สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิจิเตท

THE STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF Al/n-Si/Al INTERDIGITATED PHOTODIODE

ธนพัฒน์ ชมสินทรัพย์

เสริญพงศ์ เปลี่ยนศรี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61781
วัน,เดือน,ปี 21 ก.ค. 2549

b 14603318
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิจิเตท

THE STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF Al/n-Si/Al INTERDIGITATED PHOTODIODE

โดย

ธนพัฒน์ ชมสินทรัพย์ 45015196

เสริญพงศ์ เปลี่ยนศรี 45015262

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2547

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิจิเตท

THE STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF Al/n-Si/Al INTERDIGITATED PHOTODIODE

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธนพัฒน์ ชมสินทรัพย์ 45015196

นายเสริญพงศ์ เปลี่ยนศรี 45015262

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ผศ.ดร. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงาน การศึกษาสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิจิเตท

THE STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF Al/n-Si/Al INTERDIGITATED PHOTODIODE

ชื่อนักศึกษา 1. นายธนพัฒน์ ชมสินทรัพย์ 45015196

2. นายเสริญพงศ์ เปลี่ยนศรี 45015262

โครงงานได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

(ผศ.ดร. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Alแบบอินเตอร์ดิจิเตท
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธนพัฒน์ ชมสินทรัพย์ 45015196
	นายเสริญพงศ์ เปลี่ยนศรี 45015262
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
ปีการศึกษา	2547

บทคัดย่อ

โฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ นับเป็นโฟโตดีเทคเตอร์ชนิดใหม่ที่เป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ โครงสร้างของโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ ประกอบด้วยชั๊อตต์คีย์ไดโอดต่อกันแบบหันหลังชนกัน (back-to-back) โดยกำแพงศักย์ชอตตคีย์จะเป็นไปตามกฎของค่าฟังก์ชันงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำ ในรายงานฉบับนี้ได้มุ่งการศึกษาขั้วไฟฟ้าแบบอินเตอร์ดิจิเตท (Interdigitated) ซึ่งมีข้อดีคือ เป็นโครงสร้างที่เพิ่มประสิทธิภาพในการรวบรวมประจุพาหะที่เกิดจากแสง โดยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในโครงสร้างแบบอินเตอร์ดิจิเตท ได้แก่ ความกว้าง,ความยาวและจำนวนของขั้วโลหะ ความกว้างของช่องรับแสง และความเข้มแสง ซึ่งส่งผลต่อค่ากระแสแสงของโฟโตไดโอด จากที่ได้ทำการศึกษาพบว่าการเพิ่มความยาวและจำนวนของขั้วโลหะ รวมถึงการเพิ่มความเข้มแสงส่งผลให้กระแสแสงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น และการตอบสนองความถี่ของโฟโตไดโอดทั้งหมดมีค่าที่ช่วงประมาณ 80-100 kH_z เนื่องจากความจุไฟฟ้าบริเวณแพด(pad) มีค่าสูงกว่าความจุไฟฟ้าบริเวณปลอดพาหะมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	THE STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF Al/n-Si/Al INTERDIGITATED PHOTODIODE
Authors	Mr. Thanapat Chomsinsep 45015196
	Mr. Sernphong Pliansree 45015262
Thesis Advisor	Asst. Prof. Surasak Niemcharoen
Year	2004

ABSTRACT

Metal-semiconductor-metal photodiodes (MSM) are another, new class of photodetectors that offer an attractive alternative. MSM photodiodes is consisted of back-to-back Schottky diodes. Schottky diode's potential barrier is also ruled by the metal and semiconductor work function. In this report focus attention on the interdigitated electrode ,were employed to enhance the collection efficiency of the photogenerated carries, consist of parameter such as width, length and number of the finger, gap width between the finger and light intensity that can effect to diode photocurrent. According the result, an increase of length and number of finger and light intensity effect to which an increase of diodes photocurrent in term of linear function. And the frequency response of all photodiodes are about 80-100 kHZ because pad capacitor are more than depletion capacitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และคุณมานิตา ด้วงแสงที่ให้ความรู้ แนวความคิด และให้คำปรึกษาแก้ไขปัญหาในขณะทำการวิจัย มาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ในระหว่างทำการวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคน ที่เป็นกำลังใจให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้ให้กำเนิด ให้ความอุปการะ และสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด

.....

(นาย ธนพัฒน์ ชมสินทรัพย์)

.....

(นาย เสริญพงศ์ เปลี่ยนศรี)

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 คุณสมบัติของคลื่นแสง	3
2.2 คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่ใช้การสร้างโฟโตไดโอด	5
2.3 การรวมตัวใหม่และการเกิดพาหะ(Recombination and Generation)	7
2.4 กระบวนการ R-G (Recombination- Generation Process)	8
2.4.1 กระบวนการ R-G โดยตรง (Direct R-G Process)	8
2.4.2 กระบวนการ R-G โดยอ้อม(Indirect band gap)	9
2.5 รอยสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ	10
2.5.1รอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น	11
2.5.2 ลักษณะคุณสมบัติเกี่ยวกับรอยต่อแบบชอตต์กี	13
2.6 โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM	14
2.6.1 การทำงานของโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบกระบวนการสร้างและการทดลอง 22

3.1 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al 22

3.3.1 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si /Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท 22

3.1.2 กระบวนการสร้างกระจกต้นแบบ 24

3.2 ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/ n-Si /Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท 25

3.2.1 ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/ n-Si /Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท 25

3.2.2 ลำดับขั้นตอนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท 28

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 32

4.1 การศึกษาคุณลักษณะกระแสแรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อเปลี่ยนค่า ความเข้มแสง 32

4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ขณะ ไม่ได้รับแสง 33

4.1.2 การศึกษาคุณสมบัติกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับความเข้มแสง 34

4.1.3 ผลของจำนวนขั้วโลหะต่อกระแสแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 37

4.1.4 ผลของความยาวขั้วไฟฟ้าต่อกระแสแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.4 ผลของความยาวขั้วไฟฟ้าต่อกระแสแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 38

4.1.5 ผลของความกว้างขั้วไฟฟ้าต่อกระแสแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 39

4.1.6 ผลของความกว้างของช่องรับแสงต่อกระแสแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 40

4.2 การศึกษาคุณสมบัติการตอบสนองทางความถี่ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 41

4.2.1 ผลของกราฟ Normalize ต่อ ความถี่ที่มีเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ความยาวของขั้วโลหะ ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 44

4.2.2 ผลของกราฟ Normalize ต่อ ความถี่ที่มีเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ความกว้างของขั้วโลหะของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 45

4.2.3 ผลของกราฟ Normalize ต่อ ความถี่ที่มีเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ความกว้างของช่องรับแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 47

4.2.4 ผลของกราฟ Normalize ต่อ ความถี่ที่มีเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ จำนวนขั้วโลหะ ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 48

4.2.5 ผลของกราฟ Normalize ต่อ ความถี่ที่มีเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ค่าความต้านทานโหลดของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 50

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 โฟโตไดโอดแบบโครงสร้าง MSM (Al /n- Si / Al)	2
รูปที่ 2.1 การดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสงในสารกึ่งตัวนำ	4
รูปที่ 2.2 การทดลองการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก	4
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความถี่แสงในปรากฏการณ์ โฟโตอิเล็กทริกกระแสไฟฟ้าจะเริ่มไหลเมื่อความถี่ของแสงสูงกว่าค่าๆหนึ่ง	5
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ $E-k$ ของสารกึ่งตัวนำ (ก) แบบช่องตรง (ข) แบบช่องไม่ตรง	6
รูปที่ 2.5 (ก) การเกิดพาหะโดยตรงหรือ Band to Band Generation และ	9
(ข) การรวมตัวใหม่โดยตรงของพาหะ Band to Band recombination	9
รูปที่ 2.6 (ก) แสดงการเกิดพาหะโดยอ้อม หรือ R-G Center Generation และ	10
(ข) การรวมตัวใหม่โดยอ้อมของพาหะ หรือ R-G Center Recombination	10
รูปที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ในกรณีที่ $\phi_m > \phi_s$ เกิดเป็นรอยสัมผัสแบบเร็คติไฟร์ (ก) ก่อนสัมผัส (ข) หลังสัมผัส	11
รูปที่ 2.8 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ในกรณีที่ $\phi_m < \phi_s$ เกิดเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มิค (ก) ก่อนสัมผัส (ข) หลังสัมผัส	12
รูปที่ 2.9 ลักษณะแถบพลังงานแสงค่าต่างๆของรอยต่อแบบชอตต์กี	13
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM	14
รูปที่ 2.11 โครงสร้างและแถบพลังงานของโฟโตไดโอดโครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (ก) ภาพตัดขวางของโฟโตไดโอดโครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (ข) แถบพลังงานในสภาวะสมดุลย์ความร้อน (ค) แถบพลังงานภายหลังจากได้รับแรงดันไบอัส และมีแสงตกกระทบ	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 โครงสร้าง Al/n-Si/Alลวดลายแบบอินเตอร์ดิจิเตท 32

รูปที่ 4.2 การวัดกระแส-แรงดันในขณะไม่มีแสง (I-Dark) ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 33

รูปที่ 4.3 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบสมมาตร 33

รูปที่ 4.4 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสง 34

รูปที่ 4.5 แสดงสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด Al/n-Si/Al ที่มี ความกว้างของช่องรับแสง 20μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 2 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว เมื่อให้ความเข้มแสงค่าต่างกัน 35

รูปที่ 4.6 แสดงบริเวณปลอดพาหะกับบริเวณพื้นที่เป็นกลางของ โฟโตไดโอดเมื่อได้รับการไบอัส 35

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความเข้มแสงของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความกว้างของ ขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 2 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว ที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์ 36

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความยาวของขั้วโลหะของ โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40μm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว และ ความเข้มแสง 10,000 lux ที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์ 37

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความเข้มแสงของ โฟโตไดโอดโครงสร้างAl/n-Si/Al ที่มีความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว ความเข้มแสง 10,000 lux ที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์ 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 แสงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความกว้างของขั้วโลหะของ 40
โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีความกว้างของช่องรับแสง 20 μm
ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว และความเข้มแสง
10,000 lux ที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์

รูปที่ 4.11 แสงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความกว้างของช่องรับแสงของ 40
โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm
ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว และความเข้มแสง
10,000 lux ที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์

รูปที่ 4.12 แสดงบริเวณปลอดพาหะกับบริเวณพื้นที่เป็นกลางของโฟโตไดโอด 41
เมื่อได้รับการไบอัส

รูปที่ 4.13 (ก) การวัดผลการตอบสนองความถี่ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al 42
(ข) ค่าความจุรวมภายในของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Photorespone (Norm) และ ความถี่ (Frequency) 44
โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีการเปลี่ยนค่าความยาวของขั้วโลหะ
ความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm
จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว ที่แรงดันไบอัสวงจร 5 โวลต์ และความต้านทาน 10 kΩ

รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Photorespone (Norm) และ ความถี่ (Frequency) 45
โฟโตไดโอโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของขั้วโลหะ
ความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ
8 ขั้ว และที่แรงดัน ไบอัสวงจร 5 โวลต์ และความต้านทาน 10 kΩ

รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Photorespone (Norm) และ ความถี่ (Frequency) 47
โฟโตไดโอโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีที่มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของช่องรับแสง
ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ
8 ขั้ว และที่แรงดันไบอัสวงจร 5โวลต์ และความต้านทาน 10 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Photorespone (Norm) และ ความถี่ (Frequency) 48
โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีการเปลี่ยนจำนวนของขั้วโลหะ
ความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของ
ขั้วโลหะ 1 mm ที่ แรงดันไบอัสวงจร 5 โวลต์ และความต้านทาน 10 kΩ

รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Photorespone (Norm) และ ความถี่ (Frequency) 50
โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีการเปลี่ยนค่าความต้านทานโหลด
ความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm
ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว ที่แรงดันไบอัสวงจร 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบ อินเตอร์ดิจิเตท ที่มีการเปลี่ยนค่าความยาวของขั้วโลหะ L 29

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบ อินเตอร์ดิจิเตทที่มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของขั้วโลหะ W 29

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบ อินเตอร์ดิจิเตท ที่มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของช่องรับแสง S 30

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดค่าความจุโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบ อินเตอร์ดิจิเตทมีการเปลี่ยนค่าความยาวของขั้วโลหะ ที่ได้จากการคำนวณ 44

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดค่าความจุโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะ แบบ อินเตอร์ดิจิเตทมีการเปลี่ยนค่าความกว้างของขั้วโลหะ ที่ได้จากการคำนวณ 46

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดค่าความจุโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบ อินเตอร์ดิจิเตทมีที่มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของช่องรับแสง ที่ได้จากการคำนวณ 47

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดค่าความจุโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะ แบบอินเตอร์ดิจิเตทมีการเปลี่ยนจำนวนขั้วโลหะ 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

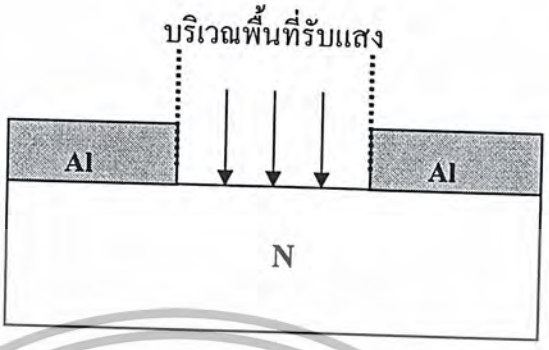
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสงได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ทางแสง ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพราะเป็นอุปกรณ์ที่มีความรวดเร็ว ความเที่ยงตรง และความแม่นยำ จึงได้มีการศึกษาสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสง และได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วมาโดยตลอด สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทางแสงที่สำคัญๆ ได้แก่ โฟโตดีเท็คเตอร์ (Photodetector) หรือตัวตรวจวัดแสง โฟโตไดโอดซึ่งเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทางแสงมีหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณทางแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งจะนำไปใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป สารกึ่งตัวนำที่ได้นำมาใช้ในงานสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงก็เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีคุณลักษณะมีความไวต่อแสงได้ดี และสามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้ในวงจรได้ดี เช่น เจอร์มาเนียม (Ge), ซิลิคอน (Si)และ แกลเลียมอาเซไนด์ (GaAs) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ทางแสงมากที่สุดเพราะ ตอบสนองความถี่ที่สูงๆ ได้ดีกว่า ซิลิคอน โฟโตไดโอดมีโครงสร้างหลายลักษณะแตกต่างกันไปเช่น พีเอ็นโฟโตไดโอด , พินโฟโตไดโอด , โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM , อะวาลานซ์โฟโตไดโอด ในงานนี้เราจะมาทำการศึกษากระบวนการสร้างโฟโตไดโอดที่มีโครงสร้างแบบ MSM ซึ่งเป็นการใช้สารกึ่งตัวนำในการสร้างเป็น ซิลิคอน (Si) ซึ่งมีกระบวนการสร้างที่ง่ายกว่า แกลเลียมอาเซไนซ์ (GaAs) และมีคุณสมบัติที่น่าสนใจหลายๆอย่าง

โฟโตไดโอด โครงสร้าง Al / n-Si / Al เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยรอยสัมผัสระหว่างสารกึ่งตัวนำและโลหะ สองรอยสัมผัส ดังรูปที่ 1.1 โดยจะมีการเปิดช่องระหว่างรอยสัมผัสทั้งสอง (Gap) ซึ่งเป็นบริเวณซิลิคอนทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณแสงแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ข้อดีของโฟโตไดโอดชนิดนี้คือ มีโครงสร้างเป็นแบบพลานาร์ (Planar Structure) ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาในกระบวนการสร้างเป็นอุปกรณ์ร่วมในวงจรรวมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 โฟโตไดโอดแบบโครงสร้าง MSM (Al /n- Si / Al)

สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ในการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง คือ แกลเลียมอาเซไนซ์ เพราะว่ามีคุณสมบัติที่ดีคือ มีแถบพลังงานแบบช่องตรง (Direct Band Gap) ซึ่งแตกต่างจากซิลิคอนที่แถบพลังงานเป็นแบบช่องไม่ตรง (Indirect Band Gap) พลังงานแสงที่ต้องการจะให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระในการนำกระแสของแกลเลียมอาเซไนซ์จึงน้อยกว่าของซิลิคอน และการตอบสนองความถี่ก็ดีกว่าอีกด้วย แต่ถึงอย่างไร ซิลิคอนก็มีข้อดีที่น่าสนใจหลายอย่างเช่น กระบวนการสร้างที่ง่ายกว่า ราคาที่ถูกกว่า อีกทั้งกระบวนการสร้างวงจรรวมที่ใช้ในปัจจุบันก็ใช้สารกึ่งตัวนำที่เป็นซิลิคอนอีกด้วย สำหรับโลหะที่ใช้ในการศึกษากระบวนการสร้างนี้ได้เลือกใช้อะลูมิเนียม เนื่องจากกระบวนการสร้างชั้นโลหะสามารถทำได้ง่ายและไม่อันตราย อีกทั้งยังเป็นวัสดุพื้นฐานในการสร้างวงจรรวม

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานมีดังต่อไปนี้

1 ศึกษาการออกแบบโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM(Al/n-Si/Al)ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท

2 ศึกษากระบวนการสร้างและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโตไดโอดโครงสร้าง MSM(Al/n-Si/Al) ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท

3 ศึกษาคุณสมบัติทางแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้างMSM(Al/n-Si/Al) ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท

4 ศึกษาผลตอบสนองทางแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM (Al/n-Si/Al)ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 คุณสมบัติของคลื่นแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันไป แสงที่ตามนุษย์เรามองเห็นเรียกว่า แสงมองเห็น (Visible light) ซึ่งมีคลื่นความยาวอยู่ในช่วงประมาณ 400 – 700 nm โดยที่แสงมีทั้งคุณสมบัติที่เป็นทั้ง "คลื่น" และ "อนุภาค" ปรากฏการณ์ที่แสงแสดงคุณสมบัติเป็นคลื่นก็คือ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด โดยความเร็วของแสงที่เดินทางมีความสัมพันธ์กับความยาวของคลื่นแสงและความถี่ของคลื่นแสงคือ

$$\lambda = Co / \nu \qquad (2.1)$$

λ คือ ความยาวคลื่นแสง (m)

Co คือ ความเร็วของแสงที่เดินทางในสูญญากาศ ($Co = 2.99792458 \times 10^{8}$ m/s)

ν คือ ความถี่ของคลื่นแสง (Hz)

