

การศึกษาการสร้างตัวตรวจวัดแสงแบบ Al /n-Si /Al และผลของอะตอมทองคำ

STUDY ON THE FABRICATION OF Al /n-Si /Al  
PHOTODETECTOR AND EFFECT OF GOLD ATOMS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....55791.....  
วัน,เดือน,ปี.....25 พ.ค. 2548.....



การศึกษาการสร้างตัวตรวจวัดแสงแบบ Al /n-Si /Al และผลของอะตอมทองคำ

**STUDY ON THE FABRICATION OF Al /n-Si /Al  
PHOTODETECTOR AND EFFECT OF GOLD ATOMS**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการสร้างตัวตรวจวัดแสงแบบ AI /n-Si /AI และผลของอะตอมทองคำ

นาย จักรพงศ์ ศุภเดช เลขประจำตัว 43010052

นาย กิตติรัช พรประสิทธิ์ผล เลขประจำตัว 43010026

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้

ลงชื่อ.....

ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานปีการศึกษา 2546  
ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง การศึกษาการสร้างตัวตรวจวัดแสงแบบ Al /n-Si /Al และผลของอะตอมทองคำ

ผู้จัดทำ 1. นาย จักรพงษ์ สุขเดช เลขประจำตัว 43010052  
2. นาย กิตติรัช พรประสิทธิ์ผล เลขประจำตัว 43010026



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาการสร้างตัวตรวจวัดแสงแบบ AI /n-Si /AI และผลของอะตอมทองคำ

โดย นาย จักรพงศ์ สุขเดช 43010052  
นาย กิตติรัช พรประสิทธิ์ผล 43010026

ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันตัวตรวจวัดแสงแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ หรือ MSM Photodetector เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีบทบาทสำคัญอย่างหนึ่งในงานอิเล็กทรอนิกส์ทางแสง(Opto-electronics) แต่เนื่องจากความเร็วในการตอบสนองทางแสงนั้น เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของ MSM ดังนั้นคณะนักวิจัยจึงได้คิดค้นที่จะสร้าง MSM ที่มีความสามารถในการตอบสนองทางแสงให้ดียิ่งขึ้น

ในรายงานฉบับนี้ได้กล่าวถึง ทฤษฎีการทำงานของตัวตรวจวัดแสงแบบ MSM ที่มีโครงสร้างแบบอะลูมิเนียม-ซิลิคอนชนิดเอ็น-อะลูมิเนียม , คุณสมบัติของซิลิคอนที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ , การออกแบบ และนอกจากนี้ยังได้วัดคุณสมบัติของตัวตรวจวัดแสงแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะที่สร้างขึ้น เช่น คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่ความเข้มแสงต่างๆ , คุณสมบัติการตอบสนองทางแสงที่แรงดันไบอัสค่าต่างๆ , แรงดันพังทลาย และกระแสรั่วไหล เพื่อทำการวิเคราะห์ผลหาคุณสมบัติที่สำคัญอื่นๆต่อไป ซึ่งจากผลการทดลองนั้นพบว่า การเติมอะตอมทองคำนั้นจะทำให้กระแสแสงมีค่าลดลง หรือความไวลดลง แต่จะช่วยให้การตอบสนองทางแสงนั้นเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.75 เท่า

จากผลการทดลองทั้งหมดนี้สามารถที่จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและพัฒนา MSM ที่มีโครงสร้างแบบ อะลูมิเนียม-ซิลิคอนชนิดเอ็น-อะลูมิเนียม ตามเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อไป

# STUDY ON THE FABRICATION OF Al /n-Si /Al PHOTODETECTOR AND EFFECT OF GOLD ATOMS

Project By Mr. Jakrapong Supadach 43010052

Mr. Kittitouch Pornprasitpol 43010026

Assistance Prof. Surasak Niumcharoen Advisor

## Abstract

MSM photodetector is an important semiconductor device because it has advantages over other type photodetectors; especially it has bandwidth wider than the others. Thus, MSM structure is appropriate to use for photo current sensor works.

Since frequency response is an important characteristic of photodetectors, there are many researchers have been developing the characteristics. It was found that doping Au atoms into the substrate is a way to increase the photo response.

This report is presented to show the working theory of n-substrate MSM photo detector, effect of Au-doped silicon and its significant characteristics such as I-V characteristic and frequency response in various light intensities, breakdown voltages and leakage currents (dark current) so that we can use them to analyze other significant characteristics and develop MSM structure.

The result of experiment was found that doping Au atoms into MSM's substrate causes a decrease in photo current, but it helps to gain more photo response about 3.75 times.

All experimental data and experience useful for the design and fabrication of the other photo detector devices

## กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการการออกแบบและการสร้างตัวตรวจวัดแสงแบบ Al /n-Si /Alนี้ ได้รับการสนับสนุนและช่วยเหลือให้คำแนะนำจาก อาจารย์ภาคิณีเถกทรอนิกส์ และได้รับความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆจากภาคิณีเถกทรอนิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ ที่ให้แนวความคิด คำปรึกษา การแก้ไขปัญหาและสนับสนุนในการทำวิจัย ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกทราบบ้างในความกรุณาของท่านอย่างที่สุดและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบุพการี ญาติมิตร เจ้าหน้าที่ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่ได้ให้การสนับสนุน อำนวยความสะดวก และเป็นกำลังใจให้คณะผู้จัดทำเสมอมา

นาย จักรพงศ์ สุขเดช

นาย กิตติรัช พรประสิทธิ์ผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทที่1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ	2
บทที่2 ทฤษฎี	3
2.1 คุณสมบัติของ Silicon ที่ถูกแพร์ด้วยทองคำ	3
2.2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของทองคำและ Silicon ที่ถูกแพร์ด้วยทองคำ	3
2.2.2 ค่าสภาพต้านทานของ Silicon ที่ถูกแพร์ด้วยทองคำ	5
2.2 Photodetector	6
2.3 Photodetector แบบ MSM	7
2.3.1 สัญลักษณ์และโครงสร้าง	7
2.3.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของ MSM ในภาวะต่างๆ	8
2.3.2.1 MSM ในภาวะสมดุลความร้อน (MSM ยังไม่ได้รับการ Bias )	8
2.3.2.2 MSM ในขณะที่ได้รับการ Bias แต่ยังไม่ถึงค่าแรงดันพังทะลาย(เมื่อยังไม่ได้รับแสง)	9
2.3.2.3 MSM ในขณะที่ได้รับการ Bias แต่ยังไม่ถึงค่าแรงดันพังทะลาย(เมื่อได้รับแสง)	11
2.3.2.4 MSM ในขณะที่ได้รับการ Biasจนถึงค่าแรงดันพังทะลาย	13
2.3.3 การตอบสนองสัญญาณทางแสง	14
บทที่3 การทดลอง	15
3.1 กระบวนการสร้าง MSM (Al/ n-Si /Al)	15
3.1.1 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ ( MSM Photodetector )	15
3.1.2 กระบวนการสร้าง MSM	16
3.2 การวัด , การทดลอง และผลการทดลอง	28
3.2.1 การวัดคุณสมบัติของ MSM	28
3.2.1.1 การวัดหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง I-V	28
3.2.1.2 การวัดหา Photo Response ของ MSM	28
3.2.2 ผลการทดลองคุณสมบัติพื้นฐานของ MSM	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2.1 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V	29
3.2.2.2 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ	29
3.2.2.3 ลักษณะกราฟการตอบสนองทางแสงของ MSM	30
<b>บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	
4.1 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-ความเข้มแสง ที่แรงดันต่างๆ	31
4.2 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-ความเข้มแสงที่ระยะ d ต่างๆ	32
4.3 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-ความเข้มแสง ที่ฐานรองมีสภาพ ด้านทานค่าต่างๆ	33
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ที่เติมทอง และไม่เติมทอง	34
4.5 กราฟการตอบสนองทางแสงของ MSM ที่มีการเติมทอง และไม่เติมทอง	35
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	36
<b>บรรณานุกรม</b>	37
ภาคผนวก ก ผลการทดลองเพิ่มเติม	38
ภาคผนวก ข ต้นแบบ Mask ที่ใช้ในการสร้าง MSM ที่มีโครงสร้างแบบ Al/n-Si/Al	43
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้ Modulate laser diode modules	53
ภาคผนวก ง ส่วนประกอบของเครื่องมือวัด Photo Response	58
ภาคผนวก จ ค่าคงที่ทางฟิสิกส์	61

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ระยะทางระหว่างขั้วโลหะ	15
ค-1 General Characteristic	56
ค-2 Optical Characteristic	57
ค-3 Absolute Maximum Ratings	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะของ Photodiode ที่มีโครงสร้างแบบ Metal-Semiconductor-Metal(MSM)	1
2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของทองคำใน Silicon	4
2.2 แสดงลักษณะการแพร่ของอะตอมสารเจือใน Silicon	4
(a) การแพร่แบบเข้าไปแทนที่	
(b) แพร่เข้าไปอยู่ระหว่างอะตอม	
2.3 แสดงค่า Solid Solubility	5
2.4 แสดงค่าระดับพลังงาน Silicon ที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ	6
(a) เติมลงในสารกึ่งตัวนำชนิด Intrinsic	
(b) เติมลงในสารกึ่งตัวนำชนิด n โดยที่ $N_D > N_{Au}$	
(c) เติมลงในสารกึ่งตัวนำชนิด p โดยที่ $N_A > N_{Au}$	
2.5 สัญลักษณ์ของ MSM	7
2.6 (a) โครงสร้างของ MSM ( Top View )	8
(b) โครงสร้างของ MSM ( Cross Section )	8
2.7 การทำงานของ MSM เมื่อยังไม่ได้รับการ Bias	8
2.8 แถบพลังงานของ MSM ในภาวะสมดุลความร้อน	9
2.9 การทำงานของ MSM เมื่อได้รับการ Bias ( เมื่อยังไม่ได้รับแสง )	9
2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน ของ MSM ในขณะที่ได้รับการ Bias แต่ยังไม่ถึงค่าแรงดันพังทลาย ( เมื่อยังไม่ได้รับแสง )	10
2.11 แถบพลังงานของ MSM ในภาวะที่ได้รับการ Bias ( เมื่อยังไม่ได้รับแสง )	11
2.12 การทำงานของ MSM เมื่อได้รับการ Bias ( เมื่อได้รับแสง )	11
2.13 การเกิดกระแสของ MSM ซึ่งอธิบายด้วยทฤษฎีแถบพลังงาน	12
2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน ของ MSM ในภาวะที่ได้รับการ Bias แต่ยังไม่ถึงค่าแรงดันพังทลาย ( เมื่อได้รับแสง )	13
2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน ของ MSM ในภาวะที่ได้รับการ Bias จนถึงค่าแรงดันพังทลาย	13
2.16 กราฟการตอบสนองสัญญาณทางแสง	14
3.1 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ (Device) เมื่อเสร็จสมบูรณ์ (Top view)	15
3.2 แผ่น Silicon wafer เริ่มต้น	16

