


รูปที่ 4.6 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A3 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง)

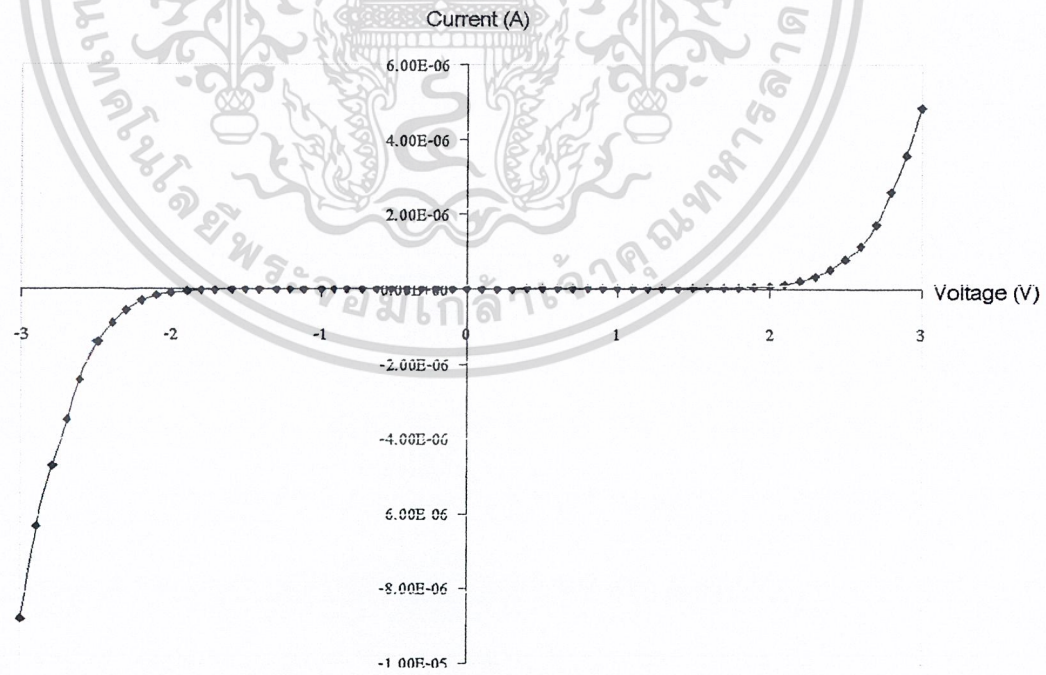


รูปที่ 4.7 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A4 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

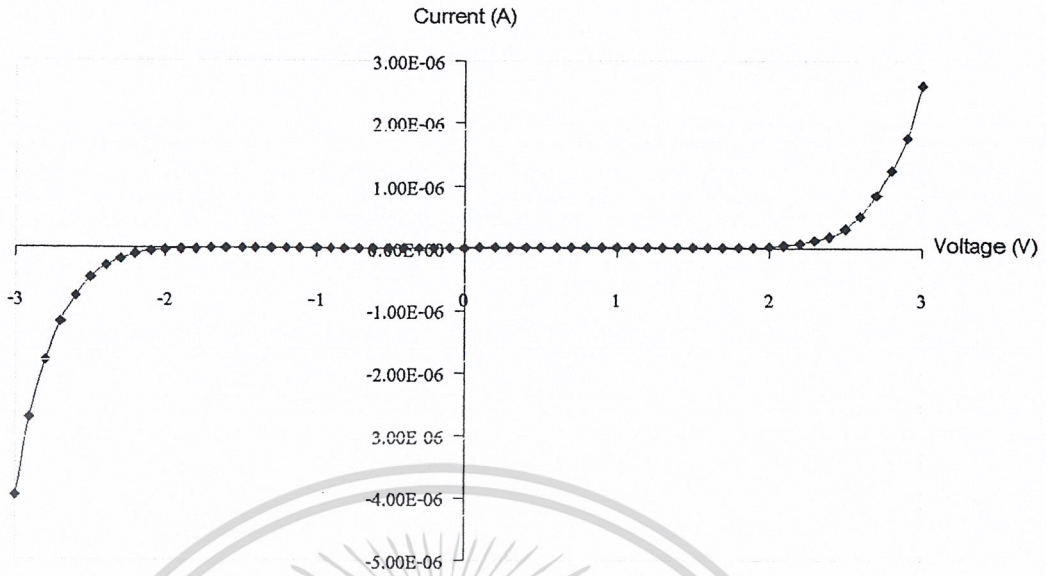


รูปที่ 4.8 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A5 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง)

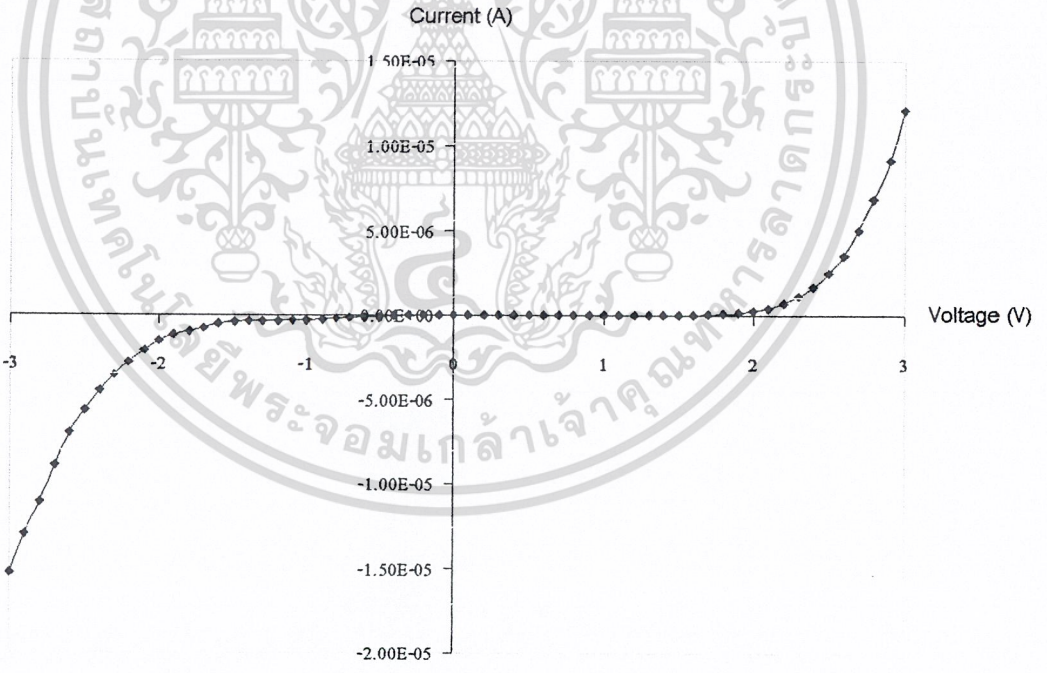


รูปที่ 4.9 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B1 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B2 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง)



รูปที่ 4.11 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/Si/Al หมายเลข B3 ที่ซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C (ขณะไม่ได้รับแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.11 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอด ที่ซินเตอร์ริงที่ 500°C โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ กันตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งโฟโตไดโอดที่ผ่านการซินเตอร์ริงที่ 500°C จะมีกระแสรั่วขณะได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน โดยทุก ๆ พารามิเตอร์จะมีกระแสรั่วประมาณ 10 nA และแรงดันพังทะลายประมาณ 2-3 V

เมื่อนำความสัมพันธ์กระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดแบบสมมาตร จะพบว่ารูปที่ 4.4 ถึง 4.11 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดที่ผ่านซินเตอร์ริงที่ 500°C จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน และจากรูปที่ 4.4 ถึง 4.11 จะพบว่าโฟโตไดโอดมีกระแสขณะได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

สำหรับกระบวนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al อุณหภูมิที่เหมาะสมในการซินเตอร์ริง คือที่ 500°C เวลา 15 นาทีซึ่งจะได้โฟโตไดโอดที่มีรอยสัมผัสแบบอัลลอย ซึ่งจะให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี คือมีกระแสรั่วประมาณ 10 nA และมีแรงดันพังทะลายประมาณ 2 V และมีกระแสไหลขณะได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปสร้างเป็นตัวตรวจจับทางแสง

4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1)

4.2.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.11คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A1 ถึง A5 และ B1 ถึง B3 ที่ผ่านการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C เวลา 15 นาทีซึ่งสามารถอ่านค่ากระแสรั่วและและแรงดันพังทะลายได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

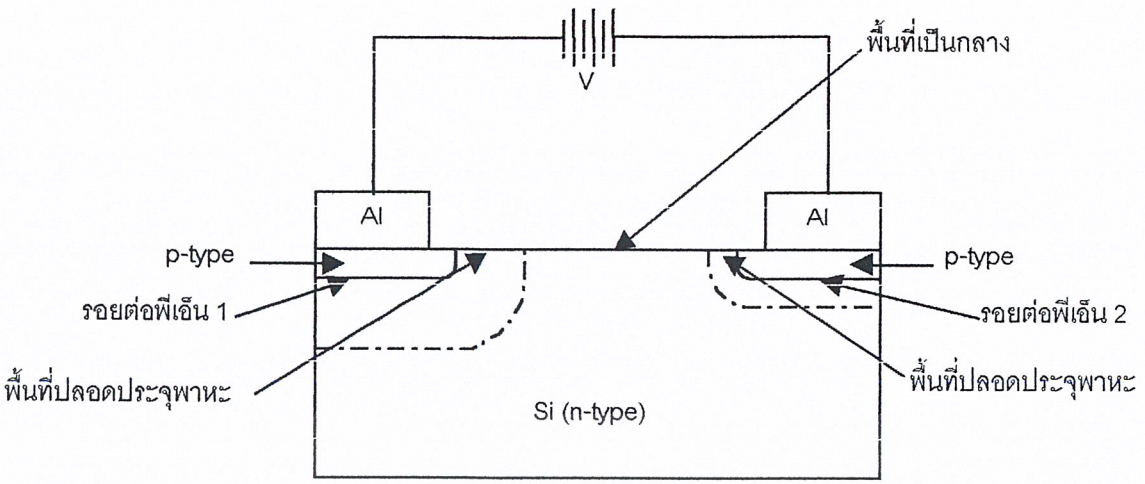
ตารางที่ 4.2 กระแสรั่วและแรงดันพังทะลายขณะได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al

หมายเลย	ความกว้างของขั้วโลหะ (μm)	ระยะห่างระหว่างขั้วโลหะ (μm)	กระแสรั่วขณะได้รับแรงดันไบอัสตรงเท่ากับ 1 V (μA)	แรงดันพังทะลายขณะได้รับแรงดันไบอัสตรง (V)	กระแสรั่วขณะได้รับแรงดันไบอัสกลับเท่ากับ -1 V (μA)	แรงดันพังทะลายขณะได้รับแรงดันไบอัสกลับ (V)
A1	2000	20	0.006	1.8	-0.259	-2.2
A2	2000	40	0.0068	2.7	-0.011	-2.3
A3	2000	200	0.0084	2.2	-0.071	-2.3
A4	2000	500	0.0066	2.3	-0.0069	-2.3
A5	2000	1000	0.011	1.8	-0.0069	-2.2
B1	1000	40	0.021	2	-0.0049	-2.1
B2	1000	80	0.0071	2.1	-0.0047	-2
B3	1000	100	0.008	1.9	-0.305	-1.7