ในทางฟิสิกส์แบบควอนตัม คลื่นแสงถูกพิจารณาว่ามีคุณสมบัติเป็นอนุภาคอีกด้วยโดยที่อนุภาคของแสงถูกเรียกว่า โฟตอน (Photon) อนุภาคของแสงนี้จะมีพลังงานอยู่ภายในโดยที่พลังงานของโฟตอนนี้จะแปรกับความถี่ของคลื่นแสงคือ

$$E_{photon} = h\nu = hC / \lambda = 1.24 / \lambda_{(\mu m)} \qquad (2.2)$$

E_{photon} คือ พลังงานของโฟตอน (eV)

h คือ ค่าคงตัวของแพลงค์ $= 6.626 \times 10^{-34}$ J – sec

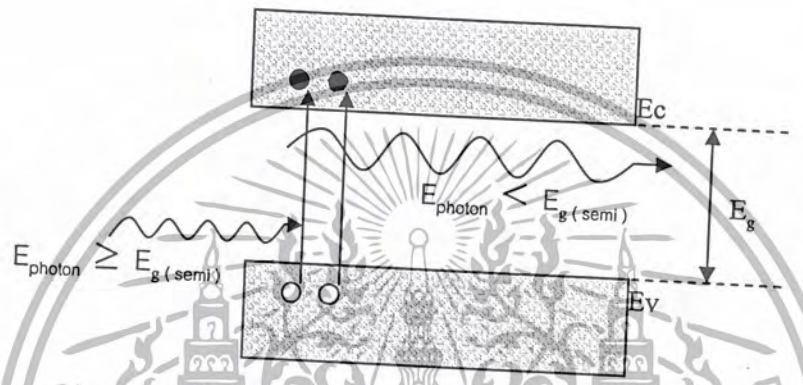
C คือ ความเร็วแสง $= 3 \times 10^{8}$ m/s

ν คือ ความถี่

λ คือ ความยาวคลื่นของแสงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

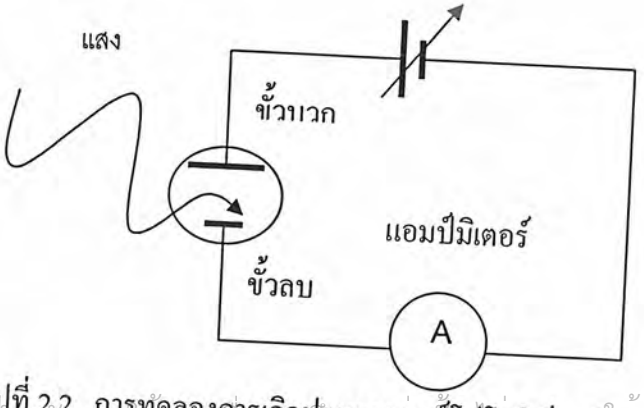
เมื่อพลังงานโฟตอนของแสงมีค่ามากกว่าขนาดของช่องว่างพลังงาน (Energy gap : E_g) ของสารกึ่งตัวนำ หรือ $E_{photon} \geq E_{g(semi)}$ สารกึ่งตัวนำจะดูดกลืนพลังงานแสงทำให้มีคู่อิเล็กตรอน – โฮล เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำ ความนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจึงเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแสงแต่ในกรณีที่ $E_{photon} < E_{g(semi)}$ การดูดกลืนจะไม่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสงในสารกึ่งตัวนำ

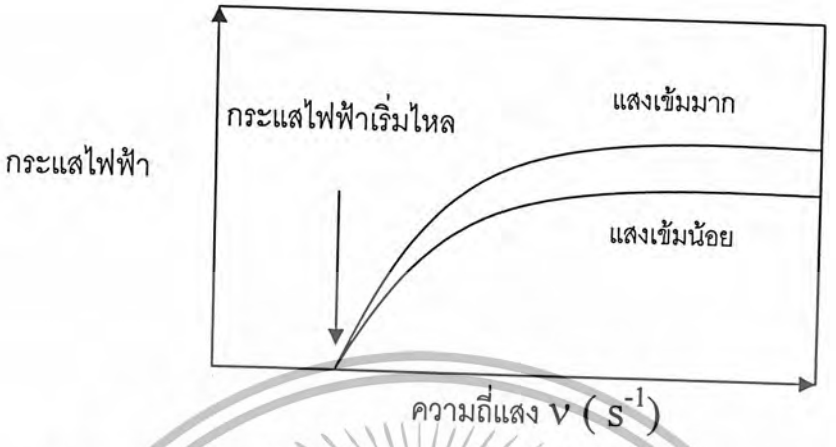
ปรากฏการณ์หนึ่งที่แสดงว่าแสงเป็นอนุภาคคือ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การส่องแสงลงบนผิวโลหะที่วางอยู่ในสูญญากาศแล้วทำให้อิเล็กตรอนที่ผิวโลหะกระเด็นออกจากผิวโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

ในรูปที่ 2.2 ในหลอดสูญญากาศมีแผ่นขั้วไฟฟ้าบวกและลบบรรจุอยู่ ขั้วไฟฟ้าเหล่านี้ถูกต่อออกไปสู่วงจรภายนอกซึ่งมีแบตเตอรีไบอัสอยู่เมื่อแสงส่องลงบนขั้วไฟฟ้าลบจะพบว่า ถ้าแสงมีความถี่สูงกว่าค่าๆ หนึ่ง จะทำให้มีกระแสไหลในวงจรแต่ถ้าแสงมีความถี่ต่ำเกินไป จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 การทดลองการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความถี่แสงในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก กระแสไฟฟ้าจะเริ่มไหลเมื่อความถี่ของแสงสูงกว่าค่าๆหนึ่ง

ปรากฏการณ์นี้ได้แสดงให้เห็นว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นอนุภาค และพลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากโลหะ E มีค่าเท่ากับพลังงานของแสงที่ฉายลงมาบนผิวของโลหะ $h\nu$ ลบด้วยพลังงานที่จำเป็นในการดึงอิเล็กตรอนในโลหะให้หลุดออกมาข้างนอก $q\phi$ และเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$E = h\nu - q\phi \qquad (2.3)$$

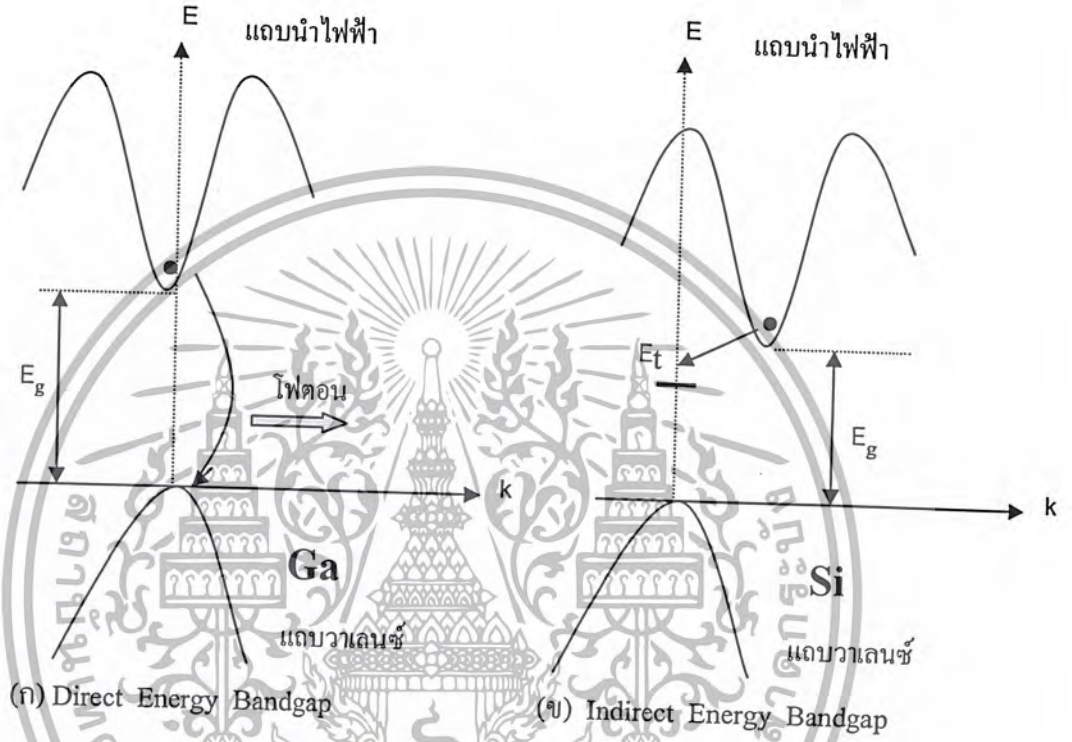
โดยที่ ϕ เรียกว่า เวิร์กฟังก์ชั่น (Work function) และ $q\phi$ มีหน่วยเป็น eV

2.2 คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่ใช้การสร้างโฟโตไดโอด

โดยความเป็นจริงนั้น ลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ จะมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกกว่าในรูปที่ 2.1 มากสิ่งสำคัญที่เราสนใจในกราฟ E – k ก็คือ ตำแหน่งของค่าพลังงานต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้า กับตำแหน่งของค่าพลังงานสูงสุดในแถบวาเล็นซ์ หรือจุดสูงสุดของแถบวาเล็นซ์ เราจะพบว่าสารกึ่งตัวนำบางชนิด ตำแหน่งทั้งสองจะอยู่ตรงกัน เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ หรือสารกึ่งตัวนำประเภทสารประกอบอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) เราเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า “แถบพลังงานช่องตรง” หรือ “แถบช่องตรง” (Direct band gap) และยังมีสารกึ่งตัวนำอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งตำแหน่งของจุดสำคัญทั้งสองนี้ จะอยู่ไม่ตรงกัน ดังรูปที่ 2.4 (ข) เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิคอน ลักษณะเช่นนี้ถูกเรียกว่า “แถบพลังงานช่องไม่ตรง” หรือ “แถบช่องไม่ตรง” (Indirect band gap)



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ E – k ของสารกึ่งตัวนำ
(ก) แบบช่องตรง
(ข) แบบช่องไม่ตรง

โดยปกติ จุดสูงสุดของแถบวาเล็นซ์ จะปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งที่ k = 0 แต่จากรูปที่ 2.4 (ข) จะเห็นว่าจุดต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้า จะไม่อยู่ตรงตำแหน่งนี้ หรือก็คือไม่อยู่ตรงกัน อีกนัยหนึ่งก็คือ จุดสองจุดนี้มีค่า k ที่ต่างกัน หรือก็คือมีค่าโมเมนตัมที่ต่างกันนั้นเอง ดังนั้นคุณสมบัติบางประการของสารกึ่งตัวนำสองกลุ่มนี้ จะแตกต่างกันมาก เช่นคุณสมบัติทางด้านแสง (Optical property) ในกรณีของสารกึ่งตัวนำแบบช่องตรง (GaAs) พลังงานโฟตอนของแสงซึ่งมีค่าเท่ากับ $hv > E_g$ สามารถที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอน จากจุดสูงสุดของแถบวาเล็นซ์ ขึ้นไปอยู่ที่จุดต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าได้โดยตรง (Direct) และอิเล็กตรอนที่จุดต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าก็สามารถที่จะตกลงมาที่จุดสูงสุดของแถบวาเล็นซ์ได้โดยตรง โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัม เนื่องจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในรูปแบบโดยตรงเช่นนี้จะเกิดขึ้นได้โดยง่าย ทำให้สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กึ่งตัวนำในกลุ่มนี้ สามารถดูดกลืนหรือปลดปล่อยพลังงานแสงได้เป็นอย่างดี จึงมักถูกนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ด้านแสง (Optical devices) ในกรณีของสารกึ่งตัวนำแบบช่องไม่ตรง (Si) อิเล็กตรอนในแถบนำไฟฟ้าไม่สามารถตกลงมายังแถบวาเล็นซ์ได้โดยตรง เพราะจะต้องมีการเปลี่ยนระดับพลังงานก่อนซึ่งก็คือ การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม เพื่อให้อยู่ที่จุดต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าก่อน แล้วจึงลดมาสู่แถบวาเล็นซ์ได้ในที่สุด และพลังงานที่เปลี่ยนแปลงดังกล่าวมักแสดงออกมาในรูปของความร้อนจึงไม่มีโฟตอนเกิดขึ้นในทำนองเดียวกัน พลังงานโฟตอนจากแสงก็ไม่สามารถที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ขึ้นไปอยู่จุดต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้าได้โดยง่าย ถึงแม้พลังงานจากโฟตอนจะมีค่ามากเพียงพอก็ตามแต่อิเล็กตรอนก็ยังต้องมีค่าโมเมนตัมที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนสถานะ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การดูดกลืนหรือคายพลังงานของแสงของสารกึ่งตัวนำกลุ่มนี้ เกิดขึ้นได้ไม่ดีนักเนื่องจากมีคุณสมบัติทางแสงที่ด้อยกว่าสารกึ่งตัวนำแบบช่องตรง

อย่างไรก็ดีการเลือกใช้ซิลิคอนในการสร้างโฟโตไดโอดก็ยังมีข้อดีอีกหลายประการในการเลือกใช้สร้างโฟโตไดโอดแทน แกลเลียมอาเซไนด์ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีมาก ราคาถูก และสามารถสร้างชั้นออกไซด์ SiO_2 ที่ผิวได้ง่ายกว่า โดยวิธีการออกซิเดชั่นและเป็นชั้นออกไซด์ที่เสถียรภาพกว่า แกลเลียมอาเซไนด์ อีกทั้งยังเป็นสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการสร้างวงจรรวม

2.3 การรวมตัวใหม่และการเกิดพาหะ(Recombination and Generation)

การเกิดของพาหะ หรือ Carrier Generation หมายถึง กระบวนการซึ่งทำให้มีพาหะเกิดขึ้นใหม่โดยจะเป็นการเกิด ของคู่อิเล็กตรอน-โฮล

การรวมตัวใหม่ หรือ Recombination หมายถึง กระบวนการตรงข้ามหรือย้อนกลับกับการเกิด กล่าวคือ เป็นการรวมตัวระหว่างอิเล็กตรอนอิสระกับโฮล ทำให้พาหะคือโฮลและอิเล็กตรอนหายไป กระบวนการทั้งสองนี้จะเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำในเวลาเดียวกัน และถูกเรียกว่ากระบวนการรวมตัวใหม่และการเกิดของพาหะ (Recombination-Generation Process) บางครั้งเรียกสั้นๆว่า กระบวนการ R-G สำหรับสารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์ ในภาวะสมดุลความร้อน ที่อุณหภูมิใดๆ พลังงานจากความร้อนจะทำให้มี คู่อิเล็กตรอน-โฮลเกิดขึ้น และมีการรวมตัวอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาโดยมีอัตราการเกิดและอัตราการรวมตัวใหม่ของพาหะเท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้ความหนาแน่นของพาหะมีค่าคงที่ได้

ในสารกึ่งตัวนำเอ็กทรินซิค ความหนาแน่นของพาหะถูกกำหนดด้วยปริมาณของอะตอมสารเจือ และความหนาแน่นของพาหะอินทรินซิค อย่างไรก็ดีในภาวะสมดุลความร้อน อัตราการเกิดและการรวมตัวใหม่ของพาหะต้องมีค่าเท่ากัน และสมการตามกฎของแมสแอคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(mass action law) $n.p = n_i^2$ ยังคงใช้ได้ แต่สารกึ่งตัวนำนั้นต้องเป็นสาร นอนดีเจนเนอเรต (nondegenerate)

ในขณะที่สารกึ่งตัวนำถูกรบกวน เช่น มีการกระตุ้นด้วยพลังงานจากภายนอก ได้แก่ ความร้อน หรือแสง หรือสนามไฟฟ้า และไม่อยู่ในสภาวะสมดุล สมการแมสแอคชั่น ไม่สามารถใช้ได้เพราะความหนาแน่นของพาหะมีการเปลี่ยนแปลง แต่ในที่สุด ระบบก็พยายามจะเข้าสู่ภาวะสมดุลความร้อนเช่นเดิม ตัวอย่างเช่น เมื่อมีการทำให้เกิดพาหะส่วนน้อยเพิ่มขึ้นจากเดิม ที่ปลายด้านหนึ่งของแท่งสารกึ่งตัวนำ ขณะนี้ภาวะสมดุลถูกรบกวน แต่ระบบจะพยายาม กลับคืนสู่ภาวะสมดุล โดยอัตราการรวมตัวใหม่ จะมีค่าสูงกว่าอัตราการเกิดของพาหะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในภาวะไม่สมดุลอัตราการเกิดและอัตราการรวมตัวจะไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากระบบพยายามจะกลับคืนสู่ภาวะสมดุลนั่นเอง เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้ว ในที่สุดอัตราการเกิด และอัตราการรวมตัวก็จะมีค่าเท่ากันอีกครั้งหนึ่ง

2.4 กระบวนการ R-G (Recombination- Generation Process)

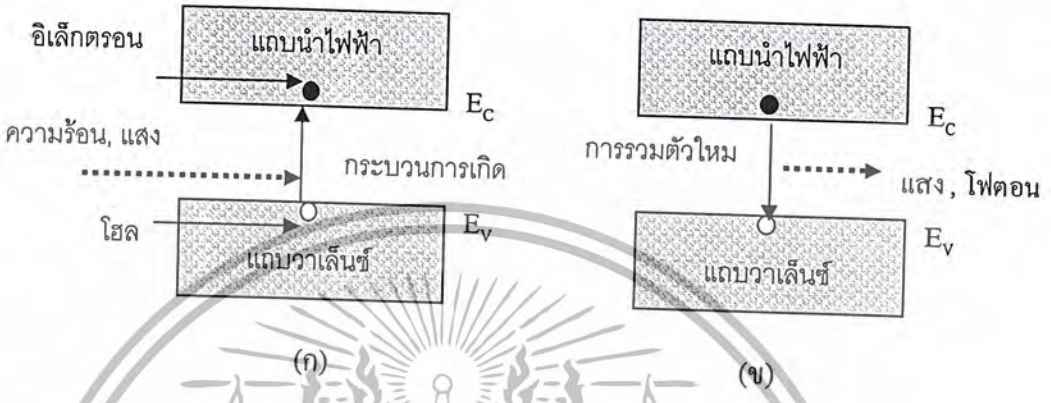
โดยทั่วไป กระบวนการ R-G ที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำ อาจพิจารณาจัดแบ่งเป็นแบบใหญ่ๆได้ทั้ง 2 แบบ ดังนี้คือ

2.4.1 กระบวนการ R-G โดยตรง (Direct R-G Process)