3.3 กระบวนการสร้าง  $SiO_2$  แบบ Dry-Wet-Dry สำหรับการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 เมื่อน้ำยาไวแสงกลายเป็นฟิล์มป้องกันชั้น $\text{SiO}_2$ บริเวณผิวหน้า	17
3.5 หลังจากสกัดชั้น $\text{SiO}_2$ ด้านหลังออก ก่อนที่จะนำไปเคลือบทอง	18
3.6 ภาพหลังจากการลอกฟิล์มออก	18
3.7 ภาพแสดงการเคลือบชั้น Gold	18
3.8 ภาพหลังจากการสกัดชั้น Gold	19
3.9 Mask ของบริเวณข้อสัมผัสระหว่าง Al-Si และส่วนของพื้นที่รับแสง	19
3.10 การ Alignment Mask เพื่อป้องกันบางส่วนของชั้น $\text{SiO}_2$	20
3.11 เมื่อน้ำยาไวแสงเปลี่ยนกลายเป็นฟิล์มป้องกันบางส่วนของชั้น $\text{SiO}_2$	20
3.12 ภาพหลังจากสกัดชั้น $\text{SiO}_2$ เพื่อทำข้อสัมผัสระหว่าง Si-Al , พื้นที่รับแสงต่อไป	21
3.13 ภาพหลังจากการลอกฟิล์มออก	21
3.14 ภาพแสดงการเคลือบชั้น Aluminium	22
3.15 ภาพ Top view ของ Metal Mask	22
3.16 การ Alignment Mask เพื่อป้องกันบางส่วนของชั้น Aluminium	23
3.17 เมื่อน้ำยาไวแสงเปลี่ยนกลายเป็นฟิล์มป้องกันบางส่วนของชั้น Aluminium	23
3.18 หลังจากทำการสกัดชั้น Aluminium ออกบางส่วน	23
3.19 ภาพ MSM ที่สมบูรณ์	24
3.20 ภาพ MSM (Top view) ที่สมบูรณ์จากกล้อง Microscope	27
3.21 ภาพ MSM (Top view) ที่สมบูรณ์จากกล้องถ่ายรูป	27
3.22 การวัดหาความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส – แรงดัน	28
3.23 การวัดหา Photo Response ของ MSM	29
3.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส – แรงดัน	29
3.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส – แรงดันที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ	30
3.26 ลักษณะของกราฟการตอบสนองทางแสง(Photo Response)	30
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง – ความเข้มแสงที่แรงดัน Bias ค่าต่างๆ	31
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง – ความเข้มแสงที่ระยะ d ค่าต่างๆ	32
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง – ความเข้มแสงที่ฐานรองมีสภาพด้านทานค่าต่างๆ	33
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง-แรงดัน ที่มีเติมทอง และไม่เติมทอง	34
4.5 กราฟการตอบสนองทางแสงของ MSM ที่มีการเติมทอง และไม่เติมทอง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ของ MSM โดยมีระยะ $d= 500 \mu\text{m}$ (มีการเติมอะตอมทอง) , $13 \Omega\cdot\text{cm}$ ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ	38
ก-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ของ MSM โดยมีระยะ $d= 500 \mu\text{m}$ (ไม่มีการเติมอะตอมทอง) , $13 \Omega\cdot\text{cm}$ ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ	39
ก-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ของ MSM โดยมีระยะ $d= 20 \mu\text{m}$ (มีการเติมอะตอมทอง) , $1.57 \Omega\cdot\text{cm}$ ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ	40
ก-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ของ MSM โดยมีระยะ $d= 500 \mu\text{m}$ (มีการเติมอะตอมทอง) , $1.57 \Omega\cdot\text{cm}$ ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ	41
ก-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ของ MSM โดยมีระยะ $d= 200 \mu\text{m}$ (ไม่มีการเติมอะตอมทอง) , $1.57 \Omega\cdot\text{cm}$ ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ	42
ข-1 ลักษณะของ Mask 1 หรือ Oxide Mask ( Top View)	43
ข-2 ลักษณะของ Mask 2 หรือ Metal Mask ( Top View)	44
ข-3 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ A1 ( Top View)	45
ข-4 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ A2 ( Top View)	46
ข-5 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ A3 ( Top View)	47
ข-6 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ A4 ( Top View)	48
ข-7 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ A5 ( Top View)	49
ข-8 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ C1 ( Top View)	50
ข-9 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ C2 ( Top View)	51
ข-10 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ C3 ( Top View)	52
ค-1 ลักษณะทั่วไปของ Modulate laser diode modules	53
ง-1 ลักษณะของเครื่องมือวัด Photo Response	58
ง-2 ลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง Laser	59
ง-3 ลักษณะภายในของ Black box	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

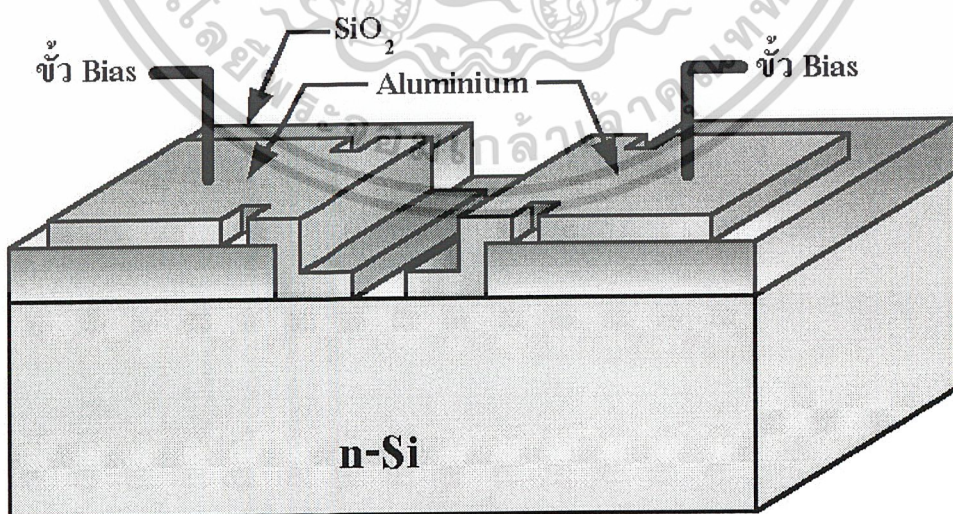
ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้มีความเร็วสูงขึ้น เพื่อตอบรับกับการใช้งานของผู้บริโภคที่มีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเพิ่มความเร็ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น การลดความยาวของช่องทางเดินกระแส (L) ใน MOSFET หรือ การลดความกว้างของ Base ใน Bipolar Transistor เป็นต้น

การเติมอะตอมของคาร์บอนไปในอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำก็เป็นหนึ่งในหลายๆวิธีที่จะเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อสัญญาณที่มีความถี่สูงๆได้ ให้กับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ดังนั้นจึงเกิดความสนใจและศึกษาถึงผลกระทบของอะตอมของคาร์บอนใน Photodetector ที่มีโครงสร้างแบบ Al / n-Si / Al (MSM)

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของโครงงานมีดังนี้

- 1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการสร้าง , คุณสมบัติทางไฟฟ้า และคุณสมบัติทางแสงของ MSM ที่มีโครงสร้างแบบ Aluminium / n-Silicon / Aluminium ดังรูปที่ 1.1
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของอะตอมของคาร์บอนต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้า และคุณสมบัติทางแสงของ MSM ที่มีโครงสร้างแบบ Aluminium / n-Silicon / Aluminium



รูปที่ 1.1 ลักษณะของ Photodiode ที่มีโครงสร้างแบบ Metal-Semiconductor-Metal(MSM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการนี้ได้มีการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ MSM ขึ้นมา 2 ชุดด้วยกัน ( เติมอะตอมทองคำ และไม่เติมอะตอมทองคำ ) เพื่อศึกษาถึงกระบวนการสร้าง , คุณสมบัติทางไฟฟ้า , คุณสมบัติทางแสง และทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานของ Photodetector รวมถึงทำการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของการเติมอะตอมทองคำลงใน MSM

### 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

เนื่องจากกระบวนการสร้าง MSM นั้น มีความคล้ายคลึงกับกระบวนการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ ดังนั้นจากกระบวนการสร้างรวมไปถึงเทคนิคต่างๆ ที่ได้เรียนรู้ในการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานสร้างหรือพัฒนาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ ได้ต่อไป

### 1.5 รายละเอียดโดยย่อ

บทที่ 1 นั้นเป็นบทนำที่แสดงความเป็นมา และวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อให้เห็นเป็นภาพกว้างๆ ก่อนที่จะเข้าสู่บททฤษฎีต่อไป

บทที่ 2 นั้นเป็นบท ที่จะกล่าวถึงข้อดีของ MSM , ลักษณะของ MSM ที่ภาวะต่างๆ และผลของอะตอมทองคำในซิลิคอน เพื่อให้เข้าใจถึงทฤษฎีต่างๆ ก่อนที่จะนำไปสู่การสร้าง MSM และวัดผลการทดลองในห้องปฏิบัติการต่อไป

บทที่ 3 นั้นเป็นการแสดงลักษณะพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไปของ MSM ก่อนที่จะนำไปสู่การสร้าง MSM ในห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการทดลองหาคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆของ MSM

บทที่ 4 นั้นเป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองของ MSM ที่มีการเติมอะตอมทองคำและไม่มีการเติมอะตอมทองคำ เพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ และเพื่อให้เห็นผลของอะตอมทองคำได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

บทที่ 5 นั้นเป็นการสรุปเป็นภาพรวม เพื่อแสดงผลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติพื้นฐานของ MSM

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 คุณสมบัติของ Silicon ที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ

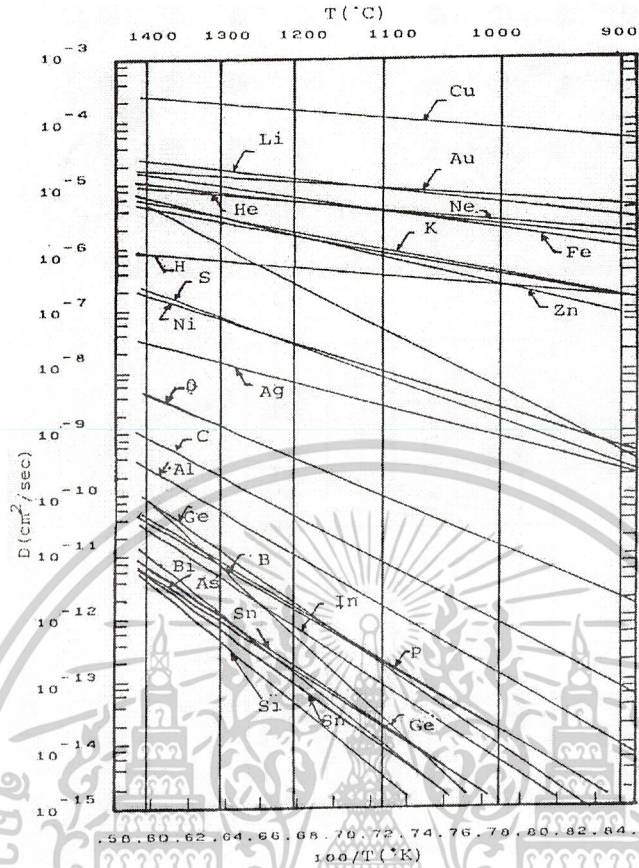
ในปัจจุบันนี้เนื่องจากงานโทรคมนาคมมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งต้องการใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถในการตอบสนองทางความถี่(Frequency Response)สูงๆ ดังนั้นคณะนักวิจัยต่างจึงได้คิดค้นที่จะสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่มีความสามารถในการตอบสนองทางความถี่ได้สูงๆ ซึ่งการเติมอะตอมทองคำลงในสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำก็เป็นวิธีอีกวิธีหนึ่ง เพื่อเพิ่มความสามารถในการตอบสนองทางความถี่

##### 2.1.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของทองคำและ Silicon ที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ

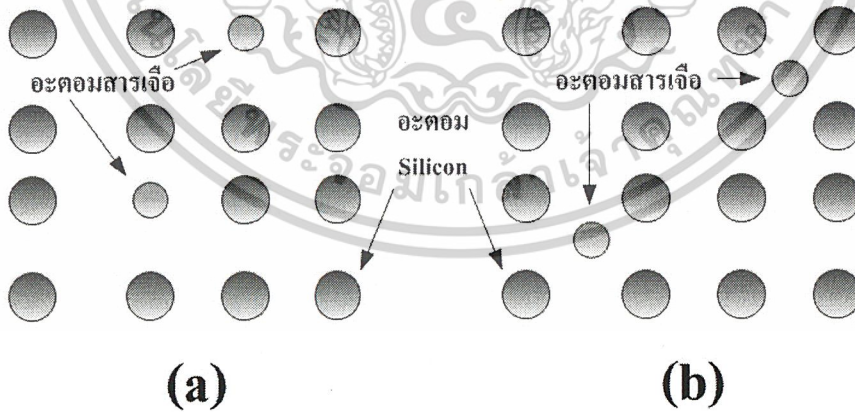
ทองคำเป็นอะตอมธาตุโลหะที่มีคุณสมบัติดังนี้

- มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 1 และ 3 ตัว
- อะตอมมีคัมเบอร์เท่ากับ 79
- มีจุดหลอมเหลว(Melting Point) ที่อุณหภูมิ  $1063^{\circ}\text{C}$
- มีจุดเดือด(Boiling Point) ที่อุณหภูมิ  $2970^{\circ}\text{C}$
- มีความหนาแน่น (Density) เท่ากับ  $19.3\text{ g/ml}$
- น้ำหนักเฉลี่ย(Atomic Weight) เท่ากับ 196.967 (ใช้ Carbon-12 เป็นมาตรฐาน)
- Oxidation State มีค่าเท่ากับ 3.1
- ความสามารถในการชิงอิเล็กตรอนของธาตุ(Electronegativity) มีค่าเท่ากับ 2.4
- ค่าสภาพต้านทาน(Resistivity) ของทองคำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ  $0$  และ  $20^{\circ}\text{C}$  และที่จุดหลอมเหลวจะมีค่า  $2.06$  ,  $2.125$  และ  $13.68\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$  ตามลำดับ

ทองคำเป็นสารเจือระดับลึก(Dep impurity) ที่สำคัญใน Silicon ทั้งนี้เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การแพร่(Diffusion Coefficient) สูงคือ ประมาณ  $2.5 \times 10^5\text{ cm}^2/\text{sec}$  ที่อุณหภูมิ  $1300^{\circ}\text{C}$  ดังรูปที่ 2.1 ดังนั้นจึงสามารถควบคุมปริมาณของทองใน Silicon ได้โดยการควบคุมอุณหภูมิอะตอมทองจะแพร่เข้าไปอยู่ระหว่างอะตอม(Interstitial) ของ Silicon โดยไม่มีพันธะใดๆยึดกับอะตอม Silicon ดังรูปที่ 2.2(a) อัตราการแพร่ชนิดนี้จะเร็วกว่าอัตราการแพร่แบบเข้าไปแทนที่(Substitutional diffusion) ดังรูปที่ 2.2(b)



รูปที่ 2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของทองคำใน Silicon



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการแพร่ของอะตอมสารเจือใน Silicon

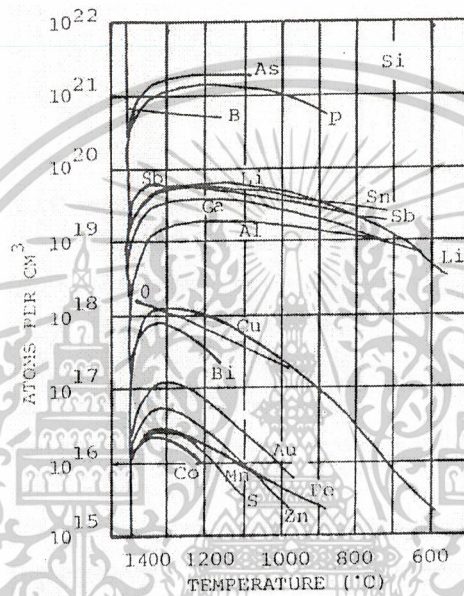
- (a) การแพร่แบบเข้าไปแทนที่
- (b) แพร่เข้าไปอยู่ระหว่างอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออะตอมของค่าแพร่เข้าไปใน Silicon จะไปควบคุมช่วงอายุ(lifetime) และสภาพต้านทาน (Resistivity) ทั้งชนิด n และ p กล่าวคือ จะทำให้อายุพาหะ(carrier lifetime) ของอิเล็กตรอนและโฮล ในสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n มีค่าลดลง เราจึงเรียกของว่าเป็น “Carrier lifetime killer”

และสามารถนำมาใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์พวกความเร็วสูง(High speed switching devices) เช่น สวิตซ์ ซิงโครไดโอด และวงจรรวมดิจิทัลแบบต่างๆได้เป็นอย่างดี

สำหรับค่า Solid solubility ของทองใน Silicon จะมีค่าสูงสุดประมาณ  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงค่า Solid Solubility

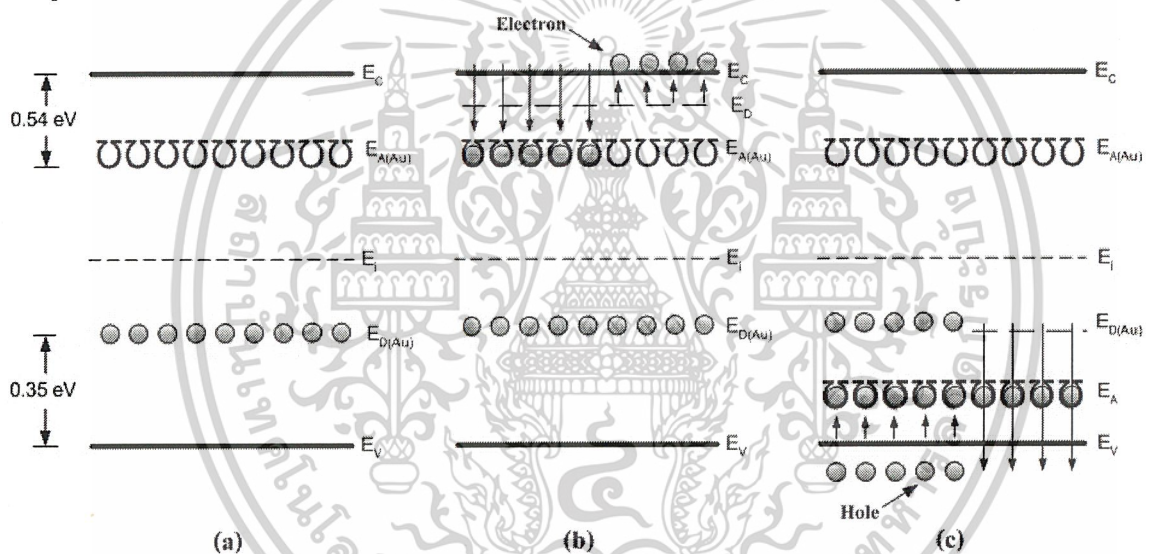
### 2.1.2 ค่าสภาพต้านทานของ Silicon ที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ

ใน Silicon ชนิด intrinsic เมื่อถูกแพร่ด้วยทองคำจะทำให้เกิดระดับพลังงานขึ้นมา 2 ระดับซึ่งได้แก่ “Deep acceptor level” และ “Deep donor level” ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.4(a)

ใน Silicon ชนิด n เมื่อถูกแพร่ด้วยทองคำจะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบความนำตกลงมาในระดับพลังงาน “Deep acceptor level” ซึ่งอยู่ห่างจากแถบความนำลงมาประมาณ 0.54 eV หรือกล่าวอีกในหนึ่งก็คือ อิเล็กตรอนในแถบความนำจะถูกจับ(Trap) ด้วย Acceptor level คือเกิดปรากฏการณ์ชดเชย (Compensation) ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนดังกล่าวลดลง ค่าสภาพต้านทานจึงเพิ่มขึ้นและช่วงอายุ(Lifetime) ของพาหะจะลดลง เมื่อให้ปริมาณอะตอมของทองคำมากขึ้นก็จะทำให้มี Deep acceptor level มากพอที่จะจับอิเล็กตรอนอิสระในแถบความนำได้เกือบหมด ส่งผลให้ค่าสภาพต้านทานมีค่าสูงมากขึ้นจนกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด Intrinsic แต่หากยังเพิ่มปริมาณของอะตอมทองคำขึ้นอีก ค่าสภาพต้านทาน