จากตารางที่ 4.2 โฟโตไดโอดทุก ๆ พารามิเตอร์ คือ A1 ถึง A5 และ B1ถึง B3 ทั้งหมดจะมีกระแสรั่วน้อยกว่า 0.5 μA และมีแรงดันพังทะลายขณะได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับประมาณ ±2 V

เมื่อให้แรงดันไบอัสกับโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งจะทำให้รอยต่อพีเอ็น 1 ได้รับแรงดันไบอัสกลับทำให้บริเวณปลอดประจุพาหะขยายตัวออก และรอยต่อพีเอ็น 2 ได้รับแรงดันไบอัสตรงทำให้บริเวณปลอดประจุพาหะขยายตัวได้น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความกว้างปลอดประจุพาหะของรอยต่อพีเอ็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 โฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขณะได้รับแรงดันไบอัส

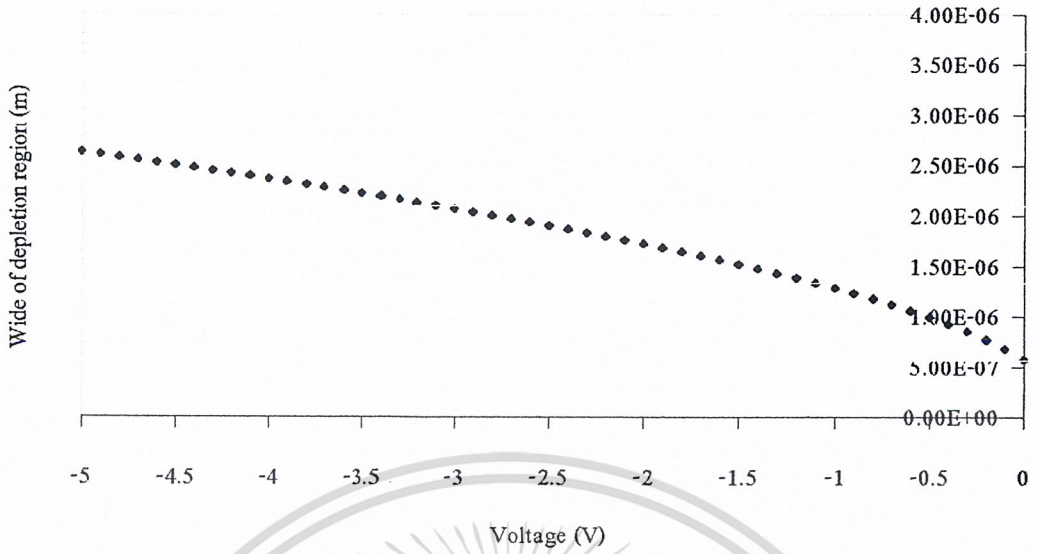
สำหรับพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ซึ่งจากโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้จะอยู่ระหว่างขั้วสัมผัสโลหะ ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณหาความกว้างบริเวณปลอดประจุพาหะของรอยสัมผัสที่ 1 โดยเปรียบเทียบกับความกว้างของบริเวณปลอดประจุพาหะ 1 รอยสัมผัส ซึ่งความกว้างของพื้นที่ปลอดประจุพาหะ [2] นี้ได้จากคำนวณในสมการที่ (4.1) ซึ่งพบว่าขณะแรงดันไบอัสเท่ากับ 2 V ความกว้างของบริเวณปลอดประจุพาหะจะเท่ากับ 1.75 μm ซึ่งจากการออกแบบระยะห่างระหว่างขั้วโลหะได้ออกแบบเล็กสุดคือ 20 μm ซึ่งความกว้างของบริเวณปลอดประจุพาหะจากรอยสัมผัสที่ 1 ที่เกิดขึ้นจะยังไม่ถึงรอยสัมผัสที่ 2 ทำให้พื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ พื้นที่ปลอดประจุพาหะและพื้นที่ที่เป็นกลาง

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{qN_D}\left(V_{bi} + V\right)} \qquad (4.1)$$

โดย V คือ แรงดันไบอัส

V_{bi} คือ ศักย์ไฟฟ้าภายใน (0.25 V)

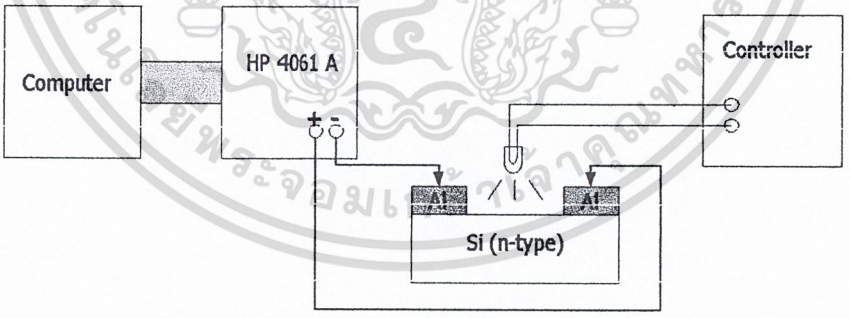
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของพื้นที่ปลอดประจุพาหะกับแรงดันไบอัสกลับ

4.3 ผลการทดลองการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1)

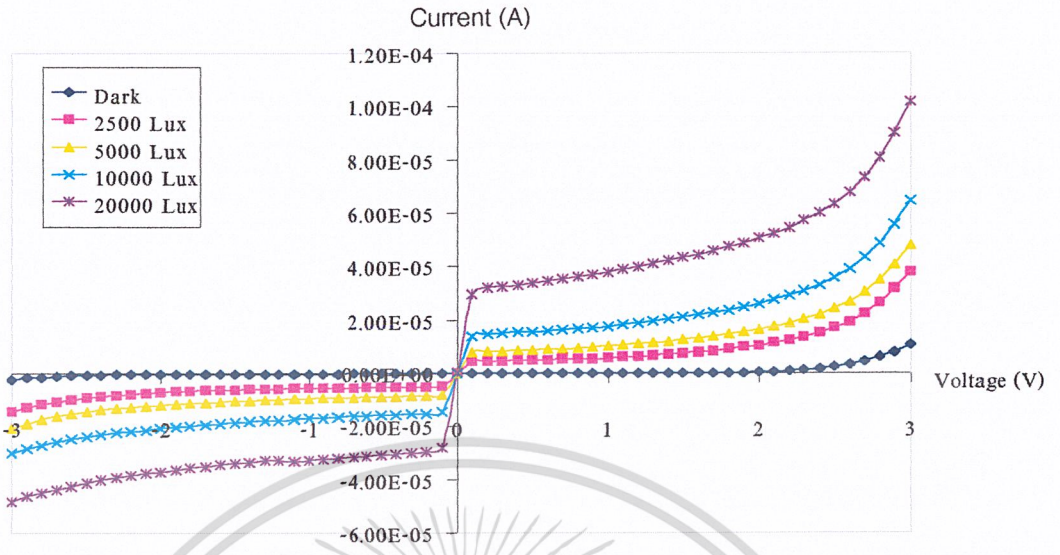
4.3.1 ผลการทดลองความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1)



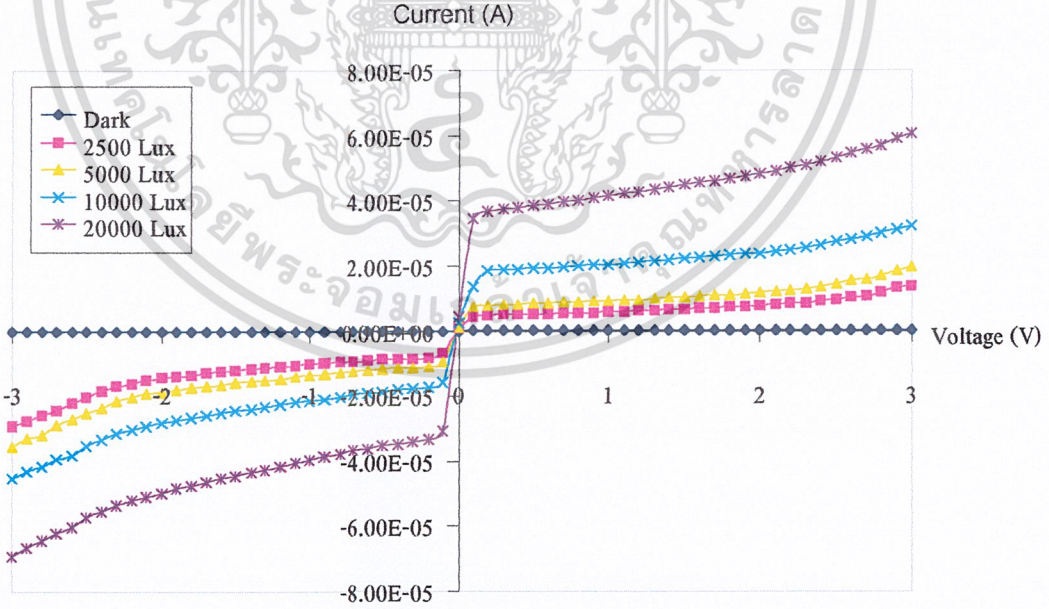
รูปที่ 4.14 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสง

การศึกษาในหัวข้อนี้ เพื่อศึกษาถึงความเข้มแสงจะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al โดยการฉายแสงที่มีความเข้มต่าง ๆ กันโดยใช้อุปกรณ์ Photocell Illuminometer (TOPCON SPI-71) ในการวัดระดับความเข้มของแสง ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ถึง 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

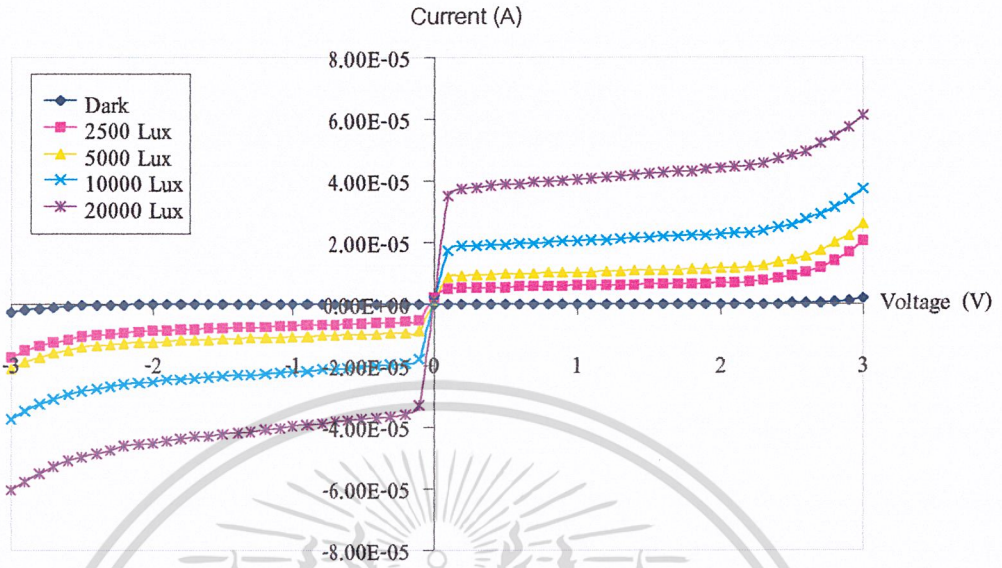


รูปที่ 4.15 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A1 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน

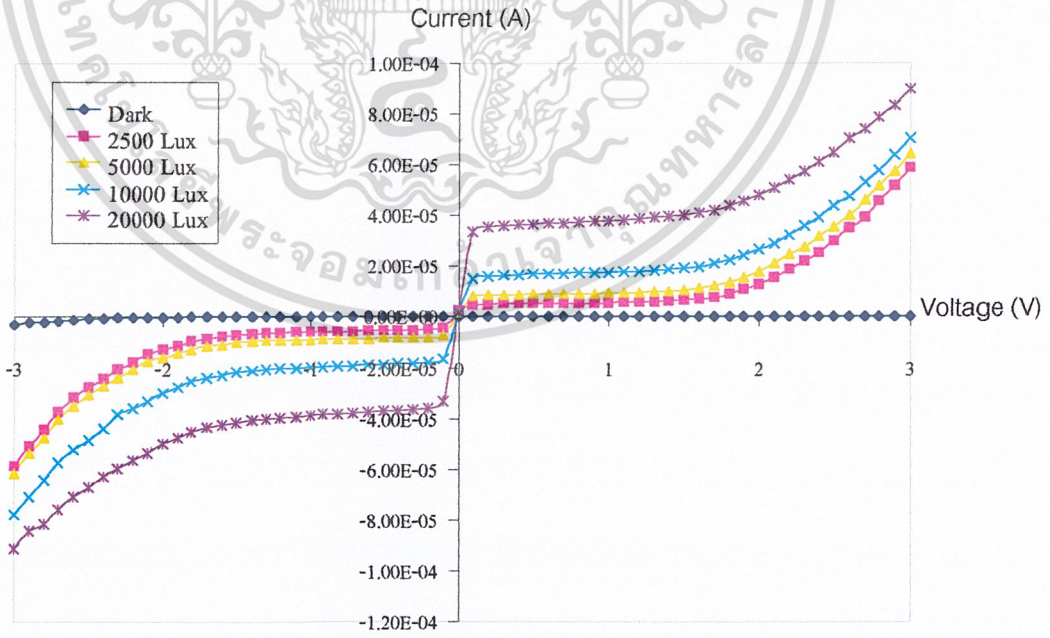


รูปที่ 4.16 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A2 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

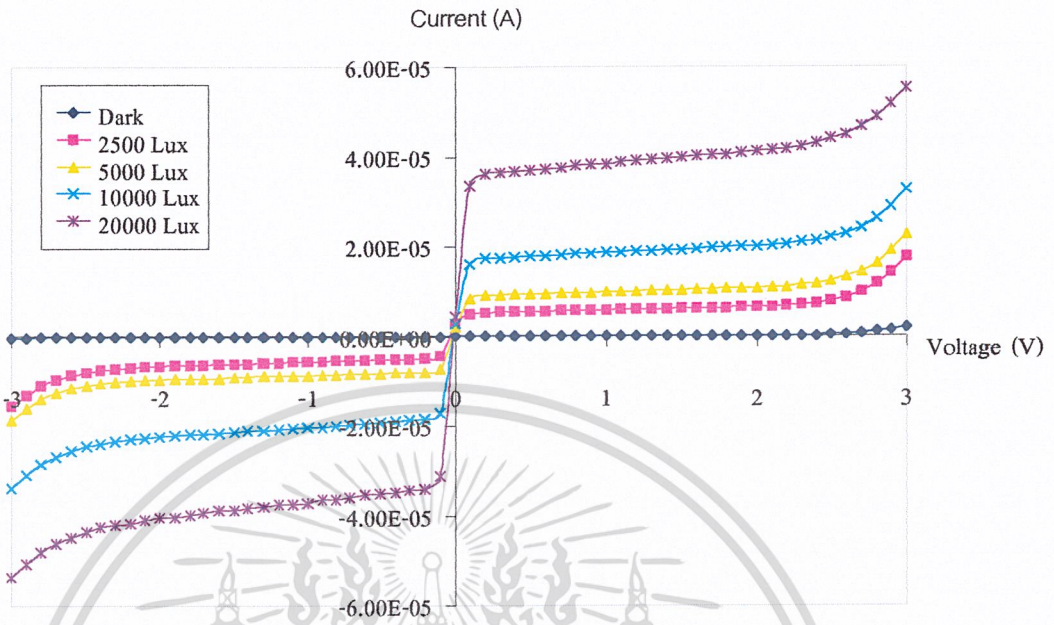


รูปที่ 4.17 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A3 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน

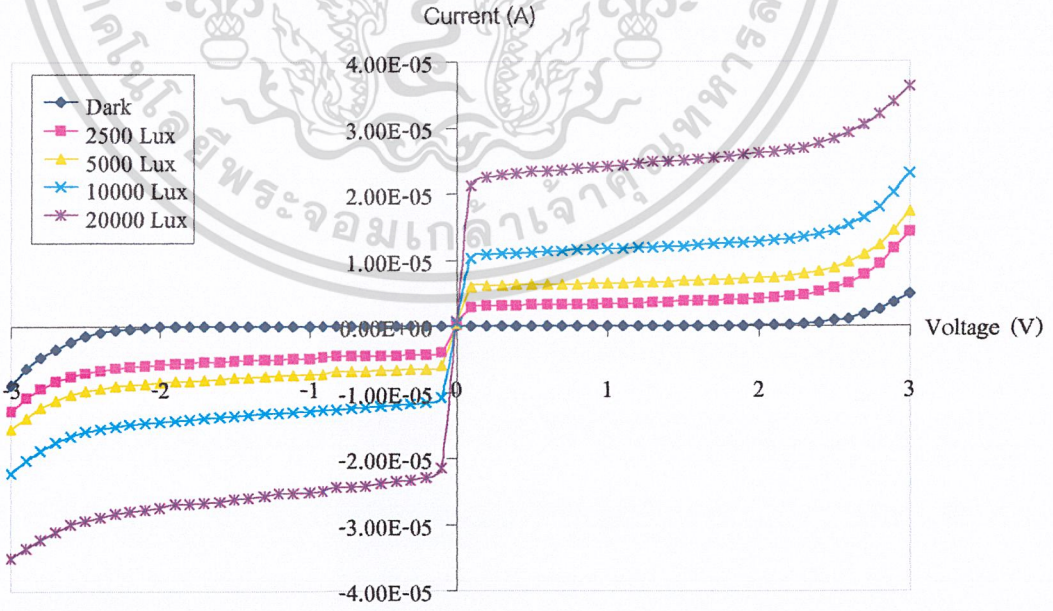


รูปที่ 4.18 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A4 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

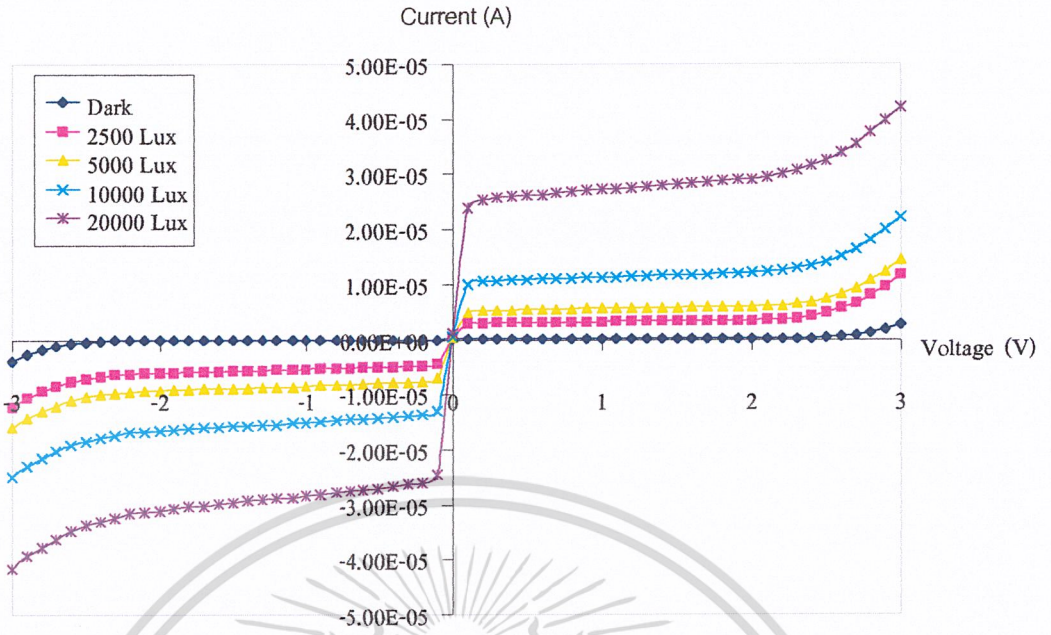


รูปที่ 4.19 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A5 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน

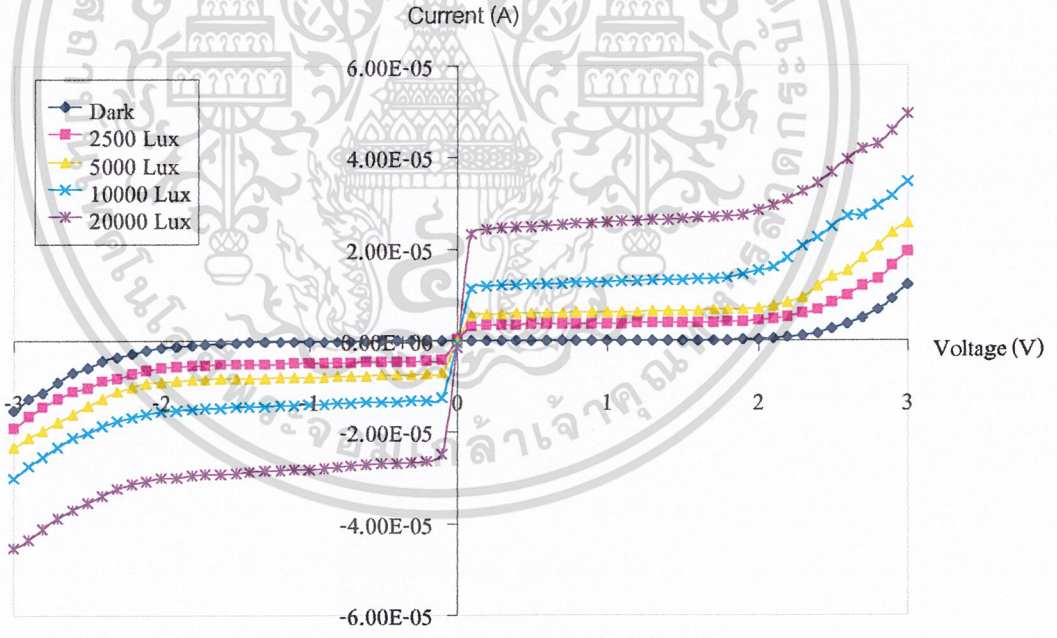


รูปที่ 4.20 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B1 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B2 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.22 คุณลักษณะกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข B3 เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 4.15 ถึง 4.22 พบว่าที่ความเข้มแสงต่าง ๆ กัน ปริมาณกระแสโฟโตจะมีการเพิ่มตามความเข้มแสงที่ฉายลงบนพื้นที่รับแสง และโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เป็นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมาตร ดังนั้น กระแสโฟโตที่วัดได้ในขณะที่โฟโตไดโอดได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับในแต่ละความเข้มแสงจะมีค่าใกล้เคียงกัน