กระบวนการ R-G โดยตรง เป็นกระบวนการเกิดและรวมตัวใหม่ของพาหะ ที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำแบบช่องแถบตรง (Direct Band Gap Semiconductor) เช่นสารกึ่งตัวนำประเภทสารประกอบกลุ่ม III-V ได้แก่ แกลเลียมอาเซไนด์ แกลเลียมฟอสไฟด์ และอินเดียมแอนติโมนายด์ ซึ่งลักษณะของกราฟ E-k Diagram จะเป็นแบบช่องตรง การรวมตัวใหม่โดยตรงนี้ จะทำให้มีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงหรือโฟตอน(Photon)ได้ง่าย กระบวนการเกิดและการรวมตัวใหม่โดยตรง แสดงได้ดังในรูปที่ 2.5 กล่าวคือ เมื่ออิเล็กตรอนวาเลนซ์ ในแถบวาเลนซ์ได้รับพลังงาน มากพอจากความร้อน หรือแสงคือต้องมากกว่าขนาด E_g (eV) อิเล็กตรอนจะสามารถย้ายขึ้นไปยังแถบนำไฟฟ้า ได้โดยตรง ด้วยการข้ามช่องว่างพลังงาน (E_g) ลักษณะเช่นนี้ถูกเรียกว่า การเกิดพาหะโดยตรง (Direct Generation) ซึ่งเป็นลักษณะการย้ายที่อยู่จากแถบพลังงานแถบหนึ่งไปยังอีกแถบหนึ่ง ซึ่งบางครั้งเรียกว่า การเกิดพาหะจากแถบหนึ่งไปยังอีกแถบหนึ่ง (Band to Band Generation) ซึ่งจะทำให้ได้คู่อิเล็กตรอน-โฮล เกิดขึ้น ในทางกลับกัน เมื่ออิเล็กตรอนนำไฟฟ้าจากแถบนำไฟฟ้า ลดระดับกลับลงไปรวมตัวกลับโฮลในแถบวาเลนซ์โดยตรง ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การรวมตัวใหม่โดยตรง (Direct recombination) ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโฮลหายไป คล้ายเป็นกระบวนการย้อนกลับของการเกิดพาหะ กระบวนการเกิดและรวมตัวของพาหะเช่นนี้ถูกเรียกว่า กระบวนการ R-G โดยตรง

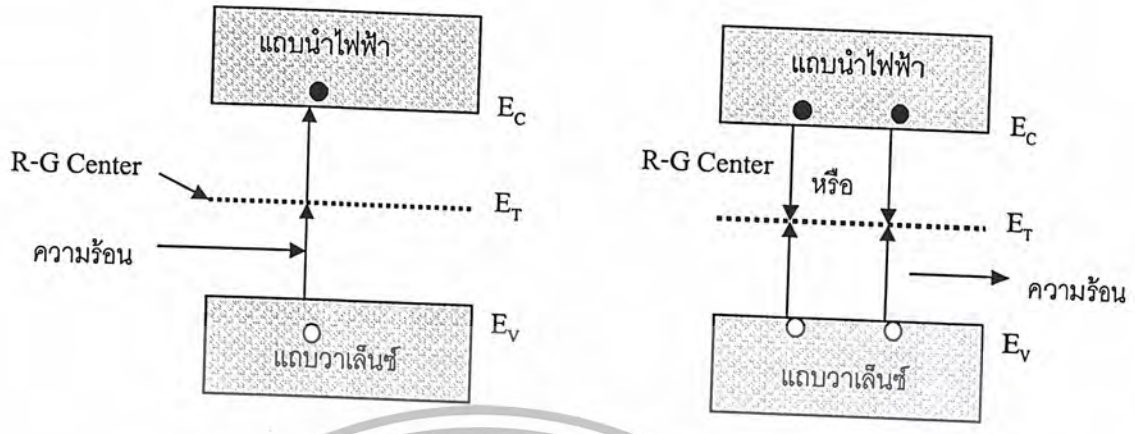


รูปที่ 2.5 (ก) การเกิดพาหะโดยตรงหรือ Band to Band Generation และ (ข) การรวมตัวใหม่โดยตรงของพาหะ Band to Band recombination

2.4.2 กระบวนการ R-G โดยอ้อม(Indirect band gap)

กระบวนการ R-G โดยอ้อมนี้ จะเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำแบบช่องแถบไม่ตรง (Indirect band gap) เช่นซิลิคอน เยอรมันเนียม โดยเมื่ออิเล็กตรอนวาเลนซ์ได้รับพลังงาน จะมีการย้ายระดับพลังงานแต่ไม่สามารถที่จะข้ามช่องว่างแถบพลังงาน E_g ไปยังแถบไฟฟ้าได้โดยตรง แต่จะเกิดขึ้นเป็นสองขั้นตอน โดยในขั้นแรก อิเล็กตรอนจะอาศัยระดับพลังงาน หรือสถานะพลังงานที่ปรากฏอยู่ในช่องว่างแถบพลังงานเป็นที่พัก ก่อนที่จะข้ามต่อไปยังแถบนำไฟฟ้าในขั้นที่สอง ซึ่งปรากฏการณ์นี้ถูกเรียกว่า การเกิดพาหะโดยอ้อม และในทางกลับกันการรวมตัวใหม่โดยอ้อมก็คือกระบวนการย้อนกลับของการเกิดพาหะโดยอ้อมนั่นเอง โดยอิเล็กตรอนจากแถบนำไฟฟ้าจะลดลงไปยังระดับพลังงานระดับหนึ่ง ที่อยู่ในช่องว่างพลังงาน ก่อนที่จะตกลงไปยังแถบวาเลนซ์ในที่สุด ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้ถูกเรียกว่า การเกิดและการรวมตัวโดยอ้อมของพาหะ หรือกระบวนการ R-G โดยอ้อม ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ระดับพลังงาน หรือสถานะพลังงานที่ปรากฏอยู่ในช่องว่างแถบพลังงาน เป็นสถานะพลังงานที่อะตอมซิลิคอนและอะตอมเยอรมันเนียมไม่สามารถมีได้ ดังนั้นสถานะพลังงานเหล่านี้จึงเกิดขึ้นจากอะตอมสารเจือหรืออะตอมแปลกปลอมอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 (ก) แสดงการเกิดพาหะโดยอ้อม หรือ R-G Center Generation และ (ข) การรวมตัวใหม่โดยอ้อมของพาหะ หรือ R-G Center Recombination

หรืออาจเกิดเนื่องจากโครงสร้างของผลึกเสียหาย ระดับพลังงานซึ่งช่วยให้เกิดกระบวนการ R-G แบบนี้ถูกเรียกว่า ศูนย์กลางการเกิด- และการรวมตัวใหม่ของพาหะ หรือ R-G Center หรือบางครั้งเรียกว่า (R-G Traps)

ในกระบวนการรวมตัวใหม่โดยอ้อมนี้ปกติจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาและอาจมีผล ทำให้มีการสั่นของแลททีสได้ (Lattice Vibration) และการสั่นของแลททีสจะทำให้มีการปลดปล่อยพลังงานซึ่งเรียกว่า โฟนอน (Phonon) ออกมาในที่สุด

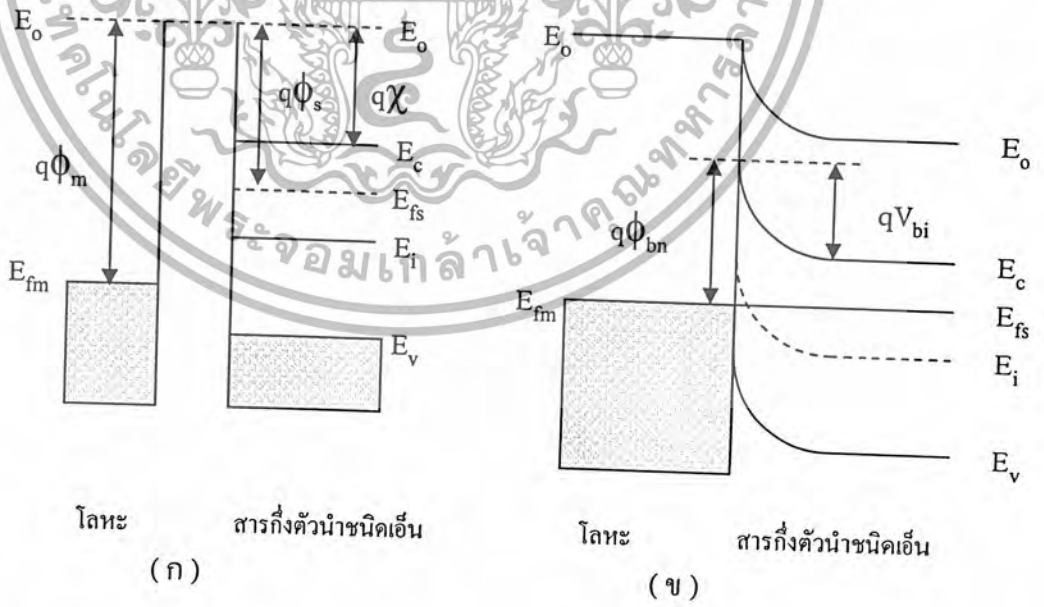
2.5 รอยสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

การสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำที่เป็นไปได้จะมีทั้งหมด 4 กรณีด้วยกันทั้งนี้เนื่องจากสารกึ่งตัวนำอาจเป็นไปได้ทั้งชนิดเอ็นและชนิดพี และยังขึ้นกับค่าฟังก์ชันงานของโลหะ (Work Function,ϕ_m) ซึ่งอาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า ค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ (ϕ_s) ได้ ในบรรดารอยต่อทั้ง 4 กรณีนี้ ถ้าเราพิจารณาแถบพลังงานศักย์(Energy Band Diagram) ที่เกิดขึ้นจากรอยต่อดังกล่าวแล้ว เราจะได้ว่ามีอยู่ 2 กรณีที่ทำให้รอยต่อดังกล่าวกลายเป็นรอยต่อแบบโอห์มมิค (Ohmic Contact) ซึ่งสามารถนำกระแสได้ทั้งสองด้านและอีก 2 กรณีจะทำให้รอยต่อดังกล่าวเป็นรอยต่อทางเดียว (Rectifying Contact) เนื่องจากสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการสร้างโฟโตไดโอดในงานนี้เป็น ซิลิคอน ชนิดเอ็น ดังนั้นเราจะกล่าวถึงรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิดเอ็นเพียงชนิดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1รอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

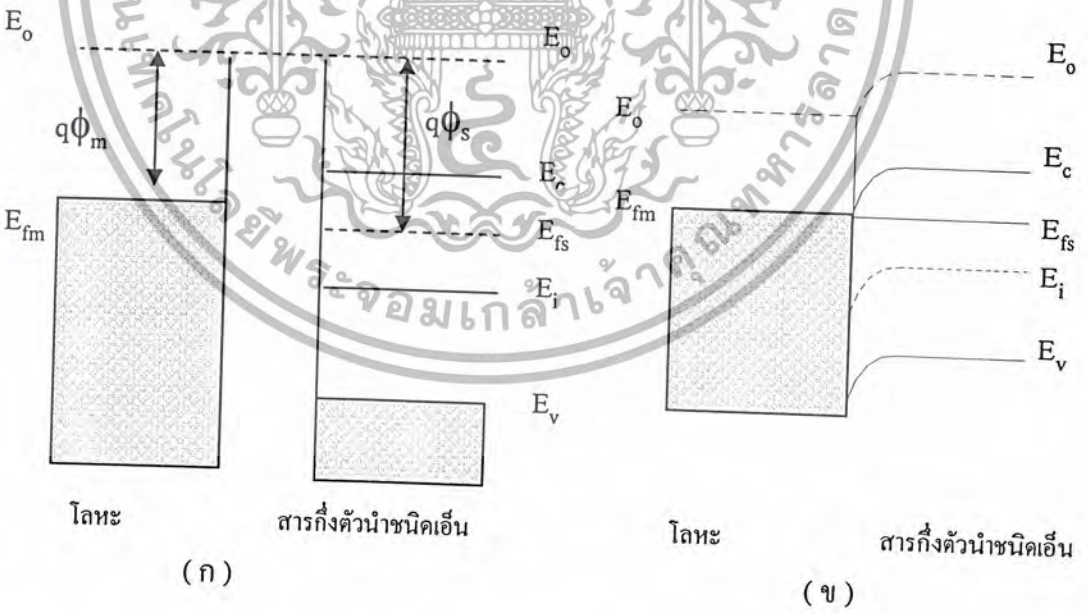
ถ้าเราสมมติให้ค่าฟังก์ชันงาน(Work Function)ของโลหะคือ (ϕ_m) และมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (ϕ_s) ดังนั้นลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น สามารถแยกกันได้ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ก) และเมื่อนำโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นดังกล่าวนี้มาสัมผัสกัน เนื่องจากค่าฟังก์ชันงานของสารทั้ง 2 ชนิดไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดการถ่ายเทของประจุระหว่างสารกึ่งตัวนำกับโลหะจนกระทั่งในที่สุดจะอยู่ในสภาวะสมดุลโดยในสภาวะนี้ระดับเฟอร์มิของสารทั้ง 2 ชนิดจะอยู่ที่ระดับเดียวกันตลอดรอยสัมผัสดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ข) ปรากฏการณ์ที่กล่าวมานี้อธิบายได้ว่าเนื่องจากอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อเข้าไปทางด้านโลหะจึงทำให้เกิดอิออนบวกของอะตอมสารเจือผู้ให้ขึ้นที่สารกึ่งตัวนำและเกิดประจุลบทางด้านโลหะ ทำให้เกิดมีสนามไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยต่อสนามไฟฟ้าดังกล่าวนี้จะมีทิศทางช่วยต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งในที่สุดก็สามารถหยุดยั้งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนได้ ซึ่งสามารถเขียนให้เห็นได้ชัดโดยการโค้งงอขึ้นของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำบริเวณรอยต่อสัมผัสกับโลหะ ซึ่งหมายความว่าเกิดกำแพงศักย์ป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยกำแพงศักย์นี้มีความสูงเท่ากับ $q(\phi_m-\phi_s)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ข) ดังนั้นในสถาวะสมดุลจึงไม่มีกระแสผ่านรอยต่อนี้



รูปที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นในกรณีที่ $\phi_m > \phi_s$ เกิดเป็นรอยสัมผัสแบบเร็คติไฟร์ (ก) ก่อนสัมผัส (ข) หลังสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

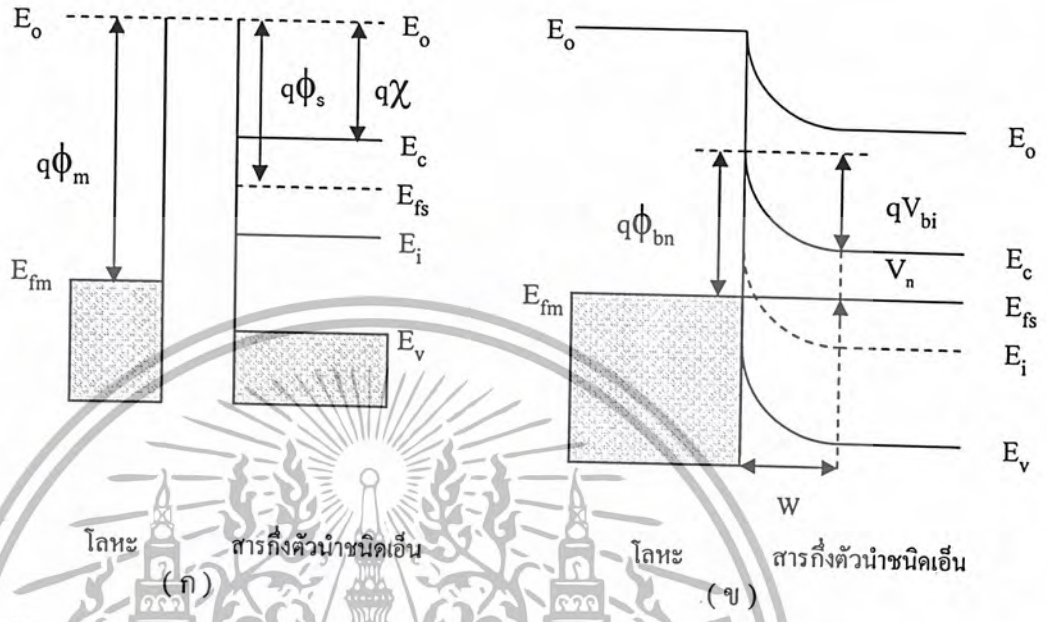
ในทำนองกลับกันถ้าเราสมมุติให้ค่าฟังก์ชันงาน (Work Function) ของโลหะ (ϕ_m) มีค่าน้อยกว่าค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ (ϕ_s) ดังนั้นลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำก่อนและหลังที่จะนำมาสัมผัสกันแสดงดังในรูปที่ 2.8 (ก) และ (ข) ตามลำดับกล่าวคือ เมื่อก่อนสัมผัสกันแล้วจะทำให้เกิดการถ่ายเทประจุพาหะผ่านรอยสัมผัสโดยที่อิเล็กตรอนจากโลหะจะไหลเข้าไปในสารกึ่งตัวนำทำให้เกิดอิออนบวกขึ้นทางด้านโลหะ และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในขึ้นที่รอยสัมผัสดังนั้นการไหลของอิเล็กตรอนจะหยุดลงเมื่อสนามไฟฟ้าภายในมีค่าสูงพอที่จะสามารถต้านการแพร่ของอิเล็กตรอนในสภาวะสมดุล ซึ่งระดับเฟอร์มิของสารทั้งสองจะอยู่ในระดับเดียวกันตลอดรอยสัมผัส ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสะสมอิเล็กตรอนทางด้านสารกึ่งตัวนำบริเวณรอยสัมผัสดังรูปที่ 2.8 (ข) ซึ่งแสดงโดยการโค้งงอของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำบริเวณผิวสัมผัส่กับโลหะดังนั้นในภาวะสมดุลย์จะเห็นได้ว่าที่รอยสัมผัสจะไม่มีกำแพงศักย์ที่จะป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำไปทางด้านโลหะกล่าวคือ อิเล็กตรอนจะสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสนี้ได้สองทิศทางซึ่งรอยสัมผัสนี้ไม่มีคุณสมบัติในการเร็คติไฟร์ รอยสัมผัสเช่นนี้เราเรียกว่า รอยสัมผัสแบบโอห์มมิค หรือรอยสัมผัสโอห์มมิค (ohmic contact)



รูปที่ 2.8 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นในกรณีที่ $\phi_m < \phi_s$ เกิดเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มิค (ก) ก่อนสัมผัส (ข) หลังสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ลักษณะคุณสมบัติเกี่ยวกับรอยต่อแบบชอตต์กี



รูปที่ 2.9 ลักษณะแถบพลังงานแสงค่าต่างๆของรอยต่อแบบชอตต์กี
(ก) ก่อนสัมผัส (ข) หลังสัมผัส