จะลดลงซึ่งจะแสดงคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p โดยมีพาหะอิสระส่วนใหญ่เป็นโฮล ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.4(b)

สำหรับ Silicon ชนิด p เมื่อถูกแพร่ด้วยทองคำจะทำให้เกิดระดับพลังงานที่เรียกว่า “Deep donor level” ห่างจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปประมาณ 0.35 eV ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับเฟอร์มี(Fermi level) ดังนั้นอิเล็กตรอนจาก Deep donor level ตกลงมายังระดับพลังงานที่ต่ำกว่าในแถบวาเลนซ์ซึ่งจะรวมตัวกับโฮล ค่าสภาพต้านทานจึงมีค่าสูงขึ้น แต่หากยังเพิ่มปริมาณของอะตอมทองคำจนกระทั่งโฮลในแถบวาเลนซ์รวมตัวกับอิเล็กตรอนเกือบหมด ส่งผลให้ค่าสภาพต้านทานมีค่าสูงมากขึ้นจนกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด Intrinsic แต่หากยังเพิ่มปริมาณของอะตอมทองคำขึ้นอีก ค่าสภาพต้านทานจะลดลงซึ่งจะแสดงคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด n โดยมีพาหะอิสระส่วนใหญ่เป็นโฮล ดังนั้นจะเห็นว่าระดับพลังงาน Deep donor level นี้ ทำหน้าที่คล้ายกับมีการจับโฮลในแถบวาเลนซ์ได้ ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.4(c)



รูปที่ 2.4 แสดงค่าระดับพลังงาน Silicon ที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ

- (a) เดิมลงในสารกึ่งตัวนำชนิด Intrinsic
- (b) เดิมลงในสารกึ่งตัวนำชนิด n โดยที่  $N_D > N_{Au}$
- (c) เดิมลงในสารกึ่งตัวนำชนิด p โดยที่  $N_A > N_{Au}$

## 2.2 Photodetector

Photodetector เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่ตรวจจับแสง โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไป Photodetector สามารถที่จะแบ่งตามลักษณะของโครงสร้างได้หลากหลายประเภท เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. P-N Junction Photodetector
  2. PIN Photodetector
  3. Metal-Semiconductor-Metal(MSM) Photodetector
- และ MSM นี้ยังสามารถแบ่งตามชนิดของ Substrate ได้อีก 2 ประเภท ดังนี้

1. MSM ( n-substrate )
2. MSM ( p-substrate )

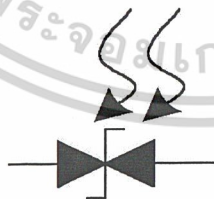
สำหรับรายงานฉบับนี้ จะขอกล่าวถึง Photodetector ที่มีโครงสร้างแบบ MSM ชนิด n- substrate เพียงชนิดเดียวเท่านั้น และจากการศึกษาคุณสมบัติของ MSM ในเบื้องต้นนั้นพบว่ามิชข้อได้เปรียบ Photodetector ชนิดอื่น อยู่หลายประการดังนี้

- มีโครงสร้างเป็นแบบ Planar ( Planar คือ โครงสร้างของอุปกรณ์ที่มีขั้วไฟฟ้าอยู่ในระนาบเดียวกัน )
- มีค่าความจุไฟฟ้าต่อพื้นที่น้อยกว่า Photodetector ชนิดอื่นๆ เนื่องจากโครงสร้างเป็นแบบ Schottky จึงทำให้มีเพียงค่าความจุไฟฟ้าที่รอยสัมผัสบริเวณเขตปลอดพาหะเท่านั้น
- มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน สามารถสร้างได้โดยง่าย

## 2.3 Photodetector แบบ MSM

### 2.3.1 สัญลักษณ์และโครงสร้าง

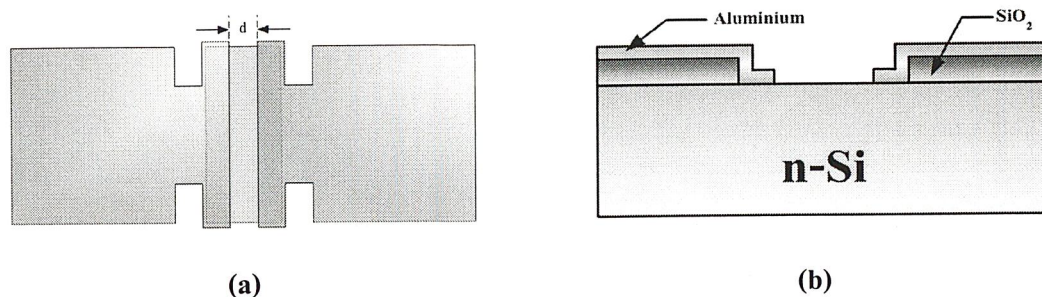
MSM Photodetector เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำอีก โครงสร้างหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำคุณสมบัติของรอยต่อ Schottky จำนวน 2 รอยต่อ ซึ่งในวงจรอิเล็กทรอนิกส์สามารถที่จะเขียนสัญลักษณ์แทน MSM ได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ของ MSM

ส่วน โครงสร้างของ MSM นั้นสามารถเขียนเพื่อใช้อธิบายหลักการทำงาน ได้ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

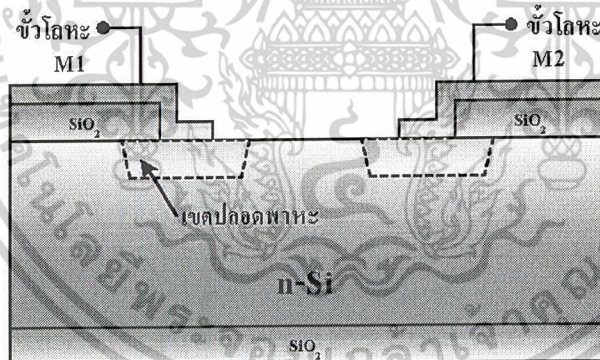


รูปที่ 2.6 (a) โครงสร้างของ MSM (Top View)  
(b) โครงสร้างของ MSM (Cross Section)

### 2.3.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของ MSM ในภาวะต่างๆ

ในการที่จะใช้งาน MSM ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นที่จะต้องทราบถึงหลักการทำงาน โดยละเอียดเสียก่อน เช่น การให้ Bias ในส่วนต่างๆของ MSM นั้นทำให้ โครงสร้างของตัว MSM เปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง

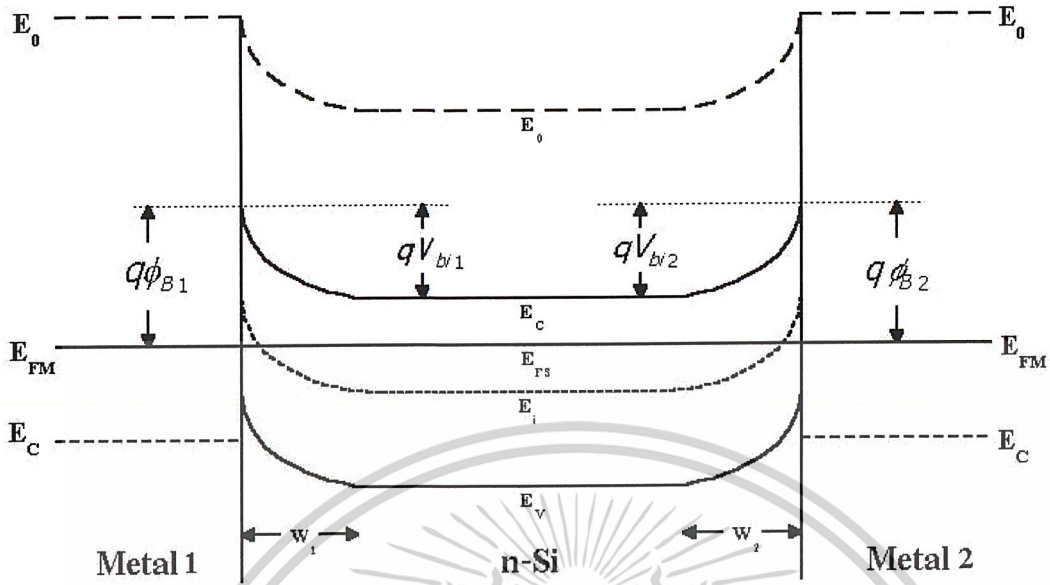
#### 2.3.2.1 MSM ในภาวะสมดุลความร้อน (MSM ยังไม่ได้รับการ Bias)



รูปที่ 2.7 การทำงานของ MSM เมื่อยังไม่ได้รับการ Bias

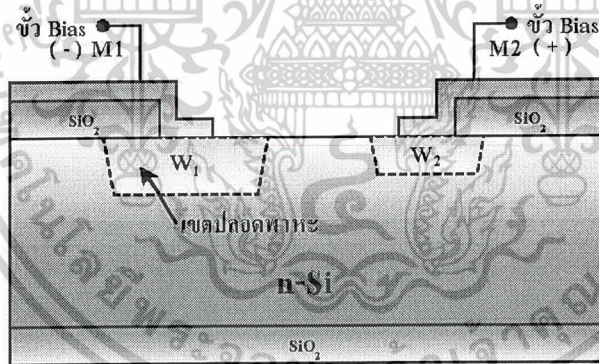
ในรูปที่ 2.7 จะแสดงภาพของ MSM ในขณะที่ยังไม่ได้รับการ Bias โดยจากรูปที่ 2.7 จะสังเกตเห็นว่า ที่รอยสัมผัสระหว่างขั้วโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิด n ซึ่งเป็นรอยสัมผัสแบบ Schottky จะมีเขตปลอดพาหะเกิดขึ้น โดยที่เขตปลอดพาหะนี้จะเกิดขึ้นในด้านของสารกึ่งตัวนำชนิด n เท่านั้น (ตามทฤษฎีรอยสัมผัสโลหะ - สารกึ่งตัวนำ) และจากสภาวะนี้สามารถที่จะแสดงด้วยแถบพลังงานได้ ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แถบพลังงานของ MSM ในภาวะสมดุลความร้อน