พื้นที่ปลอดประจุพาหะได้จากการหาความกว้างของพื้นที่ปลอดประจุพาหะจากสมการที่ (4.1) คูณกับความกว้างของพื้นที่รับแสงดังสมการที่ (4.3) และพื้นที่เป็นกลางจะได้จากพื้นที่รับแสงทั้งหมดดังสมการที่(4.2) ลบด้วยพื้นที่ปลอดประจุพาหะดังสมการที่ (4.4) ในการเปรียบเทียบผลของกระแสโฟโตต่อพื้นที่รับแสง ได้กำหนดให้พื้นที่ปลอดประจุพาหะของรอยสัมผัสที่ 2 เท่ากับศูนย์ เนื่องจากรอยสัมผัสที่ 2 ได้รับแรงดันไบอัสตรงจะทำให้พื้นที่ปลอดประจุพาหะของรอยสัมผัสที่ 2 มีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ปลอดประจุพาหะของรอยสัมผัสที่ 1 ซึ่งได้รับแรงดันแบบไบอัสกลับ

พื้นที่รับแสงทั้งหมด = ความยาวของพื้นที่รับแสง x ความกว้างของพื้นที่รับแสง (4.2)

พื้นที่ปลอดประจุพาหะ= ความกว้างของพื้นที่ปลอดประจุพาหะ x ความกว้างของพื้นที่รับแสง (4.3)

พื้นที่เป็นกลาง = พื้นที่รับแสงทั้งหมด – พื้นที่ปลอดประจุพาหะ (4.4)

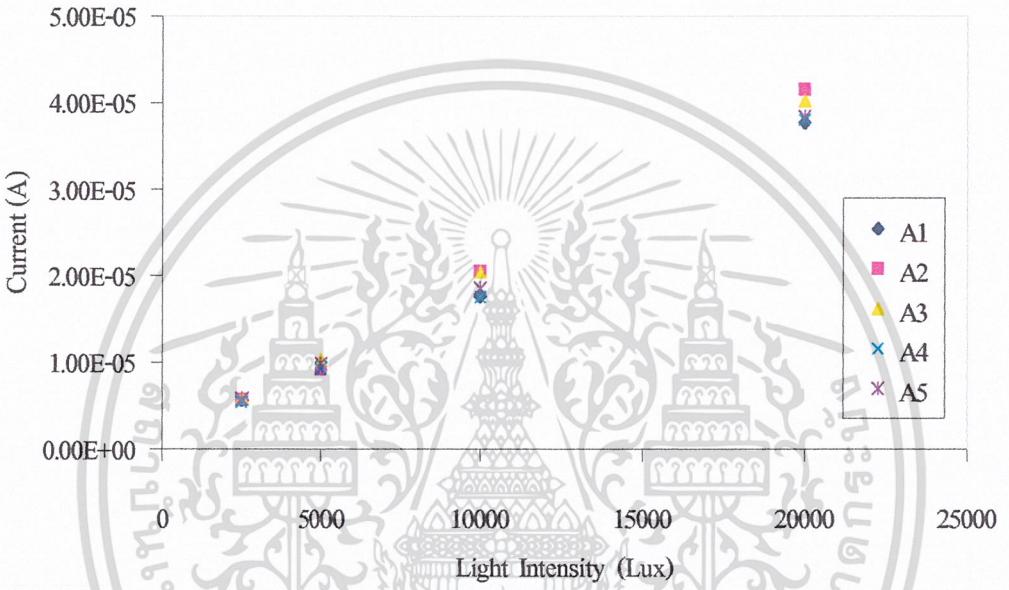
4.3.1.1 ผลของกระแสโฟโตต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีขนาดต่างกันแต่มีขนาดของขั้วโลหะเท่ากัน

ตารางที่ 4.3 พื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข A1 ถึง A5 และมีความกว้างของขั้วโลหะเท่ากัน (ความกว้างของขั้วโลหะเท่ากับ 2000 μm)

หมายเลข	ระยะห่างขั้วโลหะ (μm)	พื้นที่รับแสง (แรงดันไบอัสเท่ากับ 1 V)		
		พื้นที่ทั้งหมด $(mm)^2$	พื้นที่ปลอดประจุพาหะ$(mm)^2$	พื้นที่เป็นกลาง $(mm)^2$
A1	20	0.04	0.0035	0.0365
A2	40	0.08	0.0035	0.0765
A3	200	0.4	0.0035	0.3965
A4	500	1	0.0035	0.9965
A5	1000	2	0.0035	1.9965

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่าทั้ง A1 ถึง A5 จะมีพื้นที่ปลอดประจุพาหะเท่ากันและมีพื้นที่เป็นกลางแตกต่างกัน เมื่อนำกระแสโฟโตมาหาความสัมพันธ์ที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.23 พบว่า กระแสโฟโตที่เกิดขึ้นแต่ละความเข้มแสงทุก ๆ พารามิเตอร์จะมีขนาดใกล้เคียงกัน ในขณะพื้นที่ปลอดประจุพาหะมีค่าเท่าเดิม แต่พื้นที่เป็นกลางเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระแสโฟโตที่เกิดจากพื้นที่เป็นกลางมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสโฟโตที่เกิดจากพื้นที่ปลอดประจุพาหะ



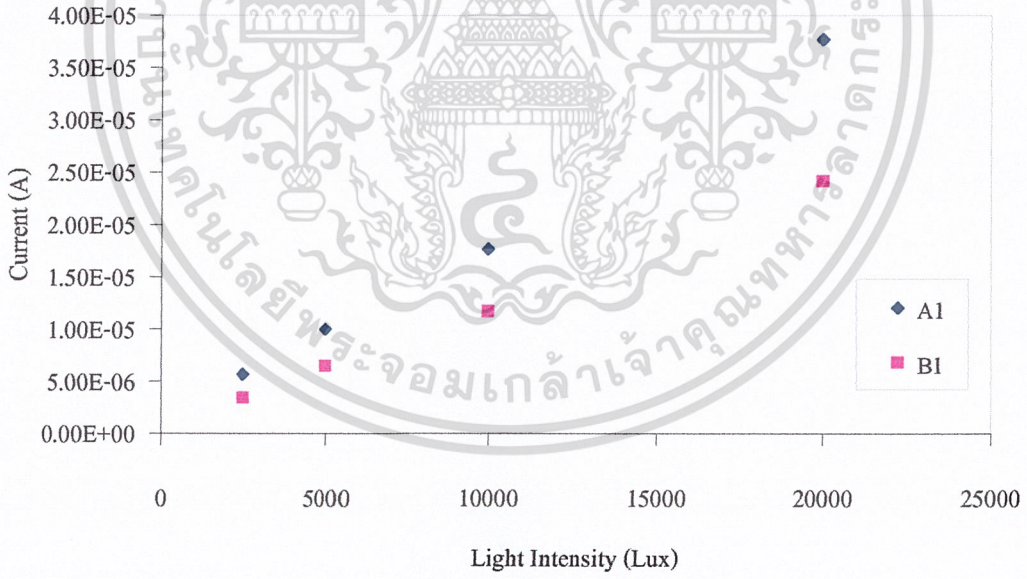
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตต่อความเข้มแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีพื้นที่รับแสงต่างกันแต่มีขั้วโลหะเท่ากัน ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 0.04 ,0.08 ,0.4 , 1 และ 2 mm^2 ตามลำดับ

4.3.1.2 ผลของกระแสโฟโตต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีพื้นที่เท่ากันแต่มีขนาดของขั้วโลหะไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

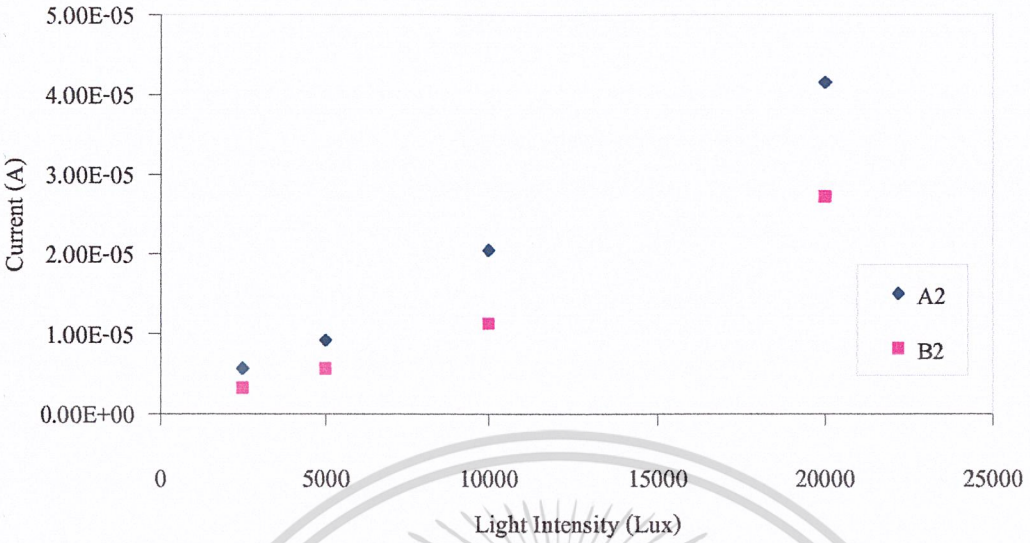
ตารางที่ 4.4 ขนาดของพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีพื้นที่เท่ากันแต่มีความกว้างของขั้วโลหะไม่เท่ากัน