จากรูปค่า ϕ_{bn} คือค่าความสูงของรอยสัมผัสสารกึ่งตัวนำ เป็นค่าความสูงของกำแพงศักย์ที่ป้องกันการไหลของอิเล็กตรอนจากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำโดยเราสามารถหาได้จาก

$$\phi_{bn} = (\phi_m - \chi) \quad (2.4)$$

ในส่วนของสารกึ่งตัวนำ V_{bi} คือค่าแรงดันภายใน (Built-in voltage) ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับรอยต่อพีเอ็น ซึ่งหาได้จาก

$$V_{bi} = \phi_{bn} - \phi_n \quad (2.5)$$

โดยที่ Vbi เป็นฟังก์ชั่นที่ขึ้นอยู่กับการโด๊ป

เมื่อ $q\phi_{bn}$ คือ ความสูงของกำแพงศักย์ (Barrier height) ; eV

V_{bi} คือ แรงดันภายใน (Built-in voltage) ; V

ϕ_n คือ ความต่างศักย์ระหว่าง แถบนำกับชั้น เฟอร์มิ ; V

$q\phi_m$ คือ ฟังก์ชันงานของโลหะ ; eV

$q\phi_s$ คือ ฟังก์ชั่นงานของสารกึ่งตัวนำ ; eV

χ คือ Electron affinity ; V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อให้แรงดันไบอัส จะมีปริมาณความหนาแน่นกระแสไหลผ่านรอยสัมผัสดังสมการที่ (2.6)

$$J = J_s\left(e^{qV/kT} - 1\right) \tag{2.6}$$

และ

$$J_S = A_n T^2 e^{\left(\frac{-q\phi_{bn}}{kT}\right)} \tag{2.7}$$

โดย J คือ ความหนาแน่นกระแสที่ไหลผ่านรอยสัมผัส

J_S คือ ความหนาแน่นกระแสอิ่มตัวของรอยสัมผัส

V คือ แรงดันไบอัสภายนอก

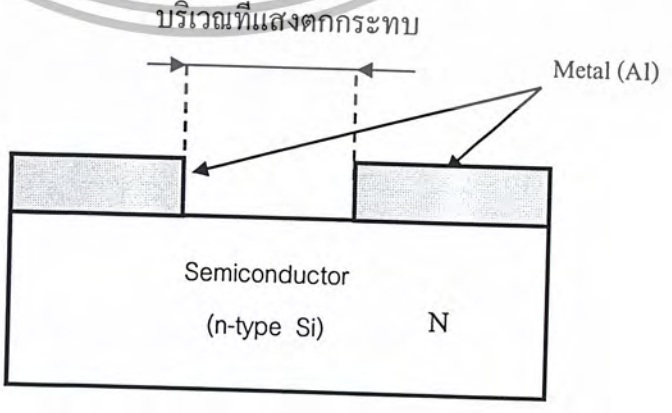
k คือ ค่าคงที่ของโบสถ์มันน์

T คือ อุณหภูมิสมบูรณ์

A_n คือ ค่าคงที่ริชาร์ดสันของอิเล็กตรอน

2.6 โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM

โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM ประกอบรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำจำนวนสองรอยสัมผัสสองขั้วที่สร้างบนสารกึ่งตัวนำ และแสงที่จะทำการตรวจจับจะถูกกำหนดให้กระทบบริเวณพื้นที่ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ ซึ่งอยู่ระหว่างขั้วโลหะทั้งสอง



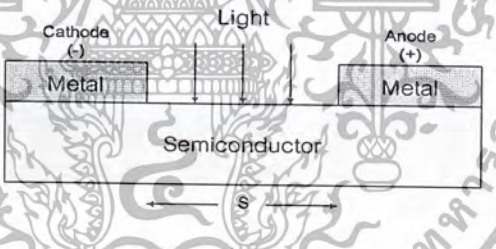
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

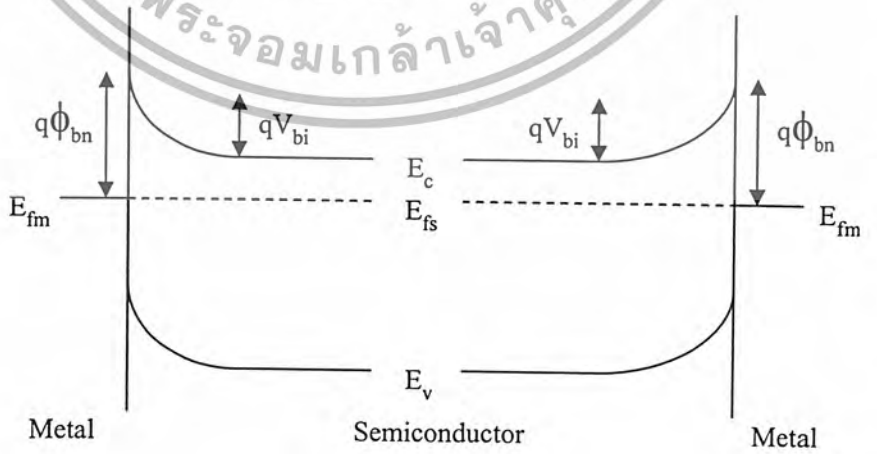
จากรูปที่ 2.10 รอยสัมผัสด้านบนระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำทั้งสองรอยสัมผัสของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM จะต้องมีคุณสมบัติเป็นรอยสัมผัสแบบชอตต์กีไดโอด ซึ่งการทำงานของโฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM นี้จะสามารถทำการไบอัสให้กระแสไหลไปด้านใดด้านหนึ่งก็ได้ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือสามารถที่จะเลือกไบอัสบวกหรือลบสลับกันได้ทั้งสองด้าน

2.6.1 การทำงานของโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

โครงสร้างของโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ ประกอบด้วยชอ็ตต์คีย์ไดโอดต่อกันแบบหันหลังชนกัน โดยสร้างขั้วไฟฟ้าขึ้นที่ส่วนบนสุดของบริเวณพื้นที่รับแสง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของชอ็ตต์คีย์ไดโอดคล้ายกับของรอยต่อพี-เอ็น ต่างกันตรงที่ ความสูงของแบริเออร์ในรอยพี-เอ็นสามารถควบคุมได้จากการเติมอะตอมสารเจือในสารกึ่งตัวนำ แต่ในชอ็ตต์คีย์ไดโอด ชอ็ตต์คีย์แบริเออร์จะเป็นไปตามกฎของค่าฟังก์ชันงานของโลหะกับสารกึ่งตัวนำ ความแตกต่างของพี-เอ็นไดโอดและชอ็ตต์คีย์ไดโอดอีกประการคือ เมื่อให้ไบอัสตรงแก่พี-เอ็นไดโอด จะมีทั้งประจุอิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ข้ามผ่านรอยต่อ แต่ในกรณีของชอ็ตต์คีย์ไดโอดจะมีแต่เฉพาะพาหะส่วนมากเท่านั้น

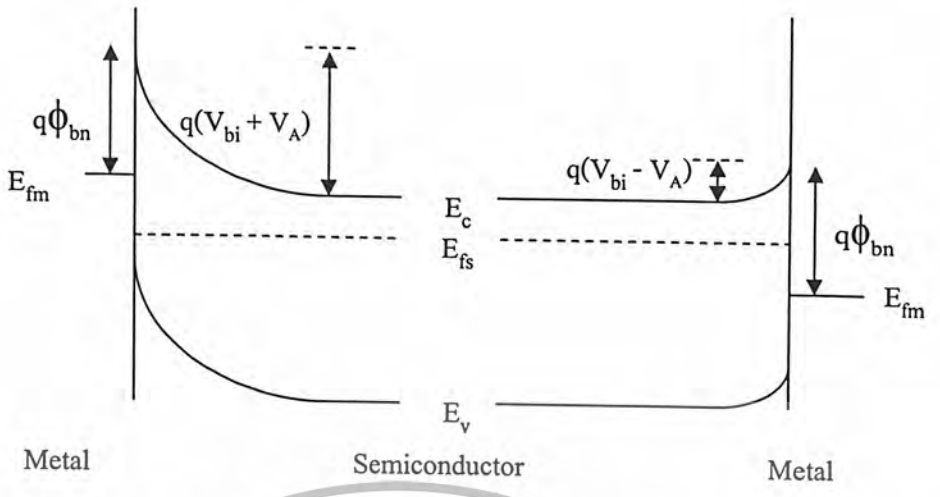


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 2.11 โครงสร้างและแถบพลังงานของโฟโตไดโอดโครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

(ก) ภาพตัดขวางของโฟโตไดโอดโครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

(ข) แถบพลังงานในสภาวะสมดุลย์ความร้อน

(ค) แถบพลังงานภายหลังจากได้รับแรงดันไบอัส และมีแสงตกกระทบ

โฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ ใช้ชั้นของวัสดุสารกึ่งตัวนำซึ่งมีความไวต่อความยาวคลื่นที่ต้องการ บนชั้นของสารกึ่งตัวนำนี้จะทำการสร้างขั้วไฟฟ้าที่เป็นโลหะแต่ละขั้วไฟฟ้าจะเกิดเป็นรอยสัมผัสแบบช็อตต์คีย์ขึ้น เมื่อต่อขั้วไฟฟ้าทั้งสองกันแบบอนุกรม ทำให้เกิดเป็นลักษณะของไดโอดสองตัวต่อกันแบบหันหลังชนกันทั้งนี้เมื่อให้ไบอัสจะมีไดโอดตัวใดตัวหนึ่งอยู่ในสภาวะไบอัสย้อนกลับอยู่เสมอเกิดเป็นลักษณะรอยสัมผัสแบบช็อตต์คีย์ต่อแบบหันหลังชนกันดังแสดงได้ในรูป 2.11 (ข)

เมื่อให้แรงดันไบอัส V_A แก่ขั้วโลหะทั้งสอง โดยขั้วหนึ่งเป็นแอโนดและอีกขั้วเป็นแคโทด จะทำให้ด้านแอโนดเกิดไบอัสตรง ที่ขั้วโลหะแอโนดจะมีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับสารกึ่งตัวนำซึ่งจะทำให้กำแพงศักย์ที่รอยสัมผัสมีค่าลดลงเป็น $(V_{bi}-V_A)$ และทำให้ระดับพลังงาน E_{Fs} สูงกว่าระดับ E_{Fm} ดังนี้อิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำจึงสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปที่ขั้วโลหะได้ ทำให้มีกระแสไฟฟ้า (I_{MS}) ไหลจากด้านโลหะผ่านรอยสัมผัสไปยังด้านสารกึ่งตัวนำ ส่วนที่ด้านแคโทดเกิดไบอัสย้อนกลับโดยที่ขั้วแคโทดมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับสารกึ่งตัวนำ จะทำให้ระดับ E_{Fm} อยู่สูงกว่าระดับ E_{Fs} กำแพงศักย์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $(V_{bi}+V_A)$ และความกว้างบริเวณปลอดพาหะขยายเพิ่มขึ้น สนามไฟฟ้าที่รอยสัมผัสมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นอิเล็กตรอนจากด้านสารกึ่งตัวนำจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปทางขั้วโลหะได้ แต่จะมีอิเล็กตรอนในโลหะเคลื่อนที่ข้ามกำแพงช็อตต์คีย์เข้าไปในด้านสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดมีกระแส (I_{SM}) ไหลจากด้านสารกึ่งตัวนำไปยังขั้วแคโทดดังในรูป 2.11(ค)

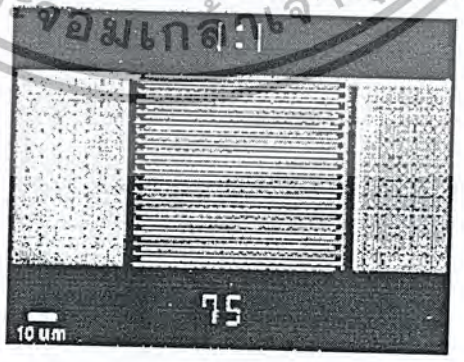
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เมื่อแสงตกกระทบบนโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ แสงที่ตกกระทบลงบนผิวของสารกึ่งตัวนำจะถูกดูดกลืนและทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นในบริเวณพื้นที่รับแสง เมื่อให้ไบอัสระหว่างขั้วไฟฟ้า คู่อิเล็กตรอน-โฮลจะเคลื่อนที่ออกจากกัน โดยโฮลเคลื่อนที่ตามทิศสนามไฟฟ้าเข้าหาขั้วไฟฟ้าลบและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่สวนทางกับทิศสนามไฟฟ้าเข้าหาขั้วไฟฟ้าบวก การเคลื่อนที่ของประจุพาหะทั้งสองชนิดอยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า

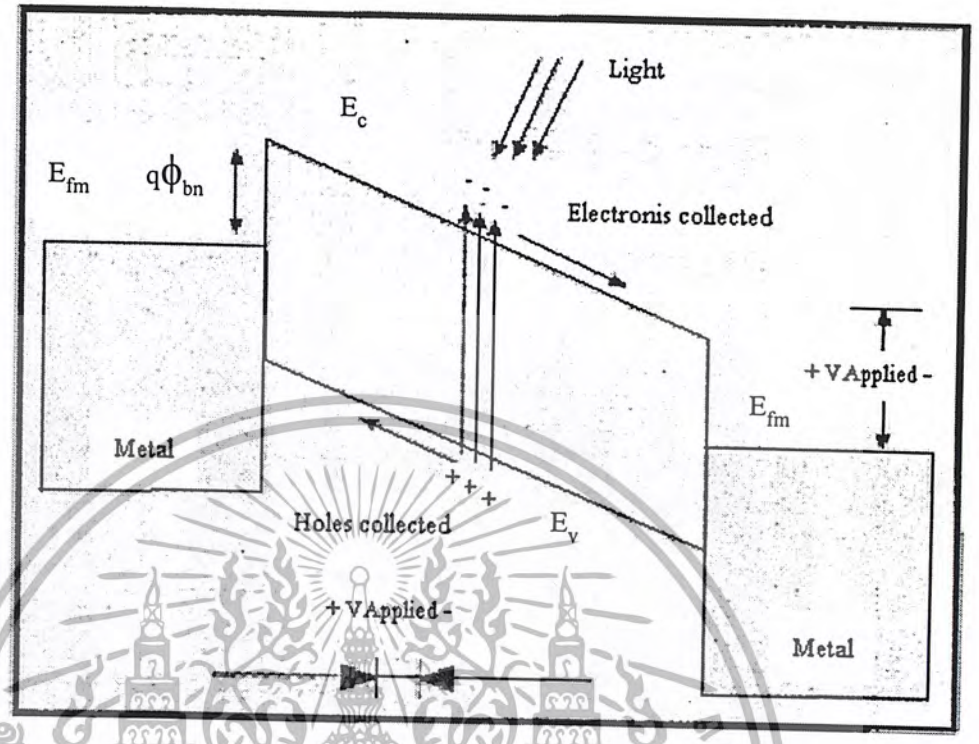
2.6.2 การทำงานของโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ อินเตอร์ดิจิเตท

โฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ นับเป็นโฟโตดีเทคเตอร์ชนิดใหม่ที่เป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ โครงสร้างของโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ ประกอบด้วยชอ็ตต์คีย์ไดโอดต่อกันแบบหันหลังชนกัน (back-to-back) โดยสร้างขั้วไฟฟ้ารูปร่างแบบ Interdigitated ขึ้นที่ส่วนบนสุดของบริเวณพื้นที่รับแสง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของชอ็ตต์คีย์ไดโอดคล้ายกับของรอยต่อพี-เอ็น ต่างกันตรงที่ ความสูงของแบริเออร์ (Barrier) ในรอยพี-เอ็นสามารถควบคุมได้จากการเติมอะตอมสารเจือในสารกึ่งตัวนำ แต่ในชอ็ตต์คีย์ไดโอด ชอ็ตต์คีย์แบริเออร์ (Schottky barrier) จะเป็นไปตามกฎของค่าฟังก์ชันงานของโลหะกับสารกึ่งตัวนำ ความแตกต่างของพี-เอ็นไดโอดและชอ็ตต์คีย์ไดโอดอีกประการคือ เมื่อให้ไบอัสตรงแก่พี-เอ็นไดโอด จะมีทั้งประจุอิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ข้ามผ่านรอยต่อ แต่ในกรณีของชอ็ตต์คีย์ไดโอดจะมีแต่เฉพาะพาหะส่วนมากเท่านั้น โฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีโครงสร้างแบบพลานาร์ (Planar) และในกระบวนการสร้างใช้กระบวนการโฟโตลิโทกราฟฟีเพียงแค่ครั้งเดียว รูปที่ 2.12 เป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) ของโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ เมื่อเสร็จสมบูรณ์แล้ว



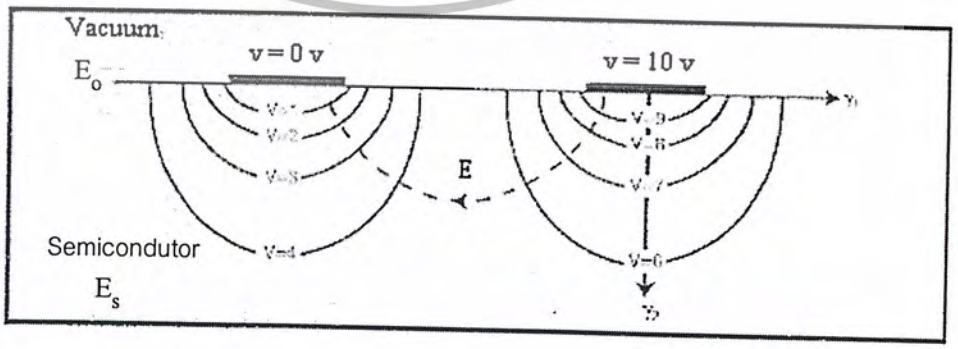
รูปที่ 2.12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ของโฟโตไดโอด มีพื้นที่รับ แสง 75x75 ตารางมิลลิเมตร ขั้วไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับ 1 ไมครอน และระยะห่าง ระหว่างขั้วไฟฟ้าขนาดเท่ากับ 1 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61781



รูปที่ 2.15 แถบพลังงานของโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ ซึ่งแสดงให้เห็นช็อตตคีย์แบริเออร์ (Φ_{bn}) ของทั้งสองรอยสัมผัส

รูปที่ 2.16 แสดงเส้นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใต้ขั้วไฟฟ้า เมื่อประจุพาหะที่เกิดขึ้นจากการตกกระทบของแสงเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้า ทำให้เกิดเป็นกระแสไหลออกไปยังวงจรภายนอก เมื่ออิเล็กตรอนหรือโฮลตัวสุดท้ายเคลื่อนที่ไปถึงขั้วไฟฟ้า กระแสแสงก็จะหมดไป กระแสแสงจะเปลี่ยนเป็นกระแสมืดตามกราฟความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.16 เส้นสนามไฟฟ้าภายใต้ขั้วไฟฟ้าของโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ข้อได้เปรียบของโฟโตไดโอด โครงสร้าง โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

1. มีโครงสร้างแบบพลานาร์ (Planar)
2. กระบวนการสร้างไม่ซับซ้อน
3. ค่าตัวเก็บประจุต่อขนาดพื้นที่มีค่าต่ำ
4. กระบวนการสร้างสอดคล้องกับการสร้างเฟต (FET)