2.3.2.2 MSM ในขณะที่ได้รับการ Bias แต่ยังไม่ถึงค่าแรงดันพังทลาย ( เมื่อยังไม่ได้รับแสง )



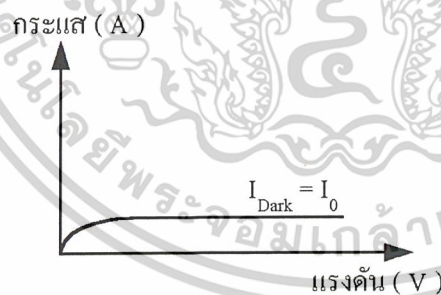
รูปที่ 2.9 การทำงานของ MSM เมื่อได้รับการ Bias (เมื่อยังไม่ได้รับแสง)

ในรูปที่ 2.9 จะแสดงภาพของ MSM ในขณะที่ได้รับการ Bias โดยจากรูปที่ 2.9 จะสังเกตเห็นว่าบริเวณเขตปลอดพาหะของรอยสัมผัสแบบ Schottky ด้าน  $M_1$  จะขยายกว้างขึ้น ( $w_1$ ) เนื่องจากได้รับ Reverse Bias ขณะเดียวกันบริเวณเขตปลอดพาหะด้าน  $M_2$  จะแคบลง ( $w_2$ ) เนื่องจากได้รับ Forward Bias ในภาวะนี้รอยสัมผัสแบบ Schottky

ด้านที่ได้รับ Reverse Bias จะมีค่าของกำแพงศักย์ ( $V_{bi}$ ) เพิ่มขึ้นเป็น  $V_{bi} + V_a$  และทำให้ระดับพลังงาน  $E_{FS}$  ต่ำกว่าระดับ  $E_{FM}$  และสนามไฟฟ้าที่รอยสัมผัสจะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นอิเล็กตรอนจากด้านสาร

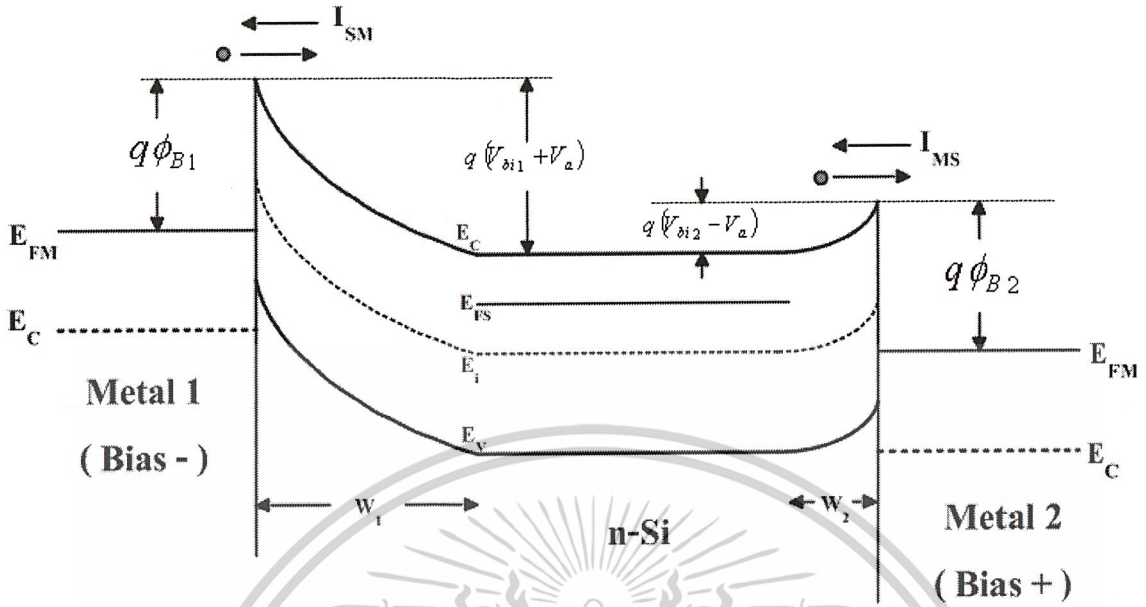
กึ่งตัวนำจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปทางด้านโลหะ ( $M_1$ ) ได้ แต่จะมีอิเล็กตรอนในโลหะเคลื่อนที่ข้ามกำแพง Schottky ( $q\phi_{B1}$ ) เข้าไปในด้านสารกึ่งตัวนำทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังด้านโลหะ ( $I_{SM}$ ) กระแสนี้จะมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามแรงดัน Bias กระแสที่ไหลนี้มีชื่อว่า " กระแสอิมิตวย้อนกลับ " ( $I_0$ ) และจากสถานะนี้สามารถที่จะแสดงด้วยแถบพลังงานได้ ดังรูปที่ 2.6

ด้านที่ได้รับ Forward Bias จะมีค่าของกำแพงศักย์ ( $V_{bi}$ ) ลดลงเป็น  $V_{bi2}-V_a$  และทำให้ระดับพลังงาน  $E_{FS}$  สูงกว่าระดับ  $E_{FM}$  ดังนั้นอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำจึงสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปทางด้านโลหะได้ทำให้มีกระแสไฟฟ้า ( $I_{MS}$ ) ไหลจากด้านโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำ ในขณะที่เดียวกันก็มีอิเล็กตรอนจากด้านโลหะเคลื่อนที่ข้ามกำแพง Schottky ( $q\phi_{B2}$ ) เข้าไปในด้านสารกึ่งตัวนำด้วยเช่นกัน จึงเป็นผลให้มีกระแสไฟฟ้า ( $I_{SM}$ ) ไหลในทิศตรงข้ามกับกระแส  $I_{MS}$  โดยไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ แต่กระแส  $I_{SM}$  มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแส  $I_{MS}$  ดังนั้นกระแสสุทธิที่ได้จึงมีค่าประมาณกระแส  $I_{MS}$  กระแสนี้มีชื่อว่า " กระแสไบอัสตรง " ( Forward Current ) แต่เนื่องจากมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จาก Metal 1 เข้ามาที่สารกึ่งตัวนำน้อยอยู่แล้วจึงทำให้กระแสไบอัสตรงนี้มีค่าน้อยตามลงไปด้วย หรือกล่าวอีกในหนึ่งคือ " กระแสไบอัสตรงที่รอยสัมผัสที่ 2 ก็คือกระแสอิมิตวย้อนกลับที่รอยสัมผัสที่ 1 หรือก็คือ กระแสมืดของ MSM Photodetector นั้นเอง " และจากสถานะนี้สามารถที่จะอธิบายได้ด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน ดังรูปที่ 2.10 และสามารถที่จะอธิบายได้ด้วยทฤษฎีแถบพลังงาน ดังรูปที่ 2.11



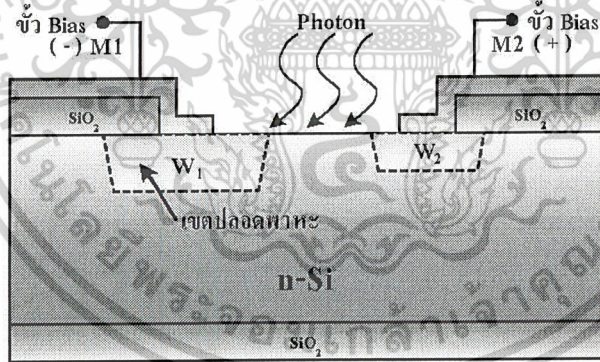
รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน ของ MSM ในขณะที่ได้รับ การ Bias แต่ยังไม่ถึงค่าแรงดันพังทลาย (เมื่อยังไม่ได้รับแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แถบพลังงานของ MSM ในภาวะที่ใ้รับการ Bias (เมื่อยังไม่ได้รับแสง)

2.3.2.3 MSM ในขณะใ้รับการ Bias แต่ยังไม่ถึงค่าแรงดันพังทลาย (เมื่อได้รับแสง)



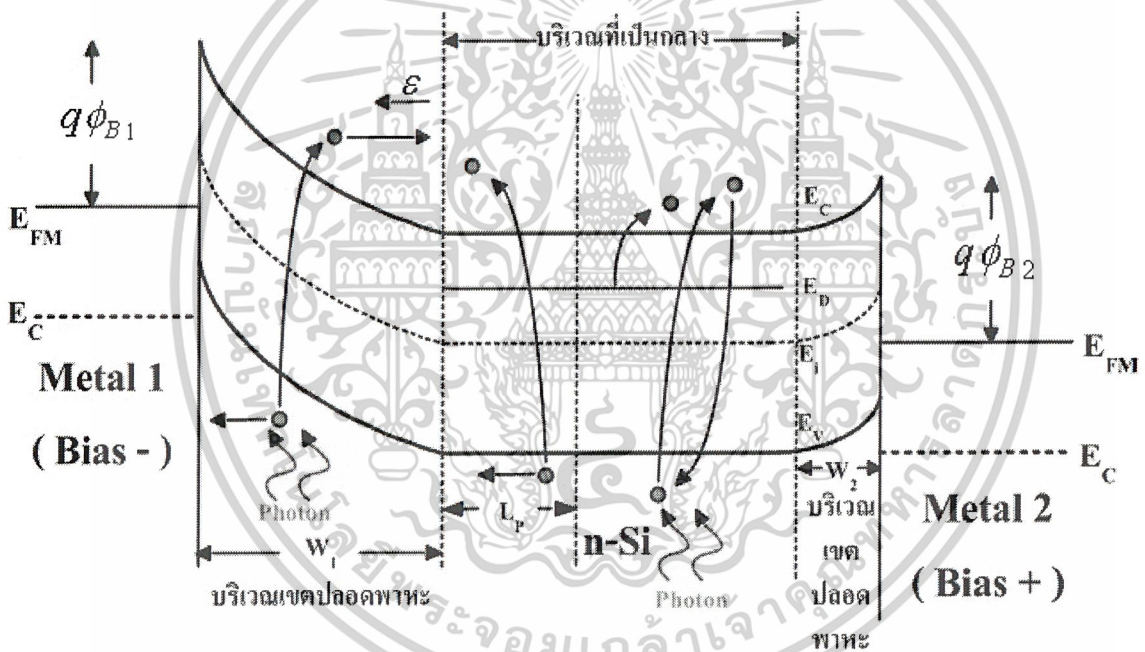
รูปที่ 2.12 การทำงานของ MSM เมื่อใ้รับการ Bias (เมื่อได้รับแสง)