หมายเลข	ความกว้างของขั้วโลหะ (μm)	ระยะห่างของขั้วโลหะ (μm)	พื้นที่รับแสงขณะแรงดันไบอัสเท่ากับ 1 V		
			พื้นที่ทั้งหมด $(mm)^2$	พื้นที่ปลอดประจุ $(mm)^2$	พื้นที่เป็นกลาง $(mm)^2$
A1	2000	20	0.04	0.0035	0.0365
B1	1000	40		0.00175	0.03825
A2	2000	40	0.08	0.0035	0.0765
B2	1000	80		0.00175	0.07825
A3	2000	200	0.4	0.0035	0.3965
B3	1000	400		0.00175	0.39825

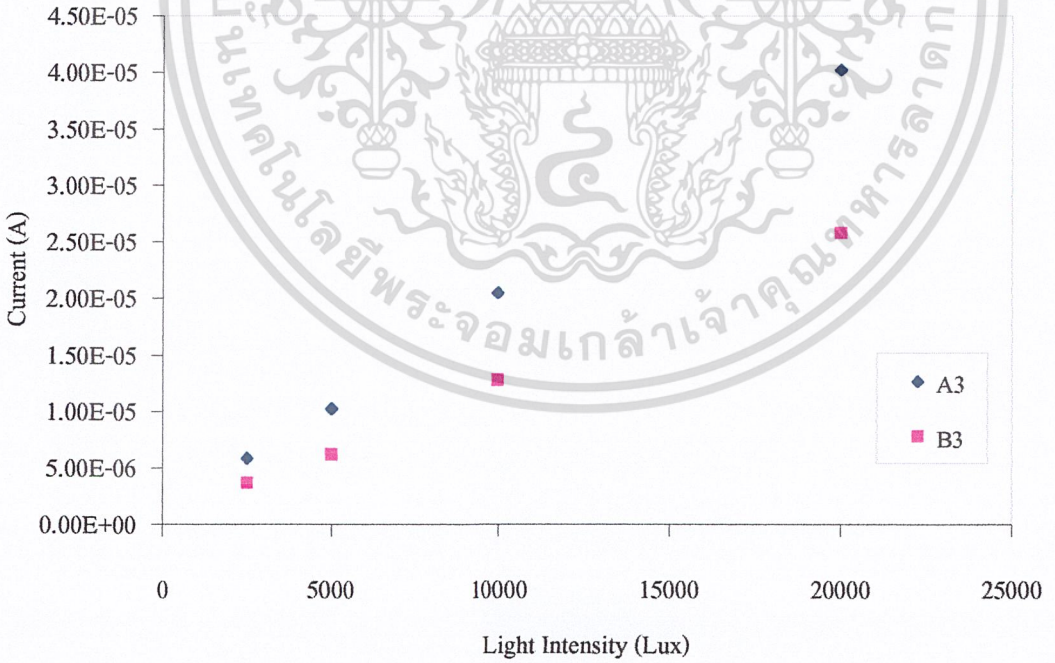


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ของหมายเลข A1 และ B1 ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 0.04 mm^2 (ขณะได้รับแรงดันไบอัสเท่ากับ 1 V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ของหมายเลข A2 และ B2 ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 0.08 mm^2 (ขณะได้รับแรงดันไบอัสเท่ากับ 1 V)



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ของกระแสโฟโตต่อพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ของหมายเลข A3 และ B3 ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 0.4 mm^2 (ขณะได้รับแรงดันไบอัสเท่ากับ 1 V)

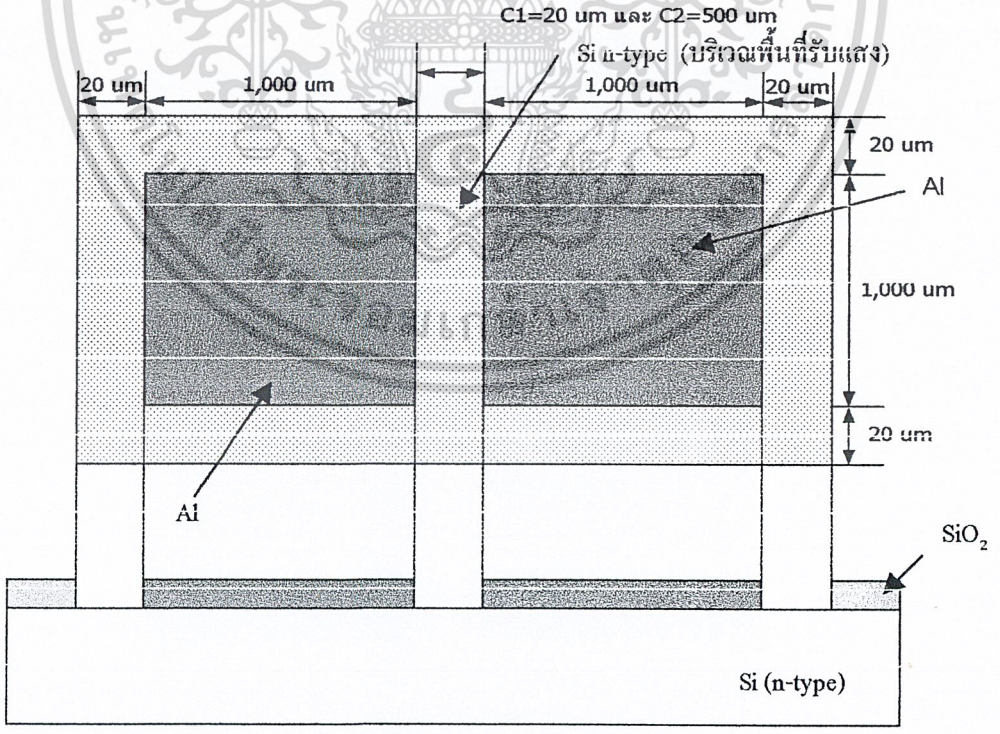
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 พื้นที่รับแสงทั้งหมดของ A1, A2 และ A3 เท่ากับพื้นที่รับแสงทั้งหมดของ B1, B2 และ B3 ตามลำดับ แต่จะแตกต่างกันที่ความกว้างของขั้วโลหะซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างของพื้นที่ปลอดประจุพาหะและพื้นที่เป็นกลาง ซึ่งจากรูปที่ 4.24 กระแสโฟโตในแต่ละความเข้มของแสงจะมีค่าแตกต่างกัน จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.24 ,4.25 และ 4.26 จะพบว่าในแต่ละความเข้มแสงของกระแสโฟโตที่เกิดขึ้นจาก A1, A2 และ A3 จะมีค่ามากกว่ากระแสโฟโตของ B1, B2 และ B3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ปลอดประจุพาหะของ A1, A2 และ A3 มากกว่า B1, B2 และ B3 ตามลำดับ ในขณะเดียวกันพื้นที่เป็นกลางของ A1, A2 และ A3 จะน้อยกว่าพื้นที่เป็นกลางของ B1, B2 และ B3 ตามลำดับ

4.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 2)

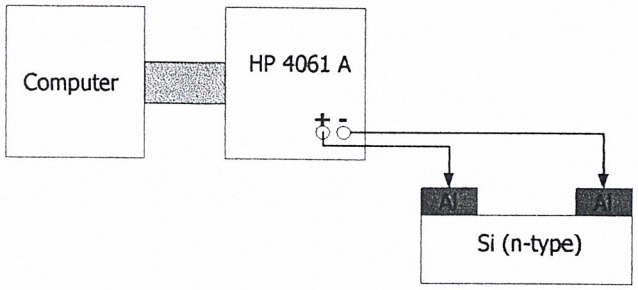
4.4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (แบบที่ 1)

โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่ออกแบบใหม่ ซึ่งกำหนดขนาดของพื้นที่รับแสงโดยที่ C1 มีขนาด 20 μm และที่ C2 มีขนาด 500 μm ดังแสดงในรูปที่ 4.27



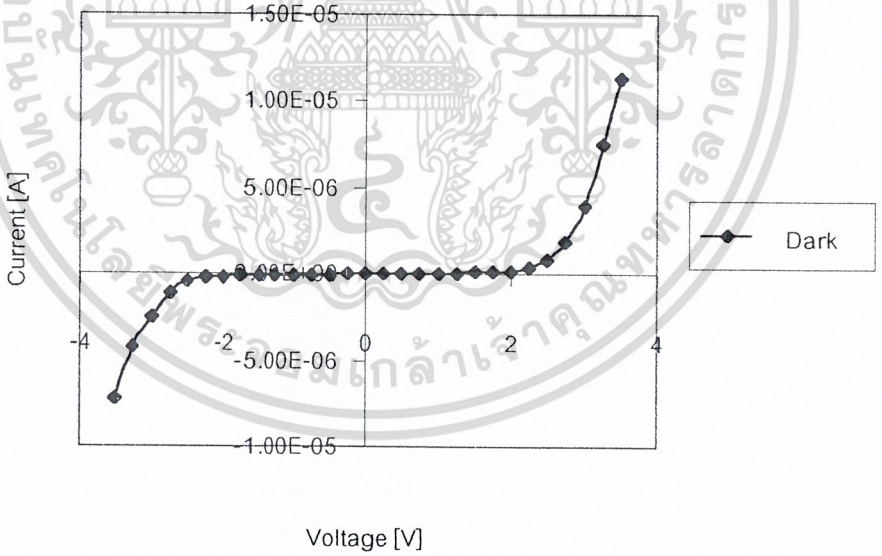
รูปที่ 4.27 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม C1 และ C2 (แบบที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al (ขณะไม่ได้รับแสง)

จากรูปที่ 4.28 ในการศึกษาหัวข้อนี้จะใช้การวัดจากเครื่อง HP4061A ซึ่งต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ในการควบคุมเครื่อง HP4061A และเก็บข้อมูลโดยเครื่อง HP4061A จะให้แรงดันไบอัสกับชิ้นงาน ซึ่งในหัวข้อนี้จะศึกษาคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ในแบบที่ 1 ที่ผ่านการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500°C เวลา 15 นาที เพื่อพิจารณาหาค่าของกระแสรั่วไหลและค่าแรงดันพังทะลาย ขณะได้รับไบอัส

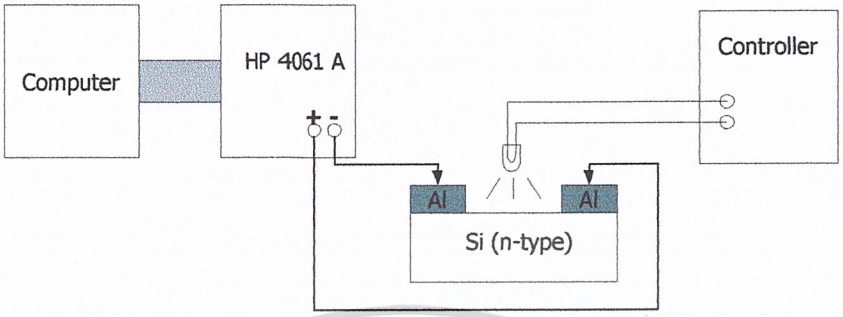


รูปที่ 4.29 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ในแบบที่ 1 (ขณะไม่ได้รับแสง)