เนื่องจากค่าตัวเก็บประจุต่อพื้นที่มีค่าน้อย จึงสามารถสร้างให้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสงที่มีพื้นที่รับแสงขนาดใหญ่ได้ สามารถประยุกต์ใช้งานกับใยแก้วนำแสงแบบซิงเกิลโหมดได้ โดยไม่ทำให้แบนด์วิดท์ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

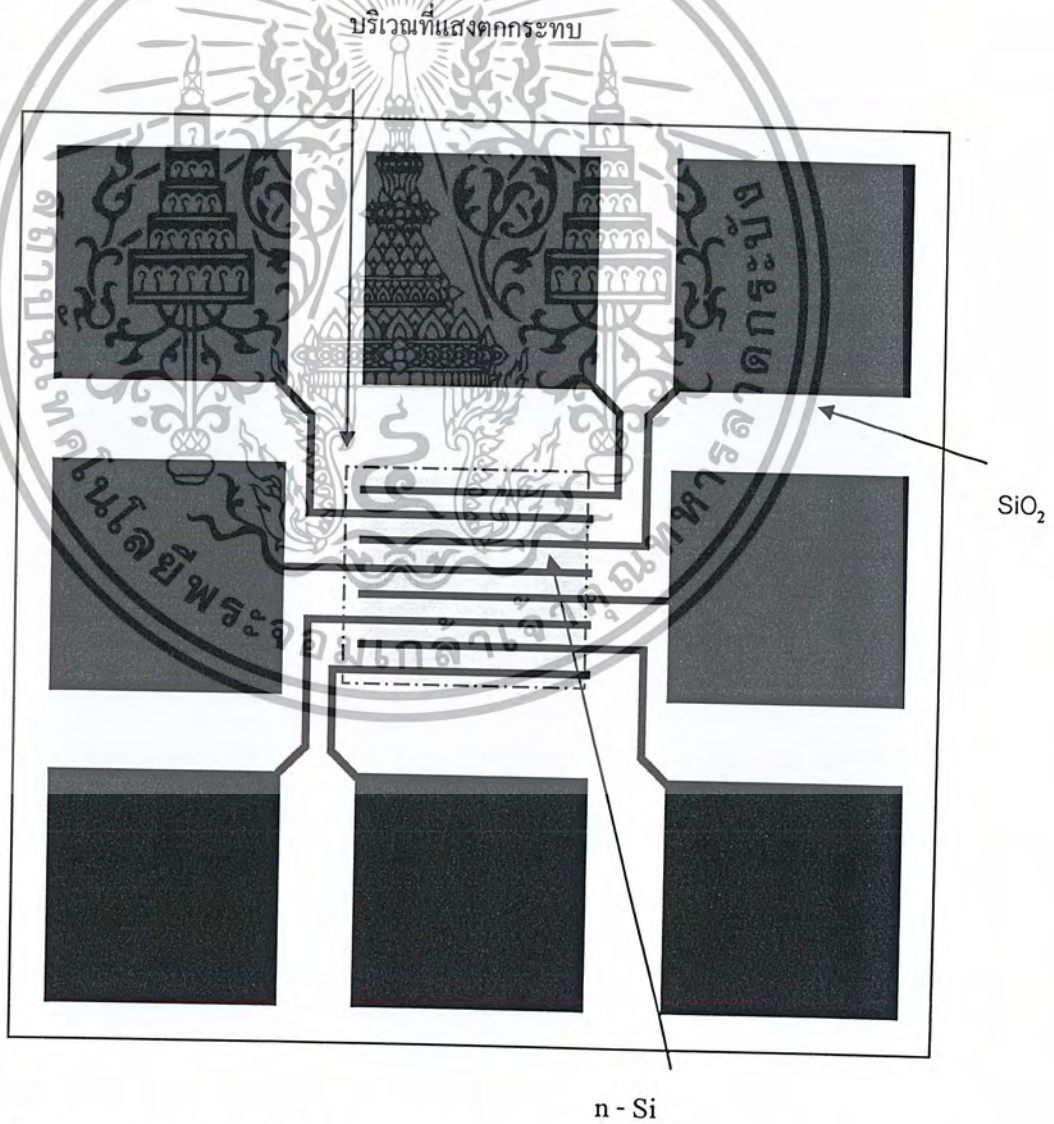
บทที่ 3

การออกแบบกระบวนการสร้างและการทดลอง

3.1 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท

3.3.1 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si /Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท

โครงสร้างของโฟโตไดโอดโครงสร้างAl/n-Si/Al ประกอบไปด้วยรอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมและซิลิคอนชนิดเอ็น จำนวน 8 รอยสัมผัส และมีพื้นที่รับแสงอยู่ระหว่างขั้วสัมผัสทั้ง 8 โดยมีชั้นซิลิคอนชนิดเอ็น เป็นตัวกำหนดพื้นที่รับแสง



รูปที่ 3.1โครงสร้างของโฟโต้ไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ลวดลายแบบอินเตอร์ดิจิเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบนี้สามารถแบ่งพื้นที่เป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่ขั้วโลหะที่เป็นอลูมิเนียมและพื้นที่รับแสงที่เป็นกรอบในรูปที่ 3.1

การออกแบบบริเวณที่เป็นพื้นที่ของขั้วสัมผัสแต่ละด้านจะถูกกำหนดให้มีพื้นที่ของรอยต่างๆตามรูปที่ 3.2 โดยบริเวณพื้นที่รับแสงจะเป็น พื้นที่โลหะที่เป็นอลูมิเนียมสัมผัสกับซิลิคอนชนิดเอ็น ในกรอบสี่เหลี่ยมเล็กภายในรูปที่ 3.1 และบริเวณรอบนอกจะเป็นพื้นที่ขั้วโลหะที่เป็นอลูมิเนียมสัมผัสกับ SiO_2

รูปที่ 3.2 การออกแบบโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท

กำหนดให้ S คือ ความกว้างของช่องรับแสง

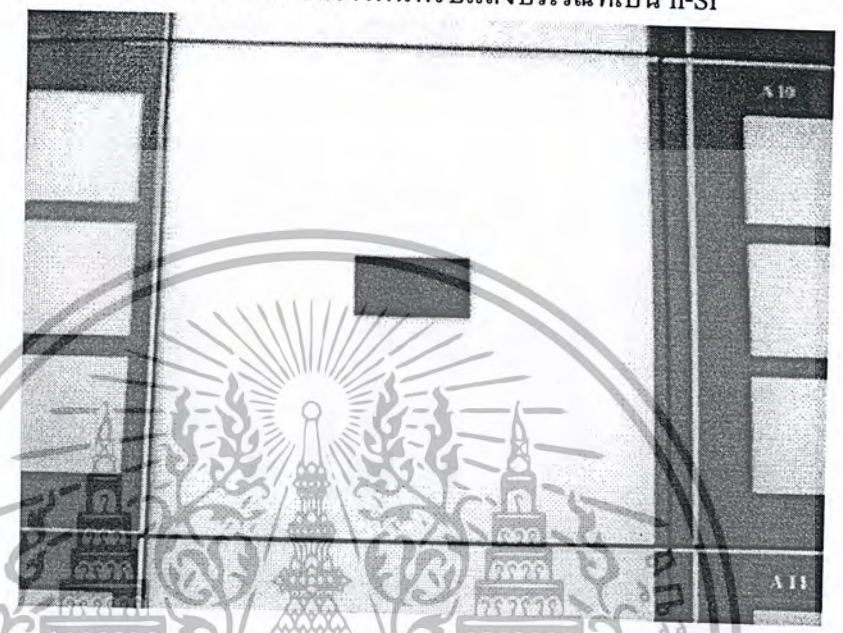
W คือ ความกว้างของขั้วโลหะ

L คือ ความยาวของขั้วโลหะ

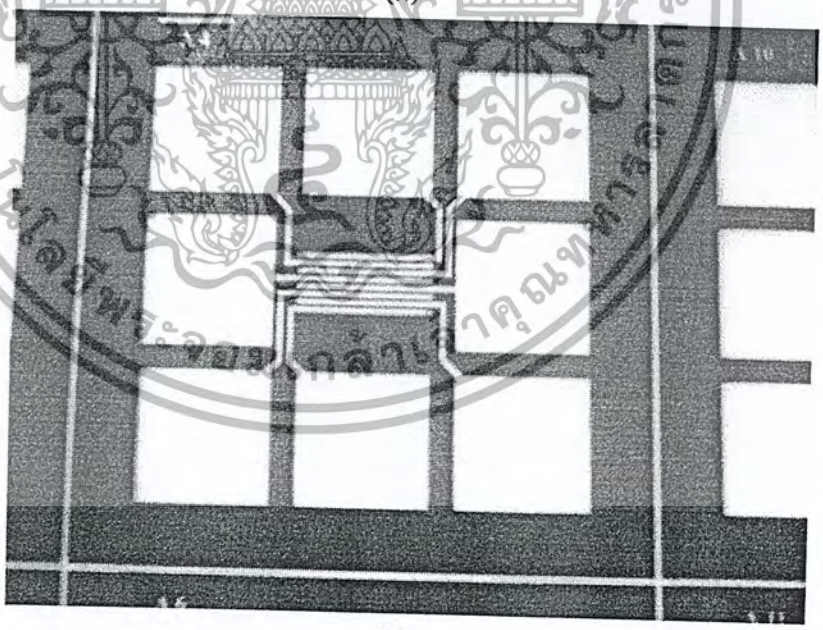
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 กระบวนการสร้างกระจกต้นแบบ

ในกระบวนการสร้างนี้จะใช้มาส์คต้นแบบ 2 มาส์ค เท่านั้นคือมาส์คใช้สำหรับสร้างลวดลายอลูมิเนียม และมาส์คที่ใช้สำหรับสร้างพื้นที่รับแสงบริเวณที่เป็น n-Si



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 (ก)แผ่นไมล่าร์ลามิเนตที่ใช้ทำมาส์คที่ใช้สำหรับสร้างพื้นที่รับแสงบริเวณที่เป็น n-Si
(ข)มาส์คใช้สำหรับสร้างลวดลายอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท

3.2.1 ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

3.2.1.1 การเตรียมแผ่นผลึกซิลิคอน

- แผ่นผลึกผลึกรูปเดี่ยวแบบ Single ชนิดเอ็นมีระนาบ <100>
- ความต้านทานจำเพาะ 20-25 โอห์ม - เซนติเมตร
- ความหนาของแผ่นผลึก 380ไมครอน

3.2.1.2 การทำความสะอาดผิวซิลิคอนเบื้องต้น

- ทำความสะอาดผิวด้วยน้ำบริสุทธิ์ (De-ionized Water)ในเครื่องสั่นความถี่สูง (Supersonic Cleaning)
- 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

3.2.1.3 กระบวนการออกซิเดชั่นเริ่มต้น

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

- ทำการออกซิเดชั่นแบบแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.2 ลิตร/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการออกซิเดชั่นแบบชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.1 ลิตร/นาที
- ทำการออกซิเดชั่นแบบแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลก๊าซก๊าซออกซิเจน 1.2 ลิตร/นาที

3.2.1.4 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟฟี 1 (Mask Photolithography)

ใช้กระจกมาส์คต้นแบบสำหรับเปิดช่องซิลิคอนไดออกไซด์ออกบริเวณที่จะสร้างขั้วสัมผัสอลูมิเนียมและซิลิคอน โดยการเคลือบน้ำยาไว้แสงชนิดบวก AZ 1350 ลงบนแผ่นผลึกซิลิคอน ด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่าสปินเนอร์ (Spinner) แล้วนำไปอบให้แห้ง จึงนำไปทำการถ่ายกระจกต้นแบบมาส์คที่ 1 มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- อบแห้งเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 90 C เป็นเวลา 30 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสง ชนิดบวก AZ 1350 โดยใช้เครื่องสปินเนอร์ ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 40 วินาที
- อบครั้งแรกให้น้ำยาไวแสงแห้งที่อุณหภูมิ 90 C เป็นเวลา 20 นาที
- ฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบมาส์คที่ 1 ด้วยอุปกรณ์ Mask Aligner ซึ่งจะเป็นแสงอัลตราไวโอเลตออกมา แหล่งกำเนิดแสง คือ หลอดเมอร์คิวรี่ λ = 5000 Å เป็นเวลา 10 วินาที
- การล้าง จุ่มในน้ำยา AZ – Developer 2 ครั้ง ครั้งละ 15 วินาที ล้างในน้ำบริสุทธิ์ แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- อบครั้งที่สอง ให้แผ่นฟิล์มที่เหลืออยู่แห้งที่อุณหภูมิ 90-100 C เป็นเวลา 30 นาที

3.2.1.5 การใช้สารเคมีกัดซิลิคอนไดออกไซด์

เพื่อทำการกัดชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ ใช้สารละลายเคมีซึ่งมีส่วนผสมกรดไฮโดรฟลูโดลิคเป็นหลัก ทำการละลายชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ตรงบริเวณที่ต้องการเปิดออก สารละลายที่ใช้ในการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์นี้ เรียกว่า สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer) มีอัตราการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ประมาณ 650 Å/นาที

ขั้นตอนการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

- จุ่มในสารละลาย Buffer เป็นเวลาประมาณ 10 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.6 การลอกชั้นสารไวแสงชนิดบวก AZ 1350

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- ล้างด้วยอะซิโตนในเครื่องสั่นความถี่สูง เป็นเวลา 3 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3.2.1.7 กระบวนการเคลือบชั้นอลูมิเนียมด้านหน้าของแผ่นซิลิคอนในสุญญากาศ

ในการเคลือบชั้นอลูมิเนียมโดยใช้เครื่องเคลือบโลหะในสุญญากาศ (Vacaum Evaporation) ทำการเคลือบแผ่นซิลิคอนด้วยอลูมิเนียมที่ความดัน 2.2×10^{-6} Torr

3.2.1.8 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟฟี 2 (Mask Photolithography)

ใช้กระจกมาส์คต้นแบบสำหรับสร้างขั้วสัมผัสอลูมิเนียม โดยการเคลือบน้ำยาไว้แสงชนิดบวก AZ 1350 ลงบนแผ่นผลึกซิลิคอน ด้วยอุปกรณ์ที่เรียนกว่าสปินเนอร์ (Spinner) แล้วนำไปอบให้แห้ง จึงนำไปทำการถ่ายกระจกต้นแบบมาส์คที่ 2

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- อบแห้งเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 90 C เป็นเวลา 30 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสง ชนิดบวก AZ 1350 โดยใช้เครื่องสปินเนอร์ ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 40 วินาที
- อบครั้งแรกให้น้ำยาไวแสงแห้งที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 20 นาที
- ฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบมาส์คที่ 2 ด้วยอุปกรณ์ Mask Aligner ซึ่งจะเป็นแสงอัลตราไวโอเลตออกมา แหล่งกำเนิดแสง คือ หลอดเมอร์คิวรี่ λ = 5000 Å เป็นเวลา 10 วินาที
- การล้างภาพ จุ่มในน้ำยา AZ – Developer 2 ครั้ง ครั้งละ 15 วินาที ล้างในน้ำบริสุทธิ์ แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- อบครั้งที่สอง ให้แผ่นฟิล์มที่เหลืออยู่แห้งที่อุณหภูมิ 90-100°C เป็นเวลา 30 นาที

3.2.1.9 การกัดชั้นอลูมิเนียม

สารละลายที่ใช้ละลายชั้นอลูมิเนียม ได้แก่สารสารละลายผสมซึ่งมีกรดฟอสฟอริคเป็นหลักมีลำดับขั้นตอนดังนี้

- จุ่มแผ่นซิลิคอนที่สร้างจากขั้นตอนที่แล้วลงในสารละลายซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 40°C เป็นเวลาประมาณ 10-20 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ล้างในน้ำบริสุทธิ์ 2 ครั้ง
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3.2.1.10 การลอกชั้นสารไวแสงชนิดบวก AZ

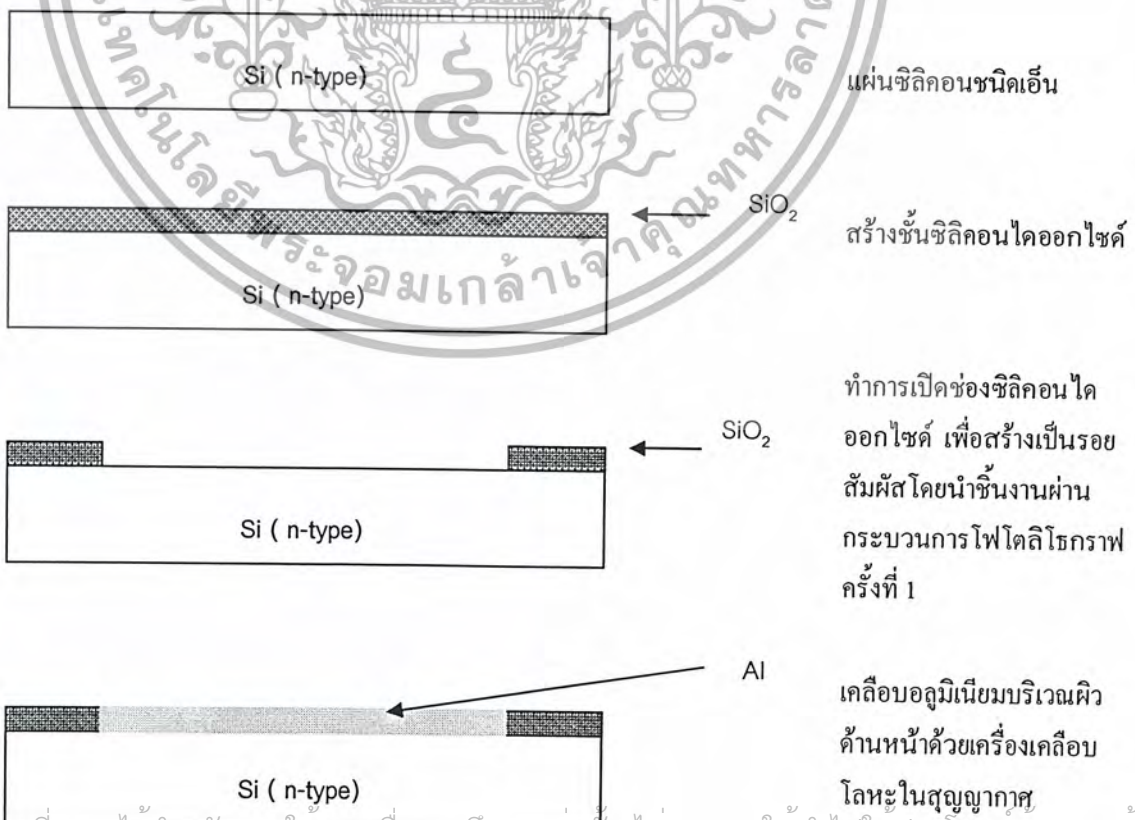
มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- จุ่มแผ่นซิลิคอนลงในอะซิโตน เป็นเวลาประมาณ 3 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