ในรูปที่ 2.12 จะแสดงภาพของ MSM ในขณะใ้รับการ Bias ด้วยแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่ง (เมื่อได้รับแสง) โดยในภาวะนี้ นอกจากจะเกิดกระแสต่างๆดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.3.2.2 แล้วยังจะมีกระแสไฟฟ้าอีก 2 ชนิดที่เกิดจากแสง ซึ่งกระแสนี้เกิดมาจาก 2 บริเวณด้วยกัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณที่เป็นกลาง ( ในฐานรอง n-Si ) เมื่อมีแสงตกกระทบลงบนพื้นที่ที่เป็นกลางจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล จำนวนหนึ่ง และโฮลที่เกิดขึ้นมาใหม่นี้จะแพร่ไปยังที่ที่มีความหนาแน่นของโฮลต่ำกว่า เมื่อโฮล(ในระยะ  $L_p$ ) แพร่ไปยังบริเวณเขตปลอดพาหะก็จะเคลื่อนที่ตามสนามไฟฟ้าไปยังขั้วโลหะ ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าโดยมีทิศทางตามการเคลื่อนที่ของโฮล ส่วนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมาใหม่พร้อมกับโฮลนั้นจะไม่มีนัยสำคัญเนื่องจากมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับอิเล็กตรอนของเดิมที่มีอยู่ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13

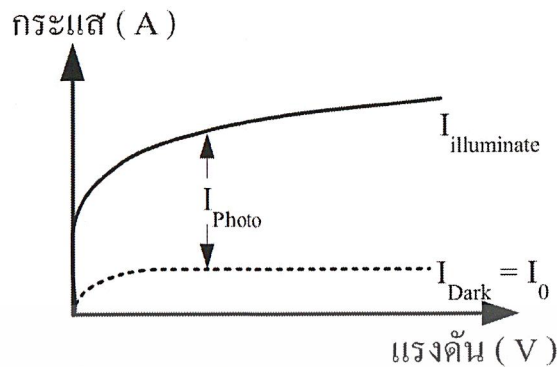
บริเวณที่เป็นเขตปลอดพาหะ เมื่อมีแสงตกกระทบลงบนพื้นที่ที่เป็นเขตปลอดพาหะจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล จำนวนหนึ่งในบริเวณเขตปลอดพาหะและคู่อิเล็กตรอน-โฮล นี้จะเคลื่อนที่ทวนและตามสนามไฟฟ้า ตามลำดับ ไปยังขั้วโลหะส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้า โดยมีทิศทางทวน-ตามการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮล ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การเกิดกระแสของ MSM ซึ่งอธิบายด้วยทฤษฎีแถบพลังงาน

และจากสภาวะนี้สามารถที่จะอธิบายได้ด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน ดังรูปที่ 2.14

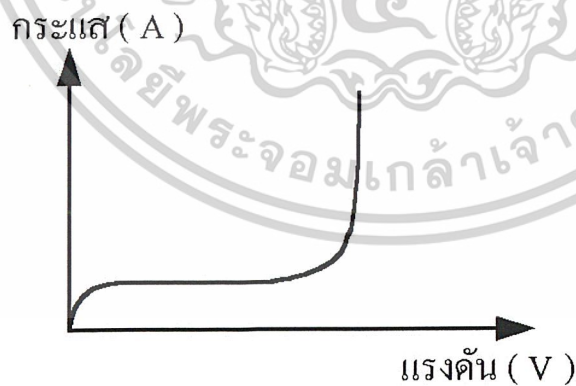
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน ของ MSM ในขณะที่ได้รับ Bias แต่ยังไม่ถึงค่าแรงดันพังทลาย (เมื่อได้รับแสง)

#### 2.3.2.4 MSM ในขณะที่ได้รับ Bias จนถึงค่าแรงดันพังทลาย

ค่าแรงดันพังทลายของ MSM ที่ได้สร้างขึ้นนั้น มีค่าอยู่ที่ 2-4 Volt ซึ่งคาดการณ์ได้ว่าการพังทลายของ MSM นั้น ไม่ได้เกิดจากการพังทลายแบบ Punch-Through เนื่องจากระยะทางระหว่างขั้วโลหะทั้ง 2 มีระยะทางมาก (มากกว่า  $20\mu\text{m}$ ) เกินกว่าที่จะทำให้ บริเวณเขตปลอดพาหะขยายได้เต็มพื้นที่รับแสง และการพังทลายของ MSM นั้น ไม่ได้เกิดจากการพังทลายแบบ Avalanche เนื่องจากค่าแรงดันพังทลายของ MSM นั้นมีค่าน้อยเกินไป (สนามไฟฟ้ามีค่าน้อย) ที่จะทำให้เกิดการพังทลายเช่นนี้ได้ ซึ่งสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน ของ MSM ในขณะที่ได้รับ Bias จนถึงค่าแรงดันพังทลาย ได้ดังรูปที่ 2.15



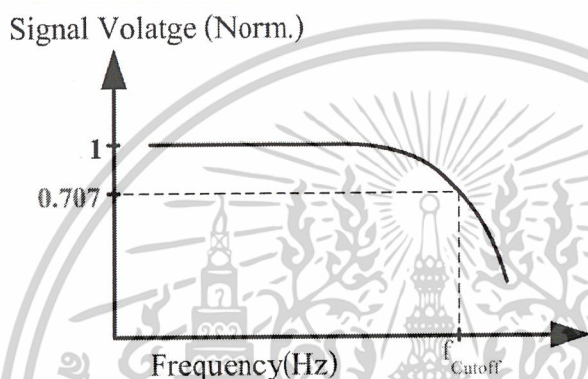
รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน ของ MSM ในขณะที่ได้รับ Bias จนถึงค่าแรงดันพังทลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 การตอบสนองสัญญาณทางแสง

เนื่องจากมีการนำ Photodetector บางส่วนไปใช้ในงานโทรคมนาคม ซึ่งต้องการใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถในการตอบสนองสัญญาณทางแสง(Photo Response) ได้สูง ดังนั้นคณะนักวิจัยต่างจึงได้คิดค้นที่จะสร้าง Photodetector ที่ความสามารถในการตอบสนองสัญญาณทางแสงได้สูงๆ

Bandwidth ของ Photo Response หมายถึง ช่วงความถี่ที่ Photodetector สามารถทำงานได้ โดยมีขนาดของสัญญาณ output อยู่ในช่วง Amplitude<sub>Maximum</sub> ถึง 0.707 เท่าของ Amplitude<sub>Maximum</sub> ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กราฟการตอบสนองสัญญาณทางแสง

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตอบสนองสัญญาณทางแสงของ MSM Photodetector นั้นมีอยู่ 2 ปัจจัยดังนี้  
 Transit Time คือ เวลาที่ประจุพาหะสามารถเคลื่อนที่ได้ในระยะเวลาทางระยะหนึ่ง โดยยังไม่มี  
 การรวมตัว ซึ่งถ้าค่า Transit Time น้อยๆ จะทำให้ Bandwidth กว้างขึ้น  
 RC Time Constant คือ ผลคูณของค่าความจุไฟฟ้าที่บริเวณเขตปลอดพาหะกับค่าความต้าน  
 ทานเสมือนที่ขนานกับตัวเก็บประจุซึ่งถ้าค่า RC<sub>j</sub> Time Constant  
 น้อยๆ จะทำให้ Bandwidth กว้างขึ้น

## บทที่ 3

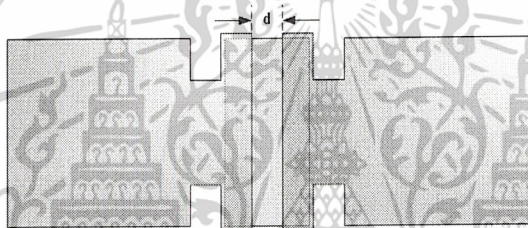
### การทดลอง

เนื้อหาภายในบทนี้จะเป็นรายละเอียดต่างๆของ Mask ต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว โดยที่มีเงื่อนไขต่างๆ , กระบวนการสร้าง Photodetector โครงสร้างแบบ MSM ตั้งแต่เริ่มจนจบกระบวนการ , การวัด , การทดลอง , ผลการทดลอง และคุณสมบัติของ MSM ที่มีการเติมอะตอมทองคำและ ไม่เติมอะตอมทองคำ ดังนี้

### 3.1 กระบวนการสร้าง MSM (Al/ n-Si /Al)

#### 3.1.1 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ ( MSM Photodetector )

กระบวนการสร้าง Photodetector โครงสร้างแบบ MSM ในรายงานฉบับนี้ จะต้องใช้ Mask ทั้งสิ้นจำนวน 2 Mask โดย Mask แรกจะเป็น Oxide Mask และ Mask ที่สองเป็น Metal Mask ซึ่งสามารถแสดงลักษณะของตัวอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.1( \*Parameter อื่นๆจะแสดงไว้ในภาคผนวก B )



รูปที่ 3.1 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ (Device) เมื่อเสร็จสมบูรณ์ (Top view)

ตารางที่ 3.1

ระยะทางระหว่างขั้วโลหะ (d) Aluminium

หมายเลขอุปกรณ์	ขนาด d ( $\mu\text{m}$ )
A1 , B1	20
A2 , B2	40
A3 , B3	200
A4 , B4	500
A5 , B5	1000
C1 , D1	40
C2 , D2	80
C3 , D3	400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 กระบวนการสร้าง MSM

#### การเตรียมแผ่นซิลิคอน และการทำความสะอาด

1. แผ่น Silicon ดังรูปที่ 3.2 มีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นแผ่นชนิด n-Type ที่มีระนาบ (100)
- Slice Resistivity =  $1.57 \Omega \cdot \text{cm}$
- Sheet Resistivity =  $39.25 \Omega/\square$
- มีความหนา =  $400 \mu\text{m}$

} แผ่นที่ 1, 2

และ

- เป็นแผ่นชนิด n-Type ที่มีระนาบ (100)
- Slice Resistivity =  $13 \Omega \cdot \text{cm}$
- Sheet Resistivity =  $325 \Omega/\square$
- มีความหนา =  $400 \mu\text{m}$