จากรูปที่ 4.29 ในแบบที่ 1 ได้ค่ากระแสรั่วไหลขณะได้รับไบอัสประมาณ 0.708 μA และค่าแรงดันพังทะลายประมาณ ±2.5 V ซึ่งค่าที่ได้จากการออกแบบในชุดที่ 2 จะมีค่ามากกว่าการออกแบบในชุดที่ 1

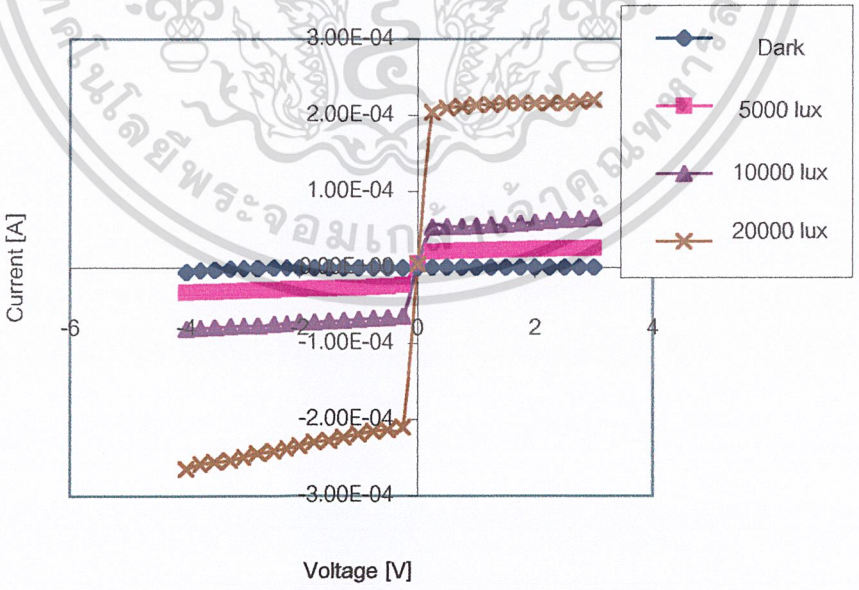
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการทดลองความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (แบบที่ 1)



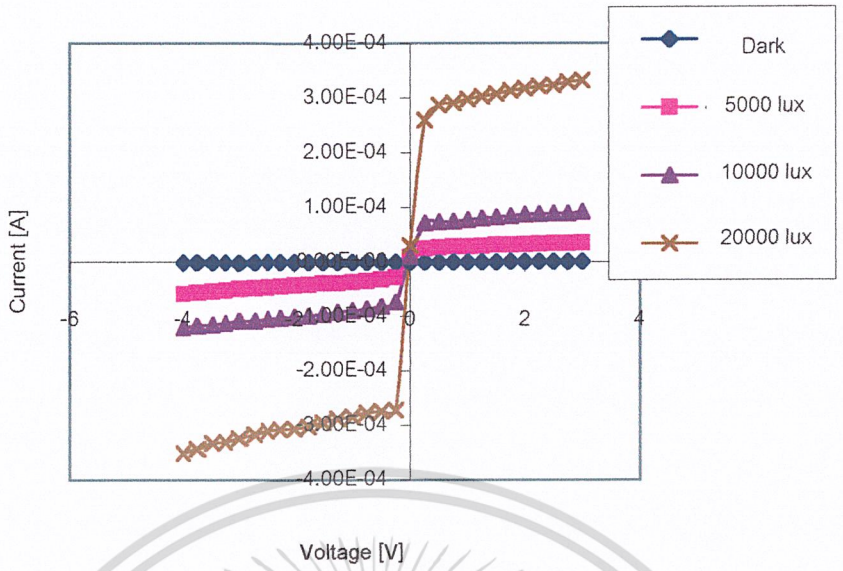
รูปที่ 4.30 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสง

การศึกษาในหัวข้อนี้ เพื่อศึกษาถึงความเข้มแสงที่จะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al โดยการฉายแสงที่มีความเข้มต่าง ๆ กันโดยใช้อุปกรณ์ Photocell Illuminometer (TOPCON SPI-71) ในการวัดระดับความเข้มของแสงเพื่อพิจารณาคุณลักษณะของกระแส-แรงดันขณะได้รับไบอัสตรงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบสมมาตรและพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณการไหลของกระแสในพื้นที่รับแสงที่มีขนาดต่างกันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ดังแสดงในรูปที่ 4.31 ถึง 4.32



รูปที่ 4.31 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข C1 (20 μm ไม่ปิดส่วน Al) เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



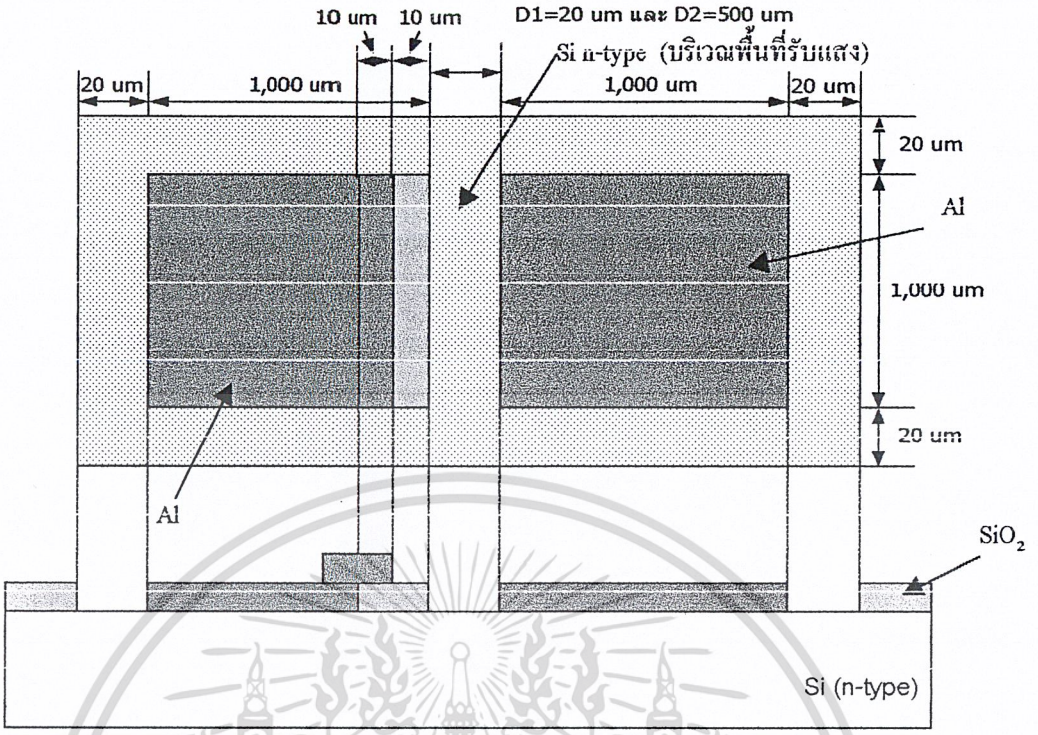
รูปที่ 4.32 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข C2 (500 μm ไม่ปิดส่วน Al) เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 4.31 ถึง 4.32 พบว่าที่ความเข้มแสงต่าง ๆ กัน ปริมาณกระแสโฟโตจะมีการเพิ่มตามความเข้มแสงที่ฉายลงบนพื้นที่รับแสงและปริมาณของกระแสของพื้นที่รับแสงระหว่าง 20 μm กับ 500 μm จะมีค่าใกล้เคียงกันและโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เป็นแบบสมมาตร ดังนั้นกระแสโฟโตที่วัดได้ในขณะที่โฟโตไดโอดได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับในแต่ละความเข้มแสงจะมีค่าใกล้เคียงกัน

4.4.3 ผลการทดลองความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (แบบที่ 2)

โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่ออกแบบใหม่ ซึ่งกำหนดขนาดของพื้นที่รับแสงโดยที่ D1 มีขนาด 20 μm และที่ D2 มีขนาด 500 μm ดังแสดงในรูปที่ 4.33

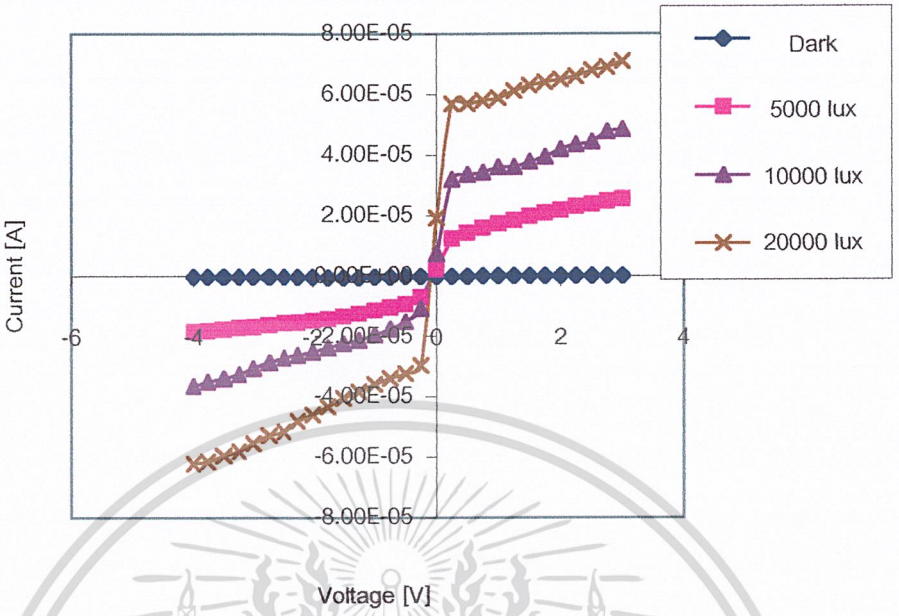
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