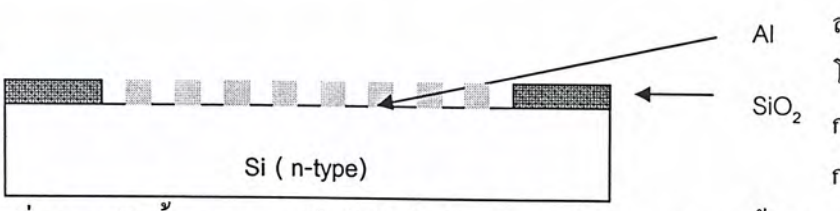
3.2.1.11 กระบวนการซินเตอร์ริง

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

3.2.2 ลำดับขั้นตอนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท ดังรูปที่แสดงต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลำดับขั้นตอนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท ที่มีการเปลี่ยนค่าความยาวของขั้วโลหะ L

ความกว้างของขั้วโลหะ W (μm)	ความกว้างของช่องรับแสง S (μm)	ความยาวของขั้วโลหะ L (mm)
40	20	1
40	20	1.5
40	20	2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตทที่มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของขั้วโลหะ W

ความกว้างของขั้วโลหะ W (μm)	ความกว้างของช่องรับแสง S (μm)	ความยาวของขั้วโลหะ L (mm)
10	20	1
20	20	1
40	20	1
60	20	1
80	20	1
100	20	1

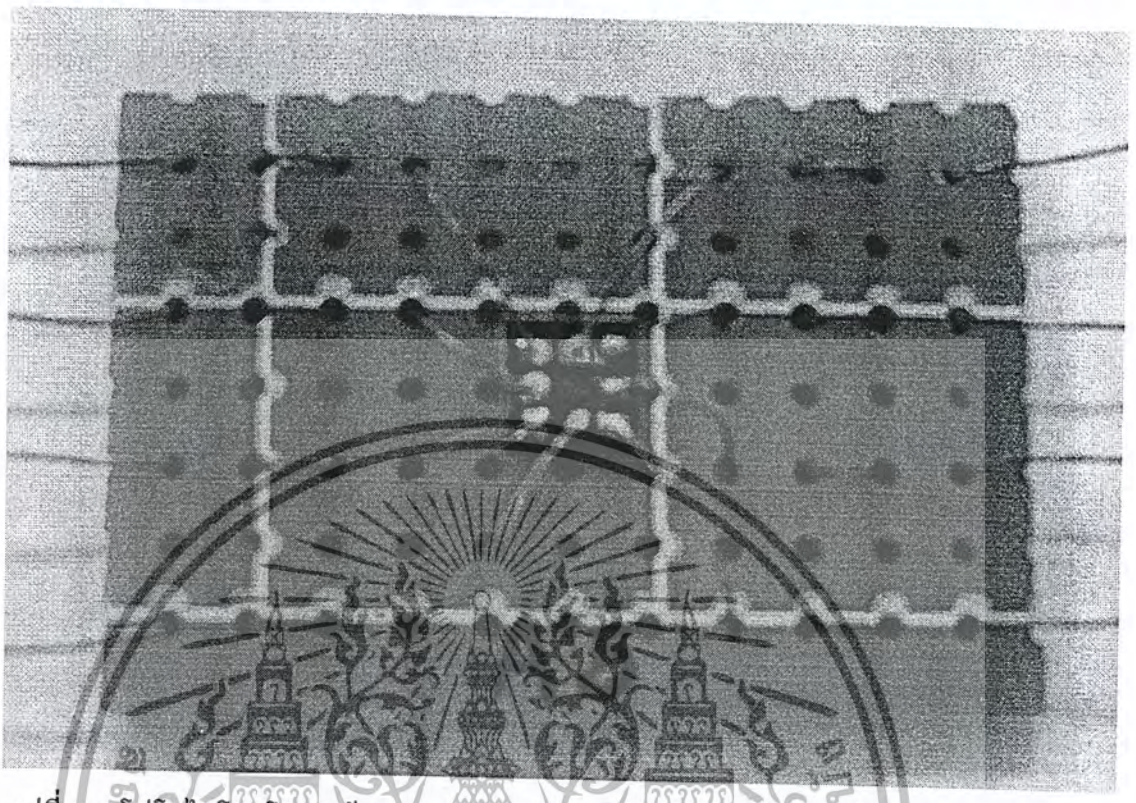
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท ที่มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของช่องรับแสง S

ความกว้างของขั้วโลหะ W (μm)	ความกว้างของช่องรับแสง S (μm)	ความยาวของขั้วโลหะ L (mm)
40	10	1
40	20	1
40	40	1
40	60	1
40	80	1
40	100	1

รูปที่ 3.5 โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ลวดลายแบบอินเตอร์ดิจิเตท ที่ถ่ายจากกล้องขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ลวดลายแบบอินเตอร์ดิจิเตท ที่มีการต่อขาพร้อมทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาคุณสมบัติกระแสแรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

กระบวนการสร้างโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยเริ่มจากนำแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น สภาพต้านทานแผ่น 20 Ω-cm มาทำการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการออกซิเดชันด้วยความร้อนเพื่อให้ได้ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีความหนาประมาณ 5,000 Å หลังจากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการโฟโตลิโทกราฟีสกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ออกในส่วนที่ต้องการให้เป็นบริเวณพื้นที่รับแสง แล้วจึงทำการเคลือบด้วยโลหะอลูมิเนียมโดยใช้วิธีการระเหยด้วยความร้อนในสูญญากาศเพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้า จากนั้นจึงทำกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีเพื่อสร้างลวดลายขั้วไฟฟ้าบนชั้นอลูมิเนียม แล้วจึงนำชิ้นงานไปทำการซินเตอริงที่อุณหภูมิ 500 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้เกิดรอยสัมผัสแบบอัลลอยด์ระหว่างโลหะอลูมิเนียมและซิลิคอน กระบวนการสร้างโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

รูปที่ 4.1 โครงสร้าง Al/n-Si/Alลวดลายแบบอินเตอร์ดิจิเตท

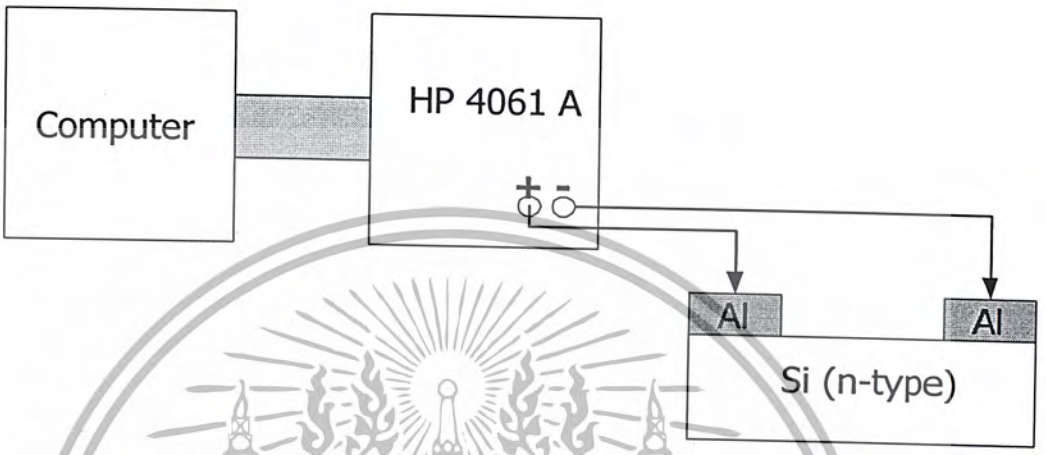
กำหนดให้ S คือ ความกว้างของช่องรับแสง

W คือ ความกว้างของขั้วโลหะ

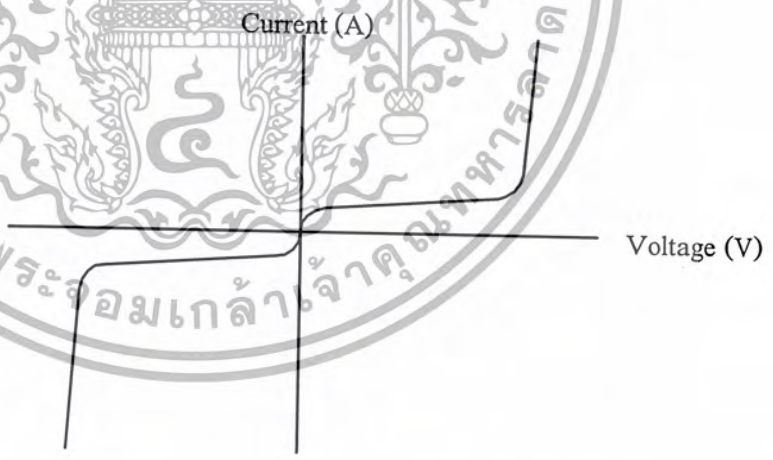
L คือ ความยาวของขั้วโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ขณะไม่ได้รับแสง



รูปที่ 4.2 การวัดกระแส-แรงดันในขณะไม่มีแสง (I-Dark) ของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al



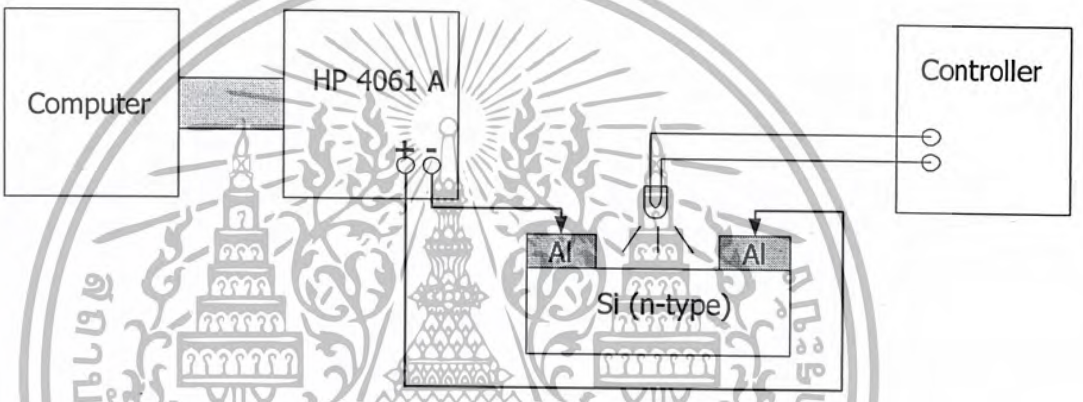
รูปที่ 4.3 คุณลักษณะของกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบสมมาตร

จากรูปที่ 4.2 การทดลองจะใช้การวัดจากเครื่อง HP4061A ซึ่งต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ในการควบคุมเครื่อง HP4061A และเก็บข้อมูล โดยเครื่อง HP4061A จะให้แรงดันไบอัสกับชิ้นงานในช่วง -5 ถึง 5 Volt และวัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสในขณะไม่มีแสง (I-Dark)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 กระแสจะมีค่าเพิ่มตามแรงดันที่จ่ายให้ในขณะไม่มีแสง (I-Dark) ซึ่งกระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อยจนขึ้นค่าแรงดันพังทลาย (Breakdown voltage) จะทำให้มีปริมาณกระแสเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก

4.1.2 การศึกษาคุณสมบัติกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับความเข้มแสง

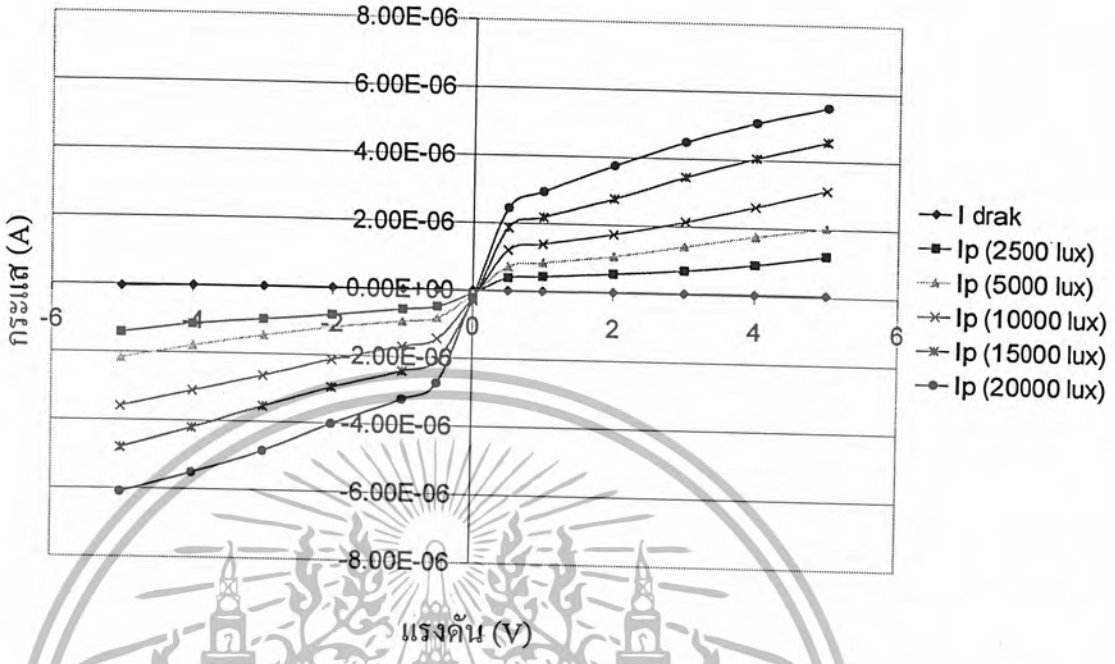


รูปที่ 4.4 การวัดกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al เมื่อได้รับแสง

จากรูปที่ 4.4 การทดลองใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดฮาโลเจน (Halogen Lamp) ขนาด 150 W และมีชุดควบคุมสำหรับปรับความเข้มแสง ฉายแสงที่ความเข้มต่าง ๆ กันตั้งแต่ 2,500 ถึง 25,000 Lux ลงบนชิ้นงานที่ต่ออยู่กับเครื่อง HP4061A จะให้แรงดันไบอัสกับชิ้นงานในช่วง -5 ถึง 5 Volt แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เกิดขึ้น

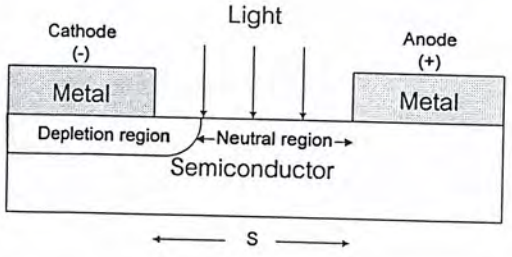
การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดโดยใช้เครื่องมือวัดและทดสอบอุปกรณ์ HP-4061 ภายใต้เงื่อนไขการให้แสงตกกระทบโดยแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฮาโลเจนที่มีความเข้มแสงต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



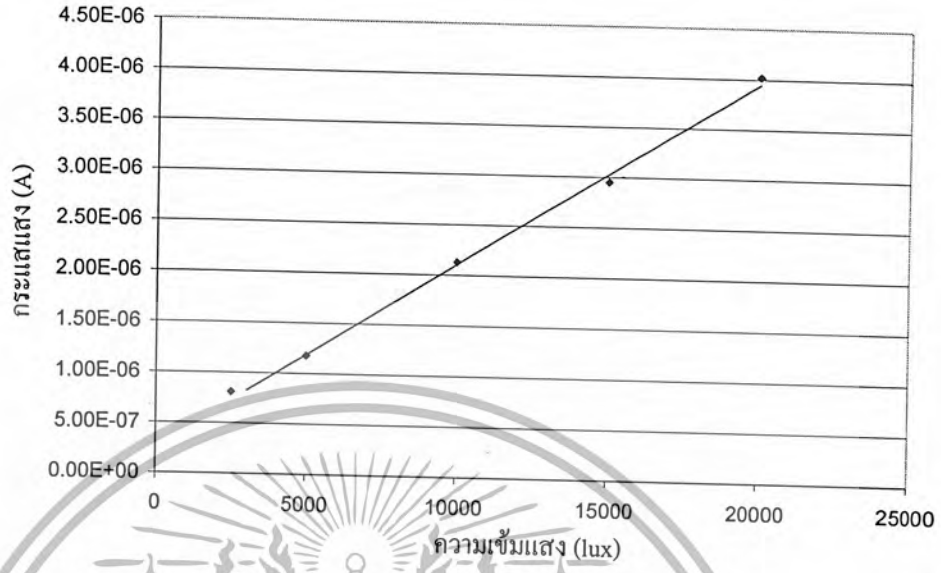
รูปที่ 4.5 แสดงสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด Al/n-Si/Al ที่มีความกว้างของช่องรับแสง 20μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 2 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว เมื่อให้ความเข้มแสงค่าต่างกัน

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นกระแสแสงของโฟโตไดโอด Al/n-Si/Al มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามแรงดันไบอัสที่ความเข้มแสงค่าเดียวกัน เนื่องจากพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอดเมื่อได้รับการไบอัสจะประกอบ ด้วยบริเวณปลอดพาหะ (Depletion region) กับบริเวณพื้นที่เป็นกลาง (Neutral region) แสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งกระแสแสงของโฟโตไดโอดส่วนใหญ่เกิดจากการดูดกลืนโฟตอนในบริเวณปลอดพาหะ เมื่อเพิ่มแรงดันไบอัสจะทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายกว้างขึ้นและบริเวณพื้นที่เป็นกลางลดลงส่งผลให้กระแสแสงของโฟโตไดโอดมีค่าสูงขึ้นตามแรงดันไบอัส



รูปที่ 4.6 แสดงบริเวณปลอดพาหะกับบริเวณพื้นที่เป็นกลางของโฟโตไดโอดเมื่อได้รับการไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



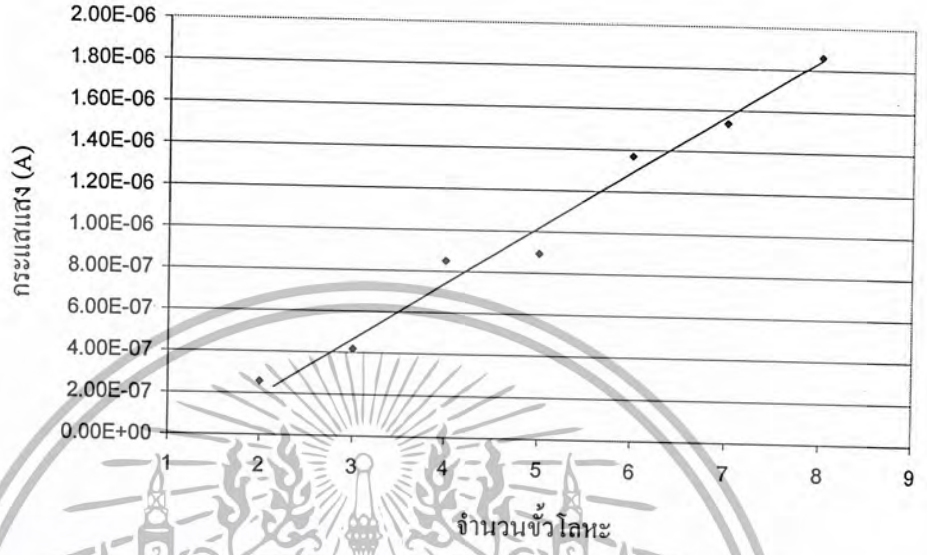
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความเข้มแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 2 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว ที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์