} แผ่นที่ 3, 4

**n-Si**

รูปที่ 3.2 แผ่น Silicon wafer เริ่มต้น

2. การทำความสะอาดแผ่น Silicon wafer โดย

- ต้มในสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$  แก้วที่ 1 โดยมีอัตราส่วนเป็น 1:3 ตามลำดับ เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดเศษโลหะและคราบไขมันที่ติดอยู่บนแผ่น Silicon
- ต้มในสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$  แก้วที่ 2 โดยมีอัตราส่วนเป็น 1:3 ตามลำดับ เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดเศษโลหะและคราบไขมันที่ติดอยู่บนแผ่น Silicon
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่า  $\text{N}_2$  ให้แห้ง

3. การ Slight etching ( เพื่อกำจัดชั้น  $\text{SiO}_2$  บนผิว Silicon ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง Silicon กับ อากาศ ) โดย

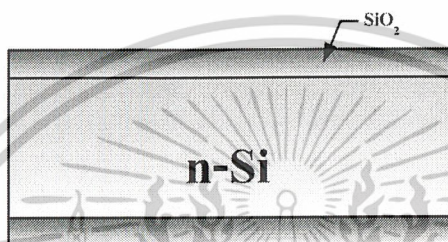
- จุ่มในสารละลาย HF 5% เป็นเวลา 10 วินาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่า  $\text{N}_2$  ให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างชั้น SiO<sub>2</sub> ครั้งแรก แสดง ได้ดังรูปที่ 3.3

4. กระบวนการ Oxidation ด้วยความร้อน = 1000 °C อุณหภูมิน้ำ = 90 °C (เพื่อสร้างชั้น SiO<sub>2</sub> ให้มีความหนา 5000 Å) โดย

- Dry Oxidation ด้วย O<sub>2</sub> โดยมี Flow Rate 1200 cc/min เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (เป็นการสร้าง SiO<sub>2</sub> แบบขึ้นและกระบวนการเกิดจะเร็วกว่าแบบ Dry)
- Wet Oxidation ด้วย O<sub>2</sub> โดยมี Flow Rate 1000 cc/min เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (เป็นการสร้าง SiO<sub>2</sub> แบบแห้งและกระบวนการเกิดจะช้า)
- Dry Oxidation ด้วย O<sub>2</sub> โดยมี Flow Rate 1200 cc/min เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 กระบวนการสร้าง SiO<sub>2</sub> แบบ Dry-Wet-Dry

จากขั้นตอนนี้จะได้ชั้น SiO<sub>2</sub> ประมาณ 5300 Å

การเตรียมแผ่น Silicon ก่อนกระบวนการแพร่อะตอมทองคำ

(\* ถ้าไม่มีการเติมอะตอมทองคำ ให้ข้ามไปยังขั้นตอนที่ 12 \*)

5. เคลือบด้านหน้าของแผ่น Silicon ด้วยน้ำยาไวแสงชนิดบวก (AZ 6112)
6. อบให้ฟิล์มแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 20 นาที ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เมื่อน้ำยาไวแสงกลายเป็นฟิล์มป้องกันชั้น SiO<sub>2</sub> บริเวณผิวหน้า

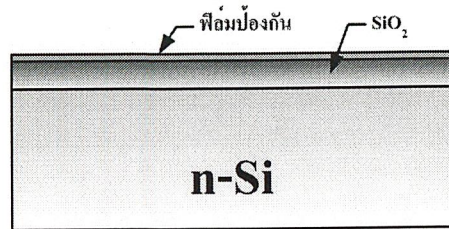
7. นำไปสกัดชั้น SiO<sub>2</sub> ด้านหลังของแผ่น Silicon ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.5

- จุ่มในสารละลาย Buffer ≈ นาที (สารละลายจะสกัดชั้น SiO<sub>2</sub> นาทีละ ≈ Å)

Buffer (HF) = HF : NH<sub>4</sub>F = 1:10 volume/volume

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย  $N_2$



รูปที่ 3.5 หลังจากสกัดชั้น  $SiO_2$  ด้านหลังออก ก่อนที่จะนำไปเคลือบทอง

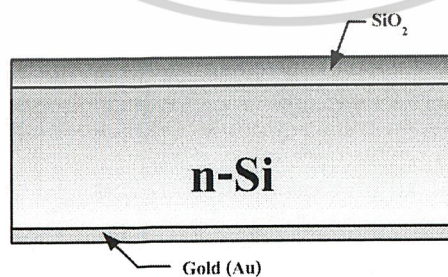
8. กระบวนการลอกฟิล์มที่โคนแสงออก แสดงได้ดังรูปที่ 3.6

- จุ่มใน Acetone แก้วที่ 1 เป็นเวลา 1 นาที
- จุ่มใน Acetone แก้วที่ 2 เป็นเวลา 1 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย  $N_2$



รูปที่ 3.6 ภาพหลังจากการลอกฟิล์มออก

9. การเคลือบ Gold ในสุญญากาศ ดังรูปที่ 3.7 ด้วยเครื่อง Evaporator ที่ความดัน  $3 \times 10^{-6}$  Torr



รูปที่ 3.7 ภาพแสดงการเคลือบชั้น Gold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กระบวนการแพร่อะตอมทองคำ

10. นำแผ่น Silicon เข้าเตาแพร่สารเจือที่อุณหภูมิ  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที

โดยมี Flow Rate ของ  $\text{N}_2 = 1000\text{ cc/min}$

จากขั้นตอนนี้ สภาพต้านทานของแผ่น Silicon จะมีค่าดังนี้

	- Slice Resistivity =	46	$\Omega\cdot\text{cm}$	} แผ่นที่ 1
	- Sheet Resistivity =	1,128	$\Omega/\square$	
และ	- Slice Resistivity =	27	$\Omega\cdot\text{cm}$	} แผ่นที่ 3
	- Sheet Resistivity =	668	$\Omega/\square$	

11. การใช้สารละลายสกัดชั้นทอง (Au-Etching) แสดงได้ดังรูปที่ 3.8

- จุ่มในสารละลาย Au-Etching ที่ อุณหภูมิ  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  เวลา 10-20 วินาที

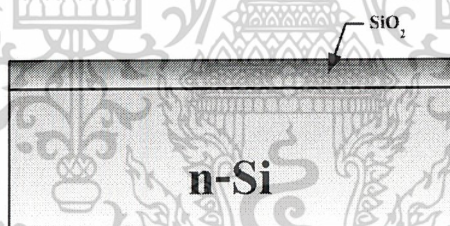
(Au-Etching =  $\text{HCl} : \text{HNO}_3$ )

= 3 : 1 volume/volume)

- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1

- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2

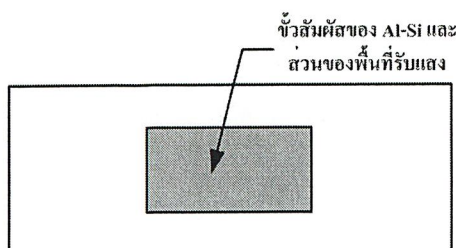
- เป่าแห้งด้วย  $\text{N}_2$



รูปที่ 3.8 ภาพหลังจากการสกัดชั้น Gold

### กระบวนการ Photolithography 1 (Oxide Mask)

โดยการใช้ Mask 1 (Oxide Mask) แสดงได้ดังรูปที่ 3.9 เพื่อเปิดช่องของชั้น  $\text{SiO}_2$  ก่อนที่จะสร้างขั้วสัมผัสระหว่าง Aluminium กับ Silicon และส่วนของพื้นที่รับแสง

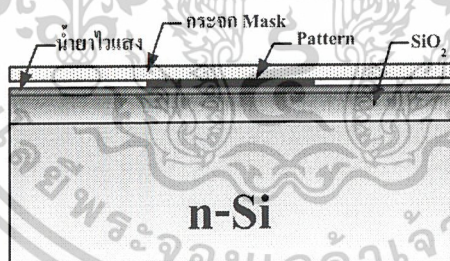


รูปที่ 3.9 Mask ของบริเวณขั้วสัมผัสระหว่าง Al-Si และส่วนของพื้นที่รับแสง

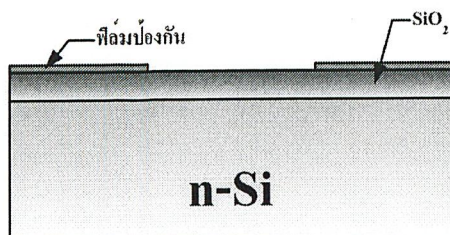
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 12. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี Mask 1 (Oxide Mask)

- อบแผ่นไต่ความชื้นที่  $90^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบ (Way Coat) Spin 5000 rpm เป็นเวลา 20 วินาที (Way Coat คือน้ำยาไวแสงที่เมื่อถูกรังสี UV แล้วจะทำปฏิกิริยากลายเป็นฟิล์มบางๆที่ติดอยู่บนผิวชิ้นงานที่ถูกเคลือบน้ำยา)
- อบฟิล์มที่  $90^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที (Prebake) เพื่อทำให้น้ำยาไวแสงแห้ง
- ทำการ Alignment (จัดวาง Mask) แล้วจึง Expose (การฉายแสง) ดังรูปที่ 3.10
- การล้างฟิล์ม (Develop) โดย
  - จุ่มลงใน Xylene แก้วที่ 1 เป็นเวลา 90 วินาที
  - จุ่มลงใน Xylene แก้วที่ 2 เป็นเวลา 90 วินาที
  - จุ่มลงใน Isopropyl Alcohol แก้วที่ 1 เป็นเวลา 30 วินาที
  - จุ่มลงใน Isopropyl Alcohol แก้วที่ 2 เป็นเวลา 30 วินาที
  - จุ่มลงใน Isopropyl Alcohol แก้วที่ 3 เป็นเวลา 30 วินาที
  - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
  - จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
  - เป่าแห้งด้วย  $\text{N}_2$
- อบฟิล์มที่  $90^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที (Postbake) ก็จะได้ฟิล์มป้องกันชั้น  $\text{SiO}_2$  บริเวณผิวหน้าดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 การ Alignment Mask เพื่อป้องกันบางส่วนของชั้น  $\text{SiO}_2$