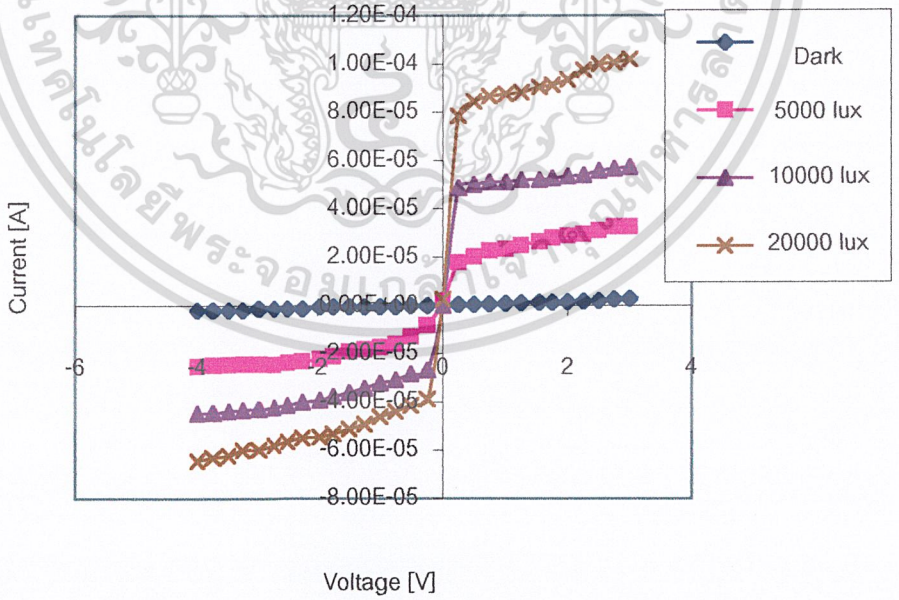
รูปที่ 4.33 ลักษณะลวดลายของอะลูมิเนียม D1 และ D2 (แบบที่ 2)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับในรูปที่ 4.30 ซึ่งการศึกษาในหัวข้อนี้ เพื่อศึกษาถึงความเข้มแสงที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al โดยการฉายแสงที่มีความเข้มต่าง ๆ กัน โดยใช้อุปกรณ์ Photocell Illuminometer (TOPCON SPI-71) ในการวัดระดับความเข้มของแสง และจากการออกแบบเพื่อที่จะศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างแบบที่ไม่มีการปิดในส่วนของอะลูมิเนียมกับแบบที่ทำการปิดในส่วนของอะลูมิเนียมด้วยซิลิคอนไดออกไซด์ เพื่อพิจารณาคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al และพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณการไหลของกระแสในพื้นที่รับแสงที่มีขนาดต่างกันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ดังแสดงในรูปที่ 4.34 ถึง 4.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข D1 (20 μm ปิดส่วน Al) เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.35 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al หมายเลข D2 (500 μm ปิดส่วน Al) เมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.34 ถึง 4.35 พบว่าที่ความเข้มแสงต่าง ๆ กัน ปริมาณกระแสโฟโตจะมีการเพิ่มตามความเข้มแสงที่ฉายลงบนพื้นที่รับแสงและปริมาณของกระแสของพื้นที่รับแสงระหว่าง 20 μm กับ 500 μm จะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนด้านที่อะลูมิเนียมถูกปิดไว้ปริมาณกระแสที่ไหลจะลดลงและน้อยกว่าด้านที่ไม่ถูกปิดอะลูมิเนียม โดยที่ค่ากระแสที่วัดได้ขณะได้รับไบอัสตรงและไบอัสกลับในแต่ละความเข้มแสงมีค่าต่างกัน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจจับแสงแบบ Al/n-Si/Al โดยได้ศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดและศึกษาผลของพื้นที่รับแสงต่อกระแสโฟโตไดโอด ซึ่งในการออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al โดยการซินเตอร์ริงโฟโตไดโอดที่อุณหภูมิ 500°C ซึ่งทำให้ได้โฟโตไดโอดที่มีรอยสัมผัสแบบอัลลอย และในการออกแบบโฟโตไดโอดนั้นได้ออกแบบโครงสร้างให้เป็นแบบสมมาตร จึงส่งผลให้กระแสโฟโตไดโอดมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ทั้งที่ขณะได้รับไบอัสตรงและไบอัสกลับ และที่อุณหภูมิการซินเตอร์ริงที่ 500 °C นั้นซึ่งรอยสัมผัสเป็นแบบอัลลอยจะมีกระแสรั่วไหลที่ต่ำและแรงดันพังทะลายที่แน่นอน และมีกระแสไหลขณะที่ได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับที่ใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลองของกระแส-แรงดันและความเข้มแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1) ค่าของกระแสรั่วไหลของโฟโตไดโอดมีค่าน้อยกว่า 0.5 μA และมีแรงดันพังทะลายที่ประมาณ ±2V และจากผลการทดลองความเข้มแสงโดยการฉายแสงที่ความเข้มต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาความเข้มแสงที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าของโฟโตไดโอด กล่าวได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มแสงมากกระแสโฟโตไดโอดจะเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน และสุดท้ายคือผลจากการทดลองของพื้นที่รับแสง โดยแบ่งพื้นที่รับแสงออกเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่ปลอดประจุพาหะและพื้นที่เป็นกลาง โดยถ้าเพิ่มแรงดันไบอัสจะส่งผลให้พื้นที่ปลอดประจุพาหะเพิ่มมากขึ้นและพื้นที่เป็นกลางลดลง และถึงแม้ว่าพื้นที่เป็นกลางเพิ่มขึ้นแต่พื้นที่ปลอดประจุพาหะที่ได้ก็ยังคงเท่าเดิม กระแสโฟโตไดโอดที่ได้ก็มีค่าเท่าเดิมเช่นกัน สามารถกล่าวได้ว่าการเพิ่มขึ้นของกระแสโฟโตไดโอดจะขึ้นอยู่กับการเพิ่มของพื้นที่ปลอดประจุพาหะ

จากผลการทดลองของกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 2) ได้ค่ากระแสรั่วไหลขณะได้รับไบอัสประมาณ 0.708 μA และค่าแรงดันพังทะลายประมาณ ±2.5 V ซึ่งค่าที่ได้จากการออกแบบในชุดที่ 2 จะมีค่ามากกว่าการออกแบบในชุดที่ 1 และจากผลการทดลองความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al พบว่าที่ความเข้มแสงต่าง ๆ กัน ปริมาณกระแสโฟโตจะมีการเพิ่มตามความเข้มแสงที่ฉายลงบนพื้นที่รับแสง และเมื่อพิจารณาแบบที่ไม่มีการปิดในส่วนของอะลูมิเนียมโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al เป็นแบบสมมาตร ดังนั้น กระแสโฟโตที่วัดได้ในขณะที่โฟโตไดโอดได้รับแรงดันไบอัสตรงและไบอัสกลับในแต่ละความเข้มแสงจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่แบบที่ทำการปิดในส่วนของอะลูมิเนียมด้วยซิลิคอนไดออกไซด์พบว่า ด้านที่อะลูมิเนียมถูกปิดไว้ปริมาณกระแสที่ไหลจะลดลงและน้อยกว่าด้านที่ไม่ถูกปิดอะลูมิเนียม โดยที่ค่ากระแสที่วัดได้ขณะได้รับไบอัสตรงและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไบอัสกลับในแต่ละความเข้มแสงมีค่าต่างกัน และเมื่อพิจารณาปริมาณของกระแสของพื้นที่รับแสง ระหว่าง 20 μm กับ 500 μm ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] Desmarais Louis. **Applied Electro-optics.** Upper Saddle River. NJ : Prentice Hall PTR. 1998.

[2] Sze S. M. **Physics of Semiconductor Devices 2nd Edition.** 1981.

[3] Rhoderick E. H. Williams R. H. **Metal-Semiconductor Contacts 2nd Edition** Oxford University Press. New York. 1988.

[4] Sze S M. Coleman D. J. JR. and Loya A. "Current Transport in Metal-Semiconductor-Metal (MSM) Structures." Solid-State Electronics. 1971. Vol. 14. pp. 1209-1248.

[5] Takano H. Kimura M. Ando T. Niemcharoen S. Yasamura Y. and Sato K. "Optical Response of Planar Mo/n-Si/Mo Structure With Long Neutral Region and Schottky Barriers at Both Ends.", Solid-State Electronics 44 (2000). pp.2161-2164.

[6] Solymar L. Walsh D. **Lectures on the electrical properties of materials.** 5th ed. Oxford : Oxford University Press. 1993.

[7] Gerikd W. Neudeck. **The PN junction diode.** 2nd ed. Reading MA : Addison-Wesle. c1989.

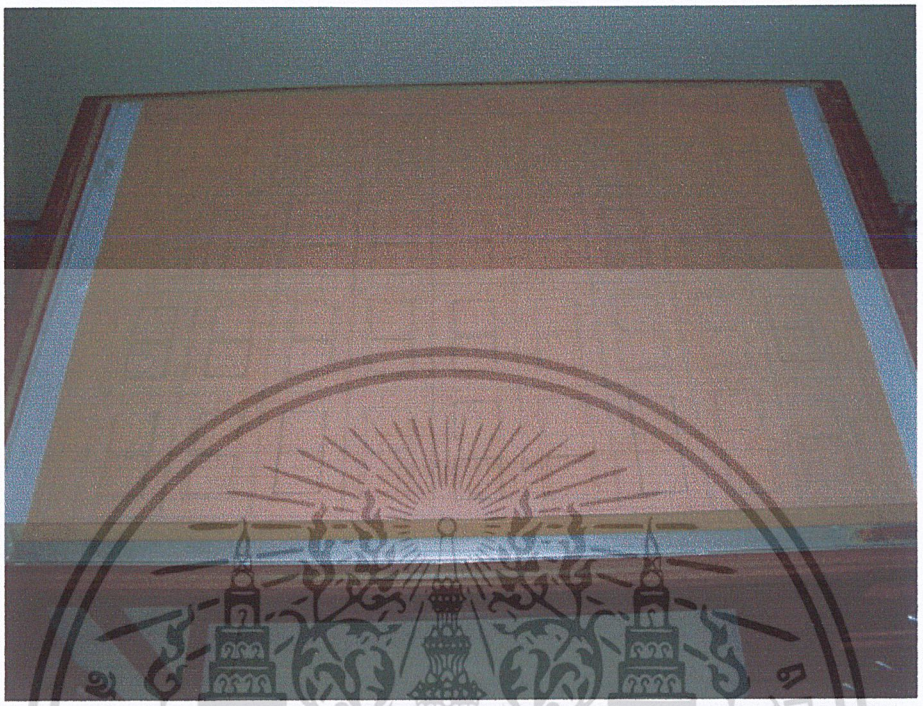
[8] รศ.ดร.สมเกียรติ ศุภเดช. **เซมิคอนดัคเตอร์ฟิสิกส์.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. พ.ศ.2542.

[9] ดุสิต เครืองาม. **สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ : ฟิสิกส์เทคโนโลยีและการใช้งานงาน.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.