เมื่อนำค่ากระแสแสงที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์ ที่ได้จากกราฟรูปที่ 4.5 มาแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงกับความเข้มแสงโดยให้แกน X แสดงความเข้มแสง และ แกน Y แสดงค่ากระแสแสงซึ่งจะทำให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มแสงได้อย่างชัดเจนขึ้น ดังในรูปที่ 4.7 เมื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอดทำให้กระแสแสงมีค่าสูงขึ้นเนื่องจาก โฟตอนที่ตกกระทบลงบนพื้นที่รับแสงมีมากขึ้น การดูดกลืนโฟตอนจึงสูงขึ้นทำให้กระแสแสงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ลักษณะเป็นการเพิ่มในฟังก์ชันเชิงเส้น

จากคุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสามารถนำโฟโตไดโอด Al/n-Si/Al ไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

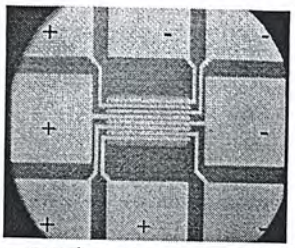
4.1.3 ผลของจำนวนขั้วโลหะต่อกระแสแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความเข้มแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว ความเข้มแสง 10,000 lux ที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์

ในโครงสร้างแบบอิเตอร์ดิจิเตท จำนวนขั้วโลหะ 2 ขั้ว เปรียบได้กับโครงสร้างแบบช่องรับแสงเดี่ยวคือจะมีช่องรับแสงเพียงช่องเดียวอยู่ระหว่างขั้วโลหะทั้งสอง เมื่อเพิ่มขั้วโลหะเป็นจำนวน N ขั้ว จะทำให้ได้ช่องรับแสง N-1 ช่อง ดังนั้นการเพิ่มขั้วโลหะส่งผลให้พื้นที่รับแสงเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงทำให้กระแสแสงมีค่าเพิ่มขึ้น รูปที่ 4.8 แสดงการเพิ่มขึ้นของกระแสแสงเมื่อจำนวนขั้วโลหะเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มจะเป็นในลักษณะฟังก์ชันเชิงเส้น และการลักษณะการไบอัสแรงดันเป็นการไบอัสแบบเสริมแรงดันกัน ดังนั้นเมื่อกระแสแสงผ่านพื้นที่รับแสงที่บริเวณปลอดพาหะที่ขยายกว้างขึ้นและบริเวณพื้นที่เป็นกลางลดลงส่งผลให้กระแสแสงของโฟโตไดโอดมีค่าสูงขึ้นตามแรงดันไบอัสเสริมกันหรือตามขั่วโลหะที่เพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากคุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสามารถนำโฟโตไดโอด Al/n-Si/Al ไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงได้ ซึ่งการเพิ่มจำนวนขั้วเป็นที่น่าสนใจมากในการนำไปใช้งานจริง

4.1.4 ผลของความยาวขั้วไฟฟ้าต่อกระแสแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความยาวของขั้วโลหะของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว และความเข้มแสง 10,000 lux ที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์

จากรูปที่ 4.9 พบว่าการเพิ่มความยาวของขั้วโลหะทำให้ได้กระแสแสงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความยาวของขั้วโลหะทำให้พื้นที่รับแสงเพิ่มขึ้น กระแสแสงจึงมีค่าเพิ่มขึ้นที่ความเข้มแสง แรงดันไบอัส และจำนวนขั้วโลหะที่เท่ากัน ลักษณะเป็นการเพิ่มในฟังก์ชันเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสามารถนำโฟโตไดโอด Al/n-Si/Al ไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงได้ แต่การเพิ่มความยาวของขั้งโลหะในความเป็นจริงไม่นิยมใช้กัน

4.1.5 ผลของความกว้างขั้วไฟฟ้าต่อกระแสแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

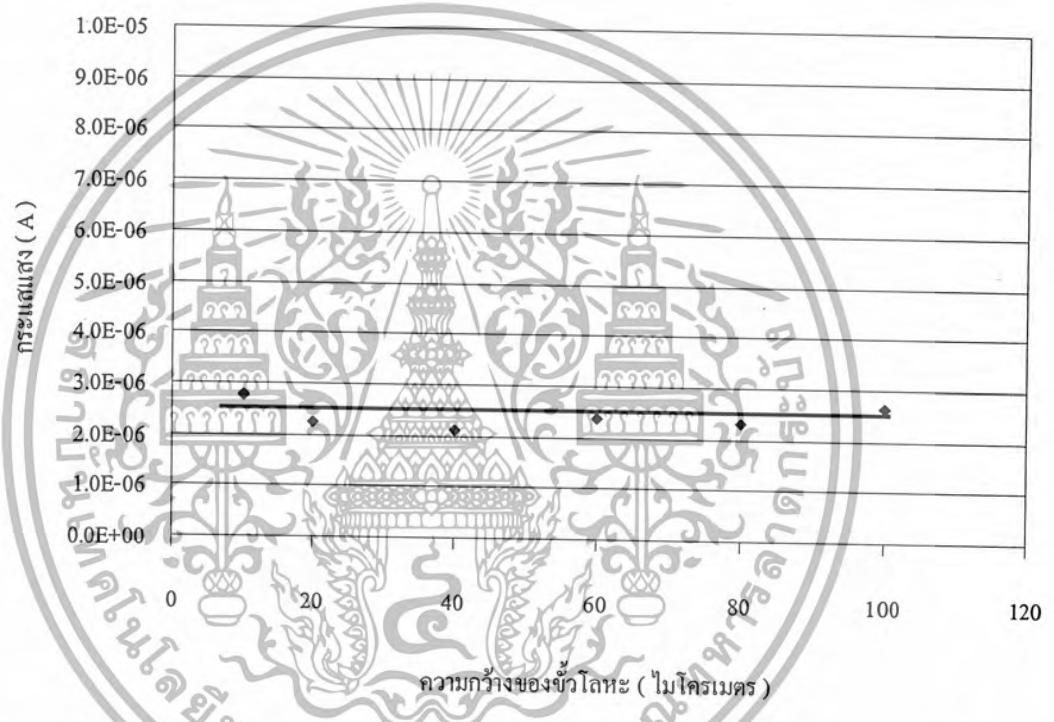
รูปที่ 4.10 แสงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความกว้างของขั้วโลหะของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว และความเข้มแสง 10,000 lux ที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์

จากรูปที่ 4.10 พบว่าการเพิ่มความกว้างของขั้วโลหะ จะไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกระแสแสง เนื่องจากกระแสแสงส่วนใหญ่เกิดจากการดูดกลืนโฟตอนในบริเวณพื้นที่รับแสงที่เป็นบริเวณปลอดพาหะมากกว่าบริเวณพื้นที่เป็นกลาง ซึ่งการเพิ่มความของขั้วโลหะไม่ได้เป็นการเพิ่มพื้นที่รับแสงที่เป็นบริเวณปลอดพาหะ เพราะความกว้างของบริเวณพื้นที่เป็นกลางมีมากกว่าความกว้างของบริเวณปลอดพาหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสามารถนำโฟโตไดโอด Al/n-Si/Al ไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงได้แต่การการเพิ่มความกว้างของขั้วโลหะไม่มีผลต่อการเพิ่มของกระแสแสง เหมือนการเพิ่มความยาวของขั้วโลหะ

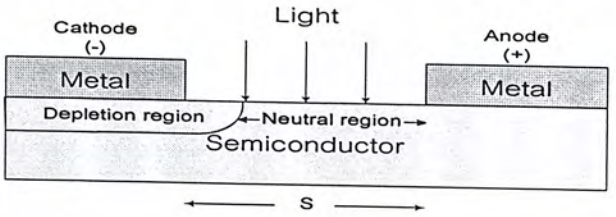
4.1.6 ผลของความกว้างของช่องรับแสงต่อกระแสแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al



รูปที่ 4.11 แสงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความกว้างของช่องรับแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว และความเข้มแสง 10,000 lux ที่แรงดันไบอัส 2 โวลต์

จากรูปที่ 4.11 พบว่าการเพิ่มความกว้างของช่องรับแสง จะไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกระแสแสง เนื่องจากกระแสแสงส่วนใหญ่เกิดจากการดูดกลืนโฟตอนในบริเวณพื้นที่รับแสงที่เป็นบริเวณปลอดพาหะมากกว่าบริเวณพื้นที่เป็นกลาง ซึ่งการเพิ่มความกว้างของช่องรับแสงไม่ได้เป็นการเพิ่มพื้นที่รับแสงที่เป็นบริเวณปลอดพาหะ เพราะความกว้างของบริเวณพื้นที่เป็นกลางมีมากกว่าความกว้างของบริเวณปลอดพาหะ

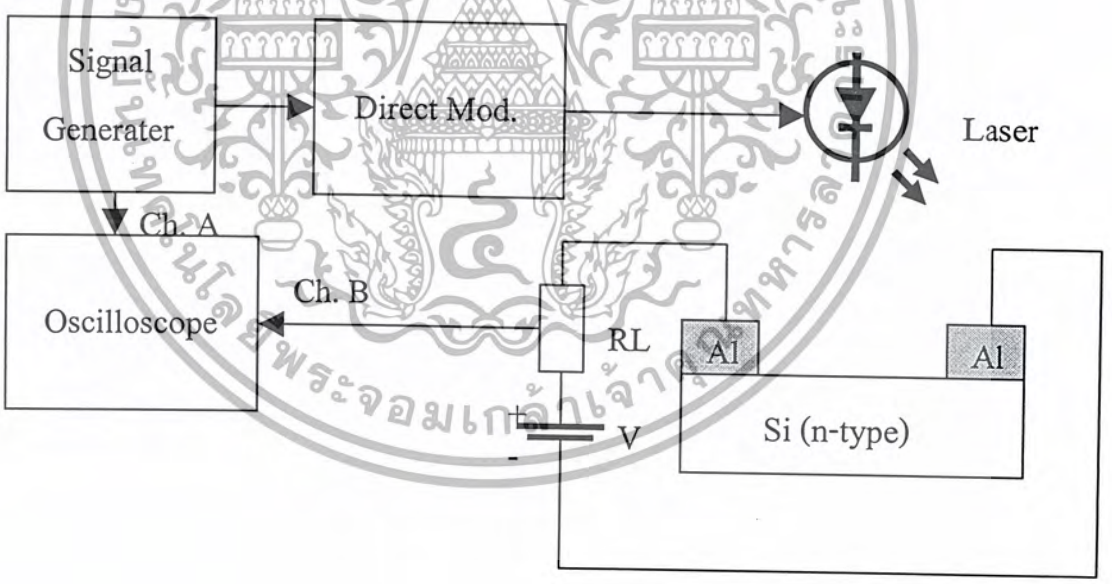
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงบริเวณปลอดพาหะกับบริเวณพื้นที่เป็นกลางของโฟโตไดโอดเมื่อได้รับการไบอัส

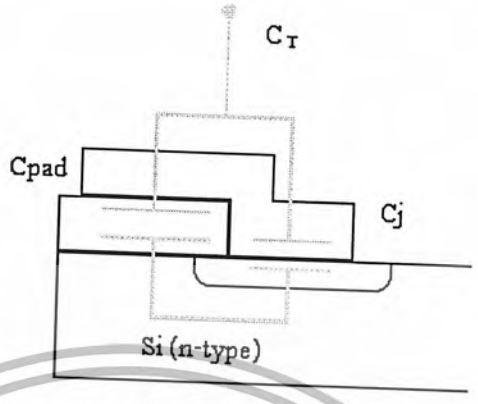
จากคุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสามารถนำโฟโตไดโอด Al/n-Si/Al ไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงได้แต่การการเพิ่มความกว้างของช่องรับแสงไม่มีผลต่อการเพิ่มของกระแสแสง เหมือนการเพิ่มความยาวของขั้วโลหะ

4.2 การศึกษาคุณสมบัติการตอบสนองทางความถี่ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.13 (ก) การวัดผลการตอบสนองความถี่ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al
(ข) ค่าความจุรวมภายในของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al

จากรูปที่ 4.13 (ก) เป็นการวัดผลการตอบสนองความถี่ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al โดยต่อโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al กับตัวต้านทาน และ Power supply กระแสตรงที่แรงดัน 5 Votl โดยสัญญาณไซน์ (Sine wave) ถูกมอดดูเลท แล้วส่งให้หัว Laser ที่มีความยาวคลื่น λ เท่ากับ 670 nm โฟกัสแสงเลเซอร์ (Laser) ไปที่พื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al แล้ววัดค่าความถี่และแรงดันโดยใช้ออสซิโลสโคป (Oscilloscope) แล้วนำมาสร้างกราฟการตอบสนองถี่ โดยแกนตั้งเป็นค่า Photorespone (Norm) และแกนนอนเป็นค่าความถี่

การคำนวณค่าความจุไฟฟ้าภายในโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al เกิดจากค่าความจุไฟฟ้าที่บริเวณ Bonding Pad ต่อขนานกับค่าความจุไฟฟ้าบริเวณผัสโลหะ-สารกึ่งตัวนำ

$$C_T = C_{pad} + C_{junction}$$

การคำนวณค่าความจุไฟฟ้าบริเวณ Bonding Pad

$$C_{pad} = \frac{\varepsilon_o \varepsilon_{sio_2} A}{t_{ox}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

ε_o ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสุญญากาศ (8.854×10^{-12} F/m)

ε_{sio_2} ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของซิลิคอนไดออกไซด์ (3.9)

A พื้นที่ Bonding Pad

t_{ox} ความกว้างของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

การคำนวณค่าความจุไฟฟ้าบริเวณรอยสัมผัสโลหะ – สารกึ่งตัวนำ

พิจารณากรณีเป็นรอยต่อ p^+ - n

$$C_j = \frac{A}{2}\left[\frac{2q\varepsilon N_D}{Vbi \pm VA}\right]^{\frac{1}{2}}$$

เมื่อ

ε ค่าเปอร์มิสติวิตี้ของสารกึ่งตัวนำ

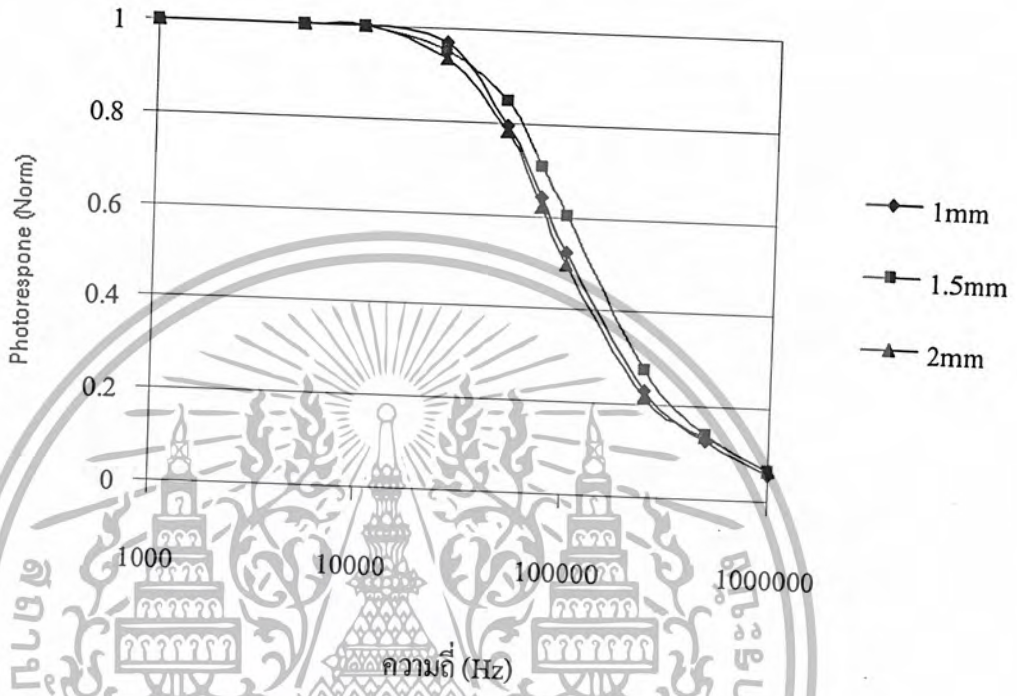
N_D ความหนาแน่นอะตอมสารเจือในซิลิคอน

Vbi ค่าแรงดันภายใน

VA ค่าแรงดันไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลของกราฟการตอบสนองความถี่ที่เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ความยาวของขั้วโลหะของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Photorespone (Norm) และ ความถี่ (Frequency) โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีการเปลี่ยนค่าความยาวของขั้วโลหะ ความกว้างของช่องรับแสง 20 μmความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว ที่แรงดันไบอัสวงจร 5 โวลต์ และ ความต้านทาน 10 kΩ

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดค่าความจุโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท มีการเปลี่ยนค่าความยาวของขั้วโลหะ ที่ได้จากการคำนวณ