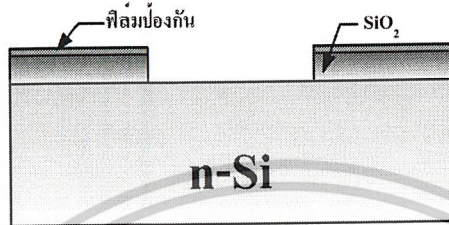


รูปที่ 3.11 เมื่อน้ำยาไวแสงเปลี่ยนกลายเป็นฟิล์มป้องกันบางส่วนของชั้น  $\text{SiO}_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. การใช้สารละลายสกัดชั้นออกไซด์ (Oxide Etching) แสดงได้ดังรูปที่ 3.12

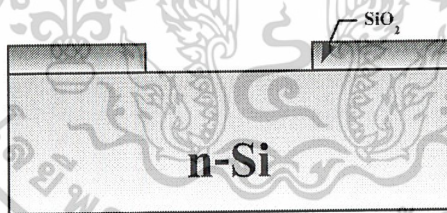
- จุ่มในสารละลาย Buffer  $\approx 5$  นาที (สารละลายจะสกัดชั้น  $\text{SiO}_2$  นาทีละ  $\approx 1200 \text{ \AA}$ )
- Buffer (HF) = HF :  $\text{NH}_4\text{F}$  = 1:10 volume/volume
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย  $\text{N}_2$



รูปที่ 3.12 ภาพหลังจากสกัดชั้น  $\text{SiO}_2$  เพื่อทำขั้วสัมผัสระหว่าง Si-Al, พื้นที่รับแสงต่อไป

14. กระบวนการลอกฟิล์มที่โดนแสงออก ดังรูปที่ 3.13

- ต้มใน  $\text{H}_2\text{SO}_4$  แก้วที่ 1 เป็นเวลา 5 นาที
- ต้มใน  $\text{H}_2\text{SO}_4$  แก้วที่ 2 เป็นเวลา 5 นาที
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย  $\text{N}_2$



รูปที่ 3.13 ภาพหลังจากลอกฟิล์มออก

15. การทำความสะอาดผิวหน้า

- ต้มใน Trichloroethylene 5 นาที
- Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย  $\text{N}_2$

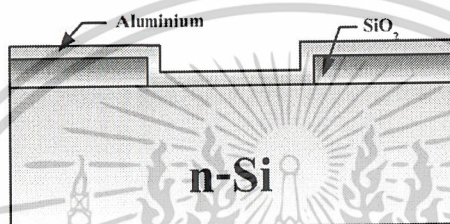
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 16. การ Slice etching

- จุ่มในสารละลาย HF 5% เป็นเวลา 10 วินาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย  $N_2$

## การสร้างขั้วสัมผัสของ MSM

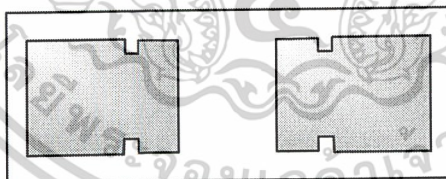
17. การเคลือบ Aluminium ในสุญญากาศ ดังรูปที่ 3.14 ด้วยเครื่อง Evaporator ที่ความดัน  $3 \times 10^{-6}$  Torr



รูปที่ 3.14 ภาพแสดงการเคลือบชั้น Aluminium

## กระบวนการ Photolithography 2 (Metal Mask)

โดยการใช้ Mask 2 (Metal Mask) ดังรูปที่ 3.15 เพื่อสร้างลวดลาย Aluminium ในบริเวณที่จะเป็นขั้วสัมผัสระหว่าง Aluminium กับ Silicon, ส่วนของพื้นที่รับแสงและขั้วไฟฟ้าของตัวอุปกรณ์



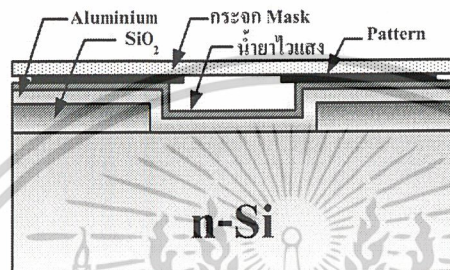
รูปที่ 3.15 ภาพ Top view ของ Metal Mask

## 18. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี Mask 2 (ลวดลาย Aluminium)

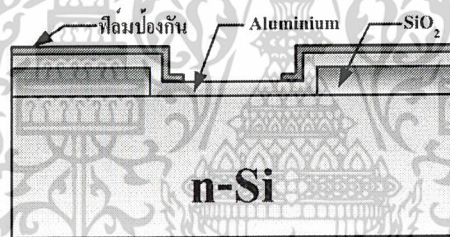
- อบแผ่นไล่ความชื้นที่  $90^\circ C$  เป็นเวลา 30 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก (AZ 6112) Spin 3000 rpm เวลา 30 วินาที
- อบฟิล์มที่  $90^\circ C$  เป็นเวลา 20 นาที (Prebake)
- ทำการ Alignment (จัดวาง Mask) แล้วจึง Expose (การฉายแสง) ดังรูปที่ 3.16
- การล้างฟิล์ม (Develop) โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- AZ Developer แก้วที่ 1 เป็นเวลา 15 วินาที
- AZ Developer แก้วที่ 2 เป็นเวลา 15 วินาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย  $N_2$
- อบฟิล์มที่  $90^\circ C$  เป็นเวลา 10 นาที ( Postbake ) ก็จะได้ฟิล์มป้องกันชั้น Aluminium บริเวณผิวหน้าดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 การ Alignment Mask เพื่อป้องกันบางส่วนของชั้น Aluminium



รูปที่ 3.17 เมื่อน้ำยาไวแสงเปลี่ยนกลายเป็นฟิล์มป้องกันบางส่วนของชั้น Aluminium

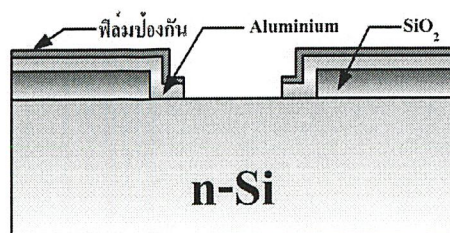
19. การใช้สารละลายสกัดชั้น Aluminium ( Al-Etching ) แสดงได้ดังรูปที่ 3.18

- จุ่มในสารละลาย Al-Etching ที่ อุณหภูมิ  $40^\circ C$  เวลา 10-20 วินาที



$$= 8 : 5 : 5 : 10 \text{ volume/volume})$$

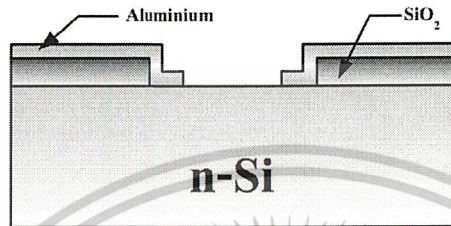
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย  $N_2$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.18 หลังจากทำการสกัดชั้น Aluminium ออกบางส่วน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. กระบวนการลอกฟิล์มที่โคนแสงออก แสดงได้ดังรูปที่ 3.19

- จุ่มใน Acetone แก้วที่ 1 เป็นเวลา 1 นาที
- จุ่มใน Acetone แก้วที่ 2 เป็นเวลา 1 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าแห้งด้วย  $N_2$

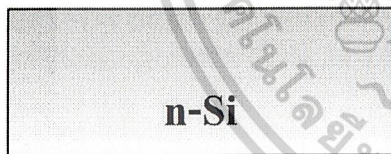


รูปที่ 3.19 ภาพ MSM ที่สมบูรณ์

21. กระบวนการ Sintering Temp.  $500^{\circ}C$  (เพื่อทำให้เกิด Al-Si Alloy)

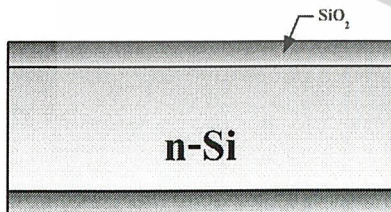
- Dry  $N_2$  700 cc/min เป็นเวลา 15 นาที

สรุปกระบวนการสร้าง MSM โดยไม่มีการเติมอะตอมทองลงในฐานรอง



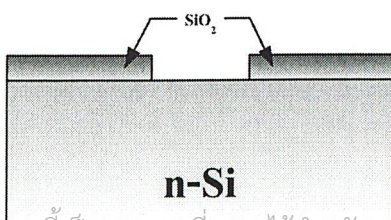
แผ่น Silicon wafer ชนิด n-type ที่มีระนาบ (100)

- Slice Resistivity = 1.57 และ  $13 \Omega \cdot cm$
- Sheet Resistivity = 39.25 และ  $325 \Omega / \square$
- มีความหนา =  $400 \mu m$



**Oxidation**

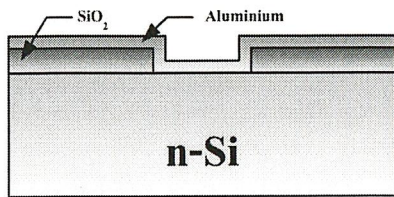
สร้างชั้น  $SiO_2$  โดยใช้อุณหภูมิ  $1000^{\circ}C$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ความหนาชั้น  $SiO_2$  ประมาณ  $5300 \text{ \AA}$



**Photolithography โดยใช้ Mask 1 (Oxide Mask)**

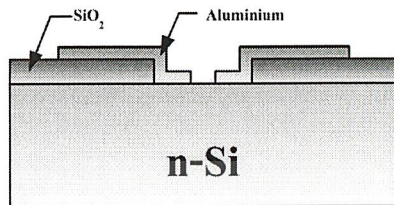
สกัดชั้น  $SiO_2$  ก่อนที่จะสร้างขั้วสัมผัสระหว่าง Aluminium กับ Silicon และส่วนของพื้นที่รับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Al - vacuum evaporator

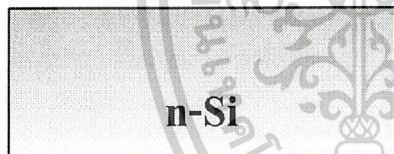
เคลือบ Aluminium ด้วยเครื่อง Evaporator  
ที่ความดัน  $2 \times 10^{-6}$  Torr



### Photolithography โดยใช้ Mask 2 (Metal Mask)

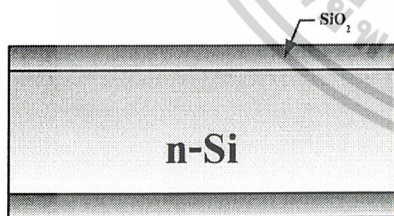
สกัดชั้น Aluminium ออกบางส่วนให