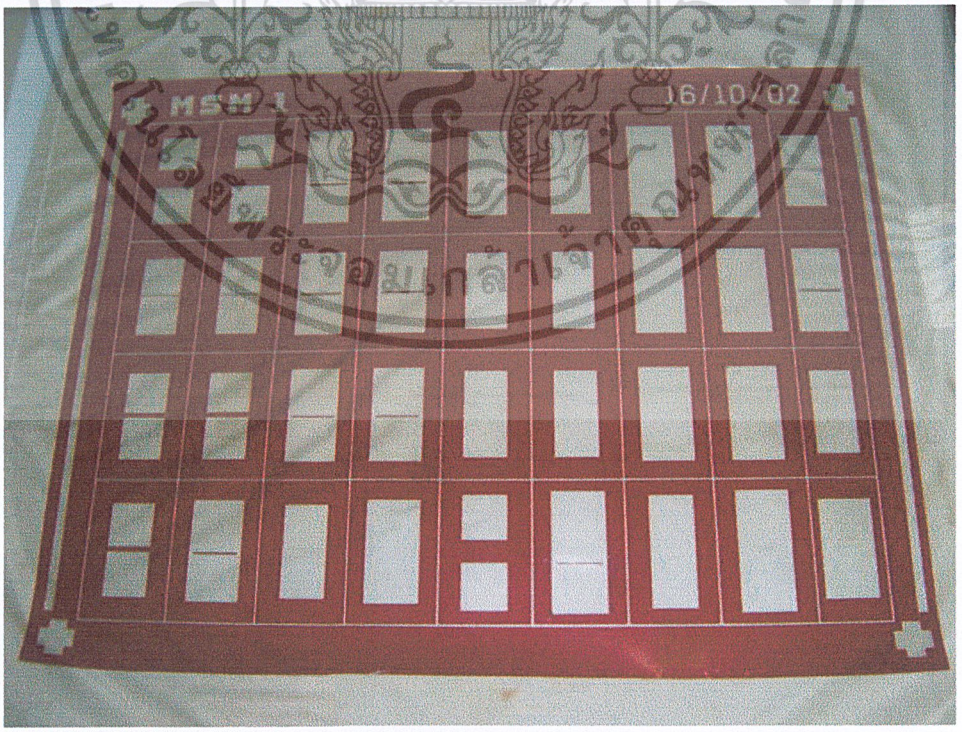
[10] สรายุทธ วิศวแสวงสุข และคณะ. "การศึกษาค่าความสูงของกำแพงศักย์ของรอยสัมผัสแบบชอตต์กีที่ผ่านการซินเตอร์ริง". การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 23. พ.ศ.2543. หน้า 721-724.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

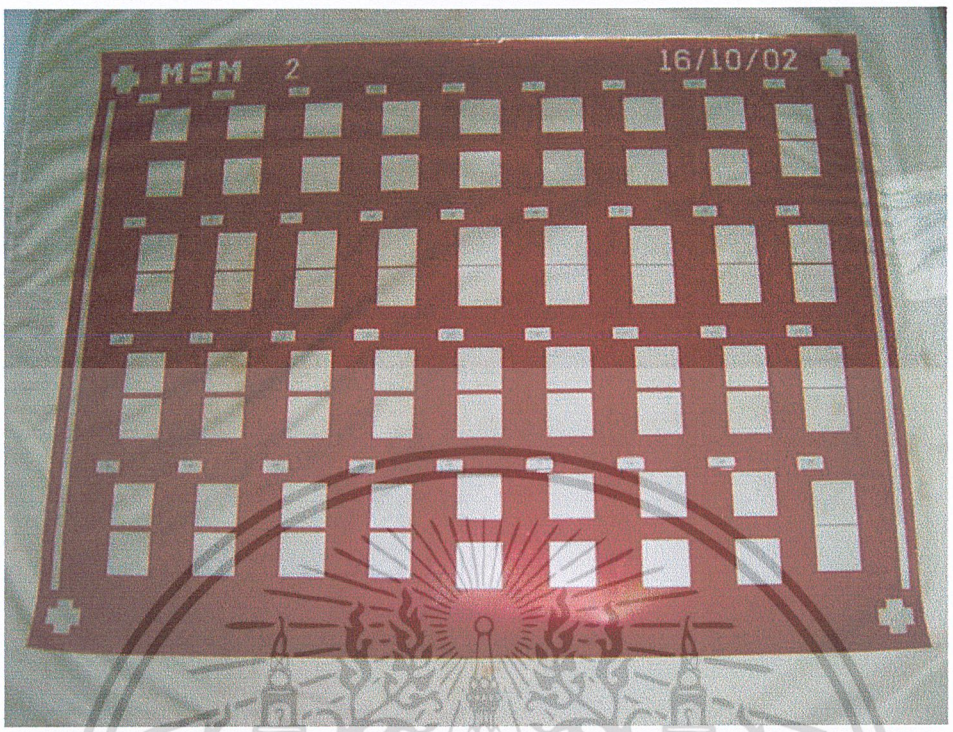


รูปที่ 1-ก กระดาษกราฟที่ใช้เขียนมาส์คต้นแบบ

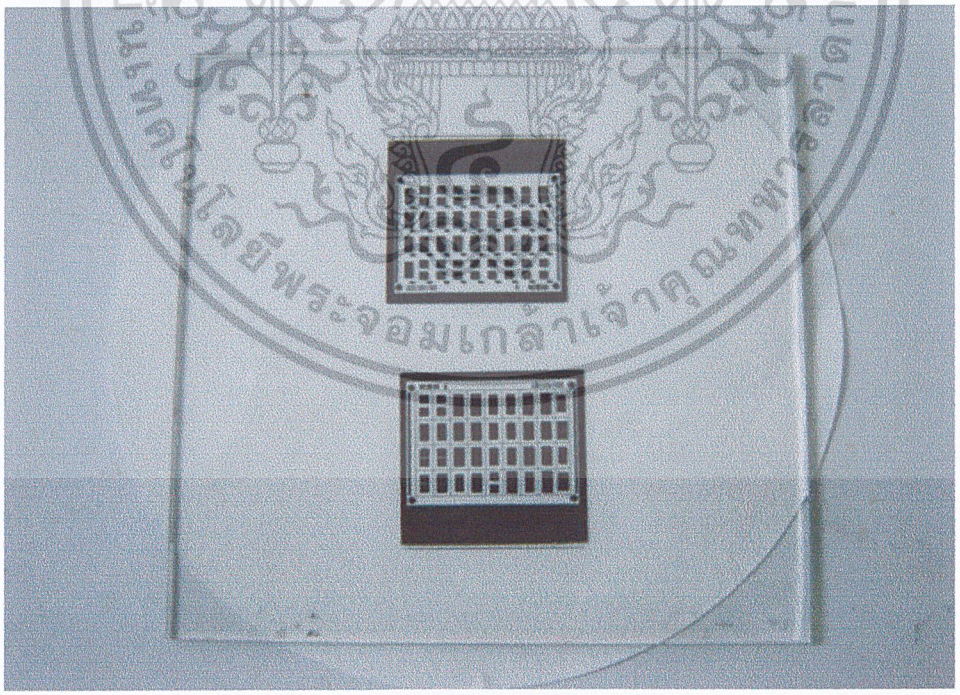


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2-ก มาส์คต้นแบบที่ 1

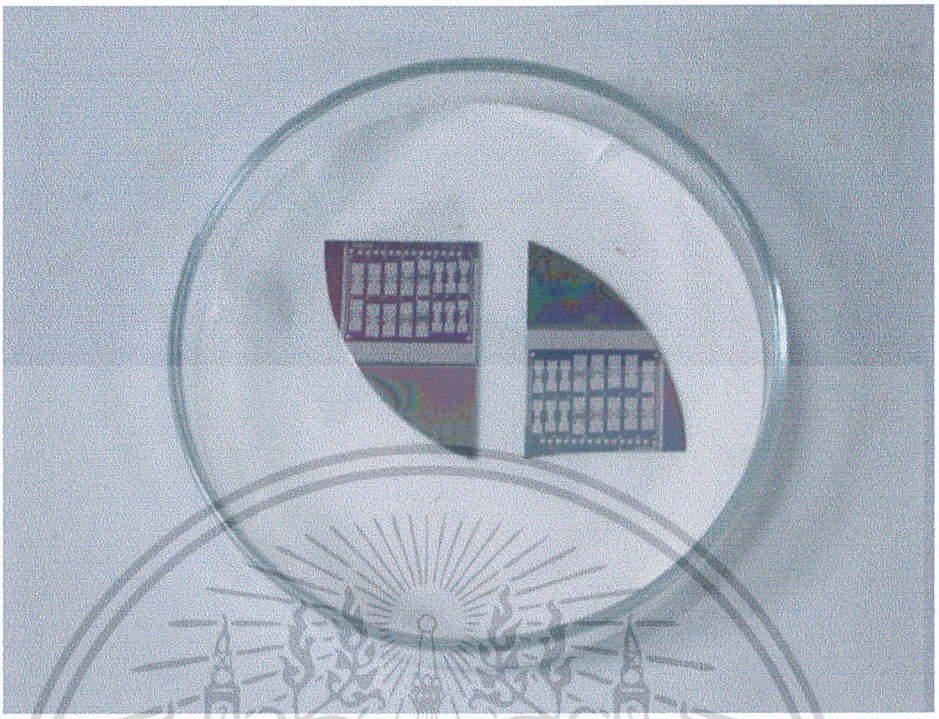


รูปที่ 3-ก มาส์คต้นแบบที่ 2

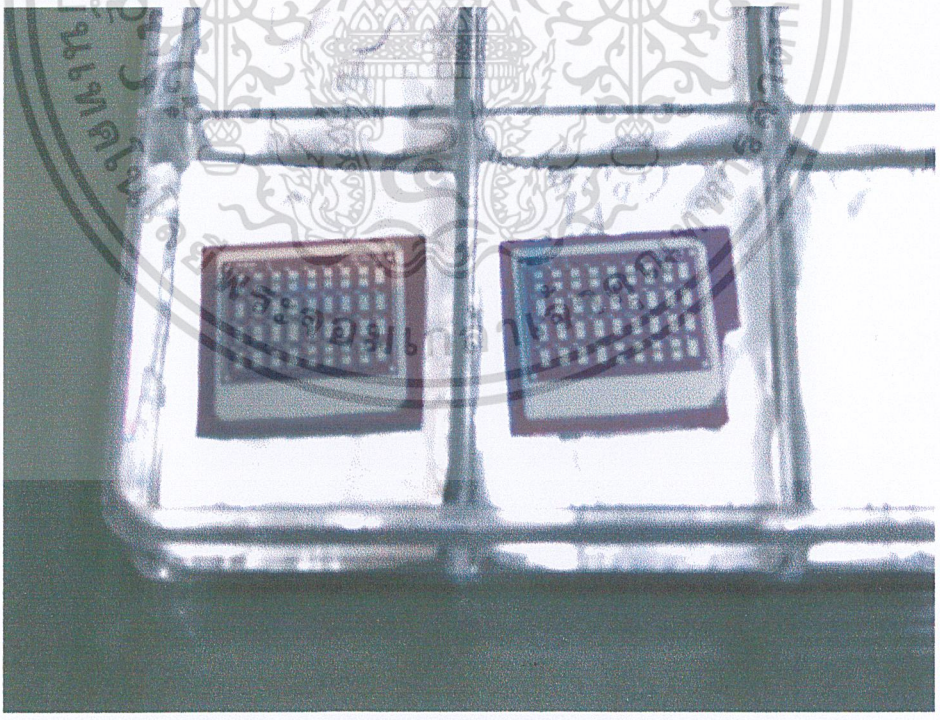


รูปที่ 4-ก กระจกมาส์คที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-ก ชิ้นงานโฟโตไอโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 1)



รูปที่ 6-ก ชิ้นงานโฟโตไอโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al (ชุดที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้