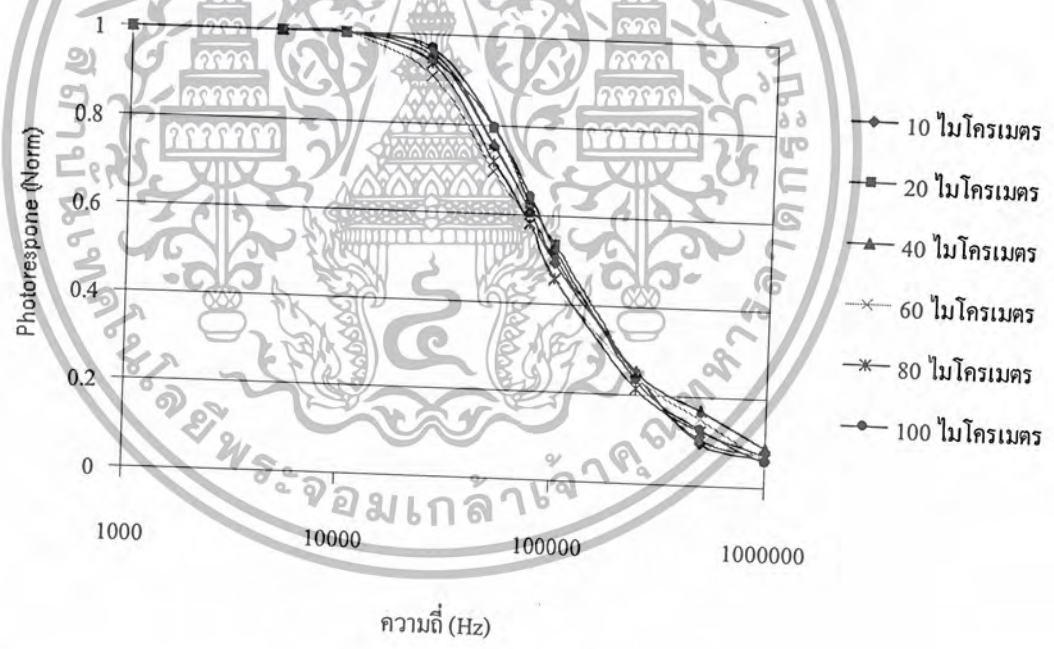
ความยาวขั้วโลหะ L (mm)	ความจุบริเวณปลอดพาหะ C_j (F)	ความจุบริเวณ C_{pad} (F)	ความจุรวม C_T (F)
1	16.64×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606016×10^{-10}
1.5	24.96×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606024×10^{-10}
2	33.28×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606033×10^{-10}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.14 พบว่าการตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ลักษณะของกราฟมีการตอบสนองความถี่ที่ไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ความยาวของขั้วโลหะของตามกราฟ เนื่องจากค่าความจุภายในของโฟโตไดโอดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าความจุบริเวณปลอดพาหะน้อยกว่าค่าความจุบริเวณบริเวณแพด (C_{pad})ดังนั้น จึงทำให้กราฟการตอบสนองความถี่ที่ไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนค่า ซึ่งสังเกตค่าได้จากตารางที่ 4.1

จากคุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากราฟการตอบสนองความถี่ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่สามารถประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสสลับทางแสงได้

4.2.2 ผลของกราฟการตอบสนองความถี่ที่เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ความกว้างของขั้วโลหะของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Photorespone (Norm) และ ความถี่ (Frequency) โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของขั้วโลหะ ความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว และที่แรงดันไบอัสวงจร 5 โวลต์ และความต้านทาน 10 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดค่าความจุโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของขั้วโลหะ ที่ได้จากการคำนวณ

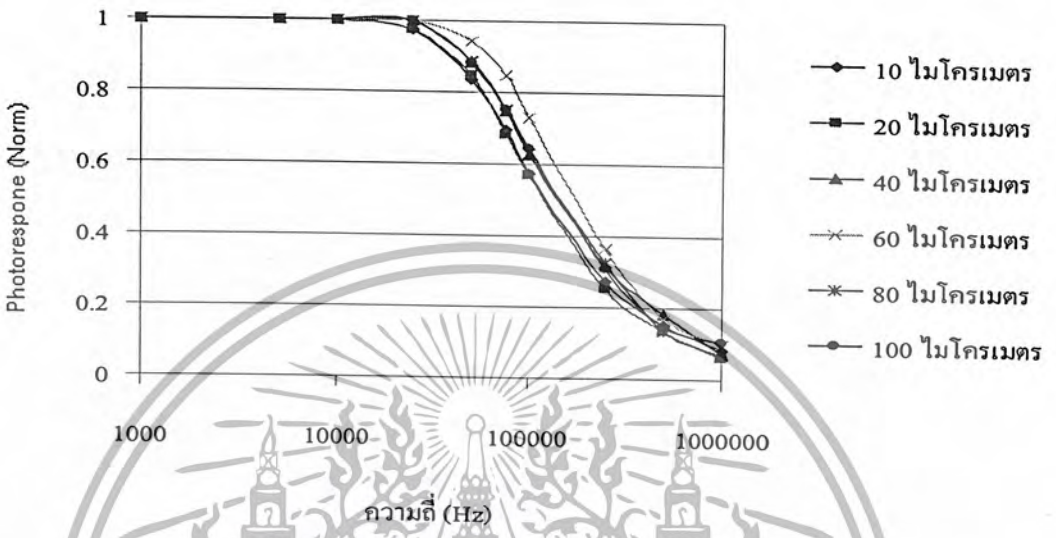
ความกว้างขั้วโลหะ W (μm)	ความจุบริเวณปลอดพาหะ C_j (F)	ความจุบริเวณ C_{pad} (F)	ความจุรวม C_T (F)
10	4.16×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606004×10^{-10}
20	8.32×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606008×10^{-10}
40	16.64×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606016×10^{-10}
60	24.96×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606024×10^{-10}
80	33.28×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606033×10^{-10}
100	41.6×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606041×10^{-10}

จากรูป 4.15 พบว่าการตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ลักษณะของกราฟมีการตอบสนองความถี่ที่ไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ค่าความกว้างของขั้วโลหะตามกราฟ เนื่องจากค่าความจุภายในของโฟโตไดโอดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าความจุบริเวณปลอดพาหะน้อยกว่าค่าความจุบริเวณบริเวณแพด (C_{pad})ดังนั้น จึงทำให้กราฟการตอบสนองความถี่ที่ไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนค่า ซึ่งสังเกตค่าได้จากตารางที่ 4.2

จากคุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากราฟการตอบสนองความถี่ของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่สามารถประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสสลับทางแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลของกราฟการตอบสนองความถี่ที่เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ความกว้างของช่องรับแสง ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Photorespone (Norm) และ ความถี่ (Frequency) โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีที่มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของช่องรับแสง ความกว้างของขั้วโลหะ40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว และที่แรงดันไบอัสวงจร 5 โวลต์ และความต้านทาน 10 kΩ

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดค่าความจุโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท มีที่มีการเปลี่ยนค่าความกว้างของช่องรับแสง ที่ได้จากการคำนวณ

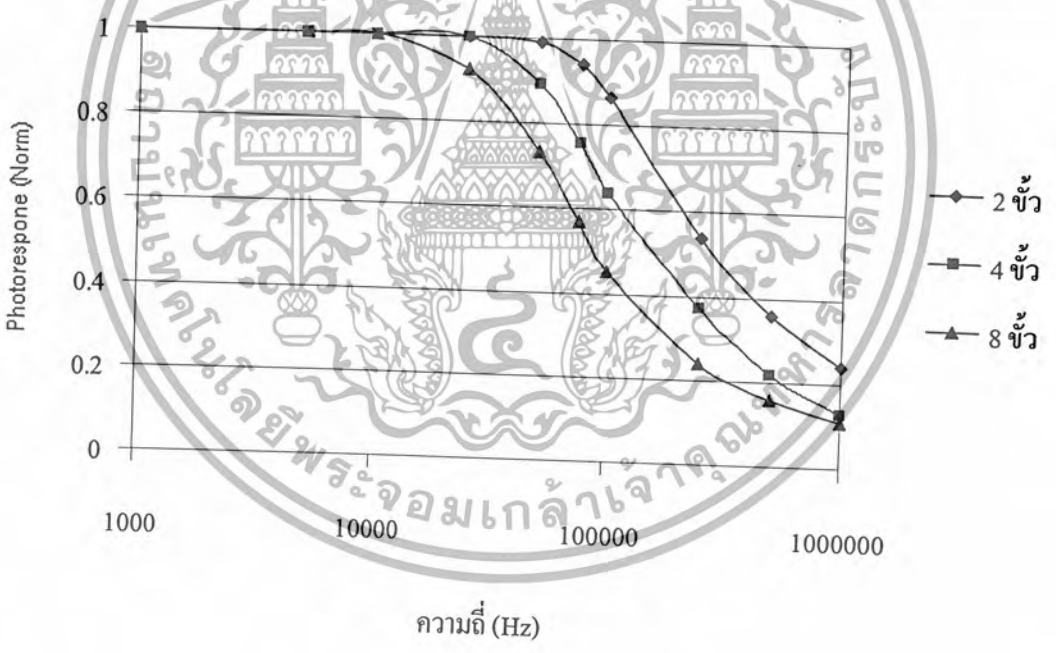
ความกว้างของช่องรับแสง S (μm)	ความจุบริเวณปลอดพาหะ C_j (F)	ความจุบริเวณ C_{pad} (F)	ความจุรวม C_T (F)
10	16.64×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606016×10^{-10}
20	16.64×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606016×10^{-10}
40	16.64×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606016×10^{-10}
60	16.64×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606016×10^{-10}
80	16.64×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606016×10^{-10}
100	16.64×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606016×10^{-10}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.16 พบว่าการตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ลักษณะของกราฟมีการตอบสนองความถี่ที่ไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ค่าความกว้างของช่องรับแสงตามกราฟ เนื่องจากค่าความจุภายในของโฟโตไดโอดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าความจุบริเวณปลอดพาหะน้อยกว่าค่าความจุบริเวณแพด(C_{pad}) ดังนั้น จึงทำให้กราฟการตอบสนองความถี่ที่ไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนค่า ซึ่งสังเกตค่าได้จากตารางที่ 4.3

จากคุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากราฟการตอบสนองความถี่ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่สามารถประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสสลับทางแสงได้

4.2.4 ผลของกราฟการตอบสนองความถี่ที่เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์จำนวนขั้วโลหะของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Photorespone (Norm) และ ความถี่ (Frequency) โฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีการเปลี่ยนจำนวนของขั้วโลหะ ความกว้างของช่องรับแสง 20 μmความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm ที่แรงดันไบอัสวงจร 5 โวลต์ และความต้านทาน 10 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่4.17 พบว่ากราฟการตอบสนองความถี่ จะมีค่าลดลงตามค่าของจำนวนขั้วโลหะที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าของจำนวนขั้วที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าคามจุภายในของโฟโตไดโอดมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้การตอบสนองความถี่มีการเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความจุภายในของโฟโตไดโอดที่เพิ่มขึ้นสังเกตได้จากตารางที่ 4.4

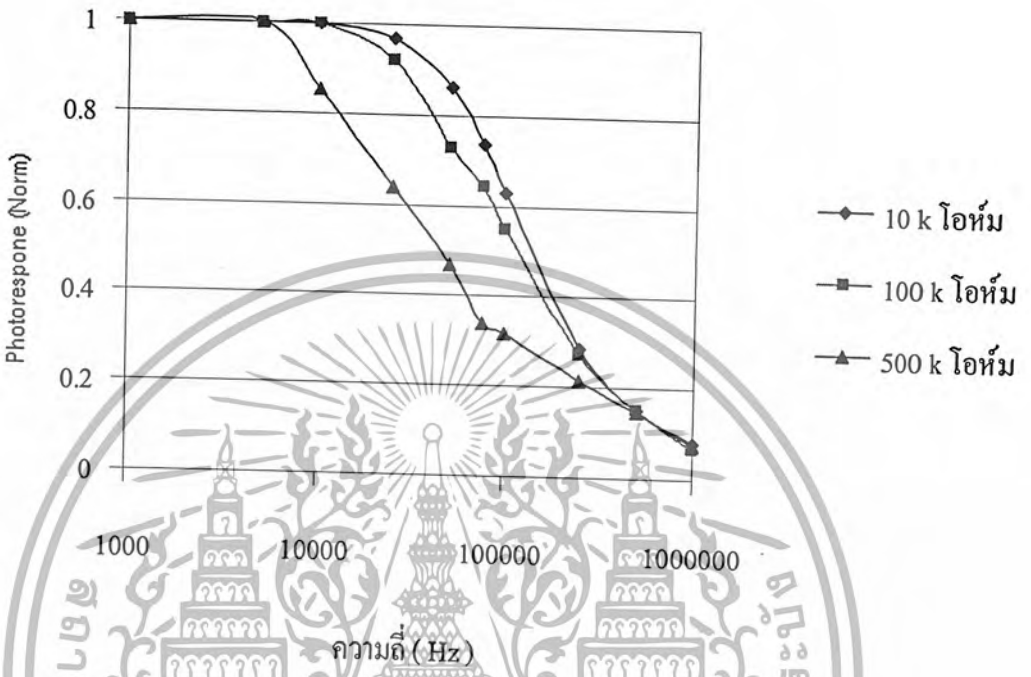
ตารางที่ 4.4 รายละเอียดค่าความจุโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ขั้วโลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตท มีการเปลี่ยนจำนวนขั้วโลหะ

จำนวนขั้ว	ความจุบริเวณปลอดพาหะ C_j (F)	ความจุบริเวณ C_{pad} (F)	ความจุรวม C_T (F)
2	4.16×10^{-16}	6.515×10^{-11}	$0.5616041 \times 10^{-10}$
4	8.32×10^{-16}	13.03×10^{-11}	1.303008×10^{-10}
8	16.64×10^{-16}	26.06×10^{-11}	2.606016×10^{-10}

จากคุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากราฟการตอบสนองความถี่ของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่สามารถประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสสลับทางแสงได้ แต่การเพิ่มและลดจำนวนขั้วโลหะเพื่อให้ได้สนองความถี่ที่เปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นที่น่าสนใจมากในการนำไปใช้งาน แต่การเปลี่ยนค่าความต้านทานทำได้ง่ายและมีความละเอียดมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ผลของกราฟการตอบสนองความถี่ที่เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ค่าความต้านทานโหลดของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Photorespone (Norm) และ ความถี่ (Frequency) โฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่มีการเปลี่ยนค่าความต้านทานโหลด ความกว้างของช่องรับแสง 20 μm ความกว้างของขั้วโลหะ 40 μm ความยาวของขั้วโลหะ 1 mm แรงดันไบอัสวงจร 5 โวลต์ จำนวนขั้วโลหะ 8 ขั้ว ที่แรงดันไบอัสวงจร 5 โวลต์

จากรูปที่ 4.18 พบว่ากราฟการตอบสนองความถี่จะมีค่าลดลงตามค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า Time constant เมื่อเพิ่มค่าความต้านทานจะทำให้ค่า Time constant เพิ่มขึ้น ดังนั้นการตอบสนองความถี่จึงลดลง

จากคุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากราฟการตอบสนองความถี่ของโฟโตไดโอด โครงสร้าง Al/n-Si/Al ที่สามารถประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสสลับทางแสงได้ ซึ่งการใช้งานโฟโตไดโอดจะต้องคำนึงถึงค่าความต้านทานโหลดเพื่อให้ได้การตอบสนองความถี่ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการวิจัยศึกษาผลตอบสนองของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิจิเตท โดยได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน

ส่วนแรกทำการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอดซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนไปตามตัวแปรต่างๆ ในโครงสร้างแบบอินเตอร์ดิจิเตท ได้แก่ จำนวนของขั้วโลหะ ความยาวของขั้วโลหะ ความกว้างของขั้วโลหะ ความกว้างของช่องรับแสง และความเข้มแสงซึ่งเป็นปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อค่ากระแสแสงของโฟโตไดโอด จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มความยาวของขั้วโลหะ จำนวนของขั้วโลหะและความเข้มแสง ส่งผลทำให้ค่ากระแสแสงของโฟโตไดโอดเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มขึ้นของกระแสแสงเป็นในลักษณะฟังก์ชันเชิงเส้น แต่การเพิ่มความกว้างของขั้วโลหะและความกว้างของช่องรับแสงไม่มีผลต่อค่ากระแสแสงของโฟโตไดโอด เนื่องจากการเพิ่มความกว้างของช่องรับแสงโดยให้แรงดันไบอัสเท่าเดิมจะทำให้บริเวณนิวทรอลเพิ่มขึ้นแต่บริเวณปลอดพาหะไม่เปลี่ยนแปลงกระแสแสงที่ได้จึงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการออกแบบขั้วโลหะของโฟโตไดโอดโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะแบบอินเตอร์ดิจิเตทเพื่อใช้งานจริงควรใช้ช่องรับแสงแคบมากๆเพื่อให้บริเวณปลอดพาหะครอบคลุมขั้วโลหะทั้งสองด้าน การเพิ่มกระแสแสงโดยการเพิ่มจำนวนขั้วโลหะเป็นวิธีการที่ดีกว่าการเพิ่มความยาวของขั้วโลหะเนื่องจากการออกแบบบนชิปวงจรรวมจำเป็นต้องคำนึงถึงการสิ้นเปลืองพื้นที่เป็นหลักสำคัญ

การทดลองส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลตอบสนองทางความถี่ของโฟโตไดโอด โดยใช้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร ซึ่งมอดูเลทด้วยสัญญาณซายน์ความถี่ตั้งแต่ 1 กิโลเฮิร์ทถึง 1 เมกะเฮิร์ท โฟกัสแสงเลเซอร์ไปที่พื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอดโครงสร้าง Al/n-Si/Al แล้ววัดค่าความถี่และแรงดันโดยให้ออสซิโลสโคป แล้วนำมาสร้างกราฟารตอบสนองความถี่ของโฟโตไดโอดโครงสร้างAl/n-Si/Al โดยแกนตั้งเป็นค่านอร์มอลไลซ์ และแกนนอนเป็นค่าความถี่ เพื่อดูช่วงความถี่ที่โฟโตไดโอดสามารถตอบสนองได้ จากผลการทดลองโฟโตไดโอดสามารถตอบสนองความถี่ได้ถึง 100 กิโลเฮิร์ท จากการทดลองพบว่าตัวแปรต่างๆในโครงสร้างอินเตอร์ดิจิเตทไม่มีผลต่อการตอบสนองทางความถี่ของโฟโตไดโอดเนื่องจากค่าควาจุไฟฟ้าที่บริเวณแพดสูงกว่าค่าความจุไฟฟ้าที่บริเวณปลอดพาหะ ส่วนสาเหตุที่การตอบสนองทางความถี่ได้ไม่สูงนักเนื่องจากวัตถุประสงค์การออกแบบโฟโตไดโอดเพื่อใช้ในงานวิจัยค่าความจุไฟฟ้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณแพดมีค่าสูงกว่าค่าความจุไฟฟ้าที่บริเวณปลอดพาหะมากทำให้การวัดผลตอบสนองทางความถี่ที่ได้จากอุปกรณ์แต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

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

ดุสิต เครืองาม. **สิ่งประดิษฐ์ ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ : ฟิสิกส์เทคโนโลยีและการใช้งาน.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2542

สรายุทธ วิศวแสวงสุข และคณะ. " การศึกษาค่าความสูงของกำแพงศักย์ของรอยสัมผัสแบบชอตต์กี . การประชุมวิชาการทางไฟฟ้า ครั้งที่ 23 พ.ศ. 2543.

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

Sze **S.M.Physics of Semiconductor Device2nd Edition.**1981.

T. Masui, S. Khunkhao, K. Kobayashi, S. Niemcharoen, S. Supadech, K. Sato, "Photosensing properties of interdigitated metal-semiconductor-metal structures with undepleted region", Solid-State Electronic, 2003

P.R Berger, "MSM Photodiodes," IEEE Potential, 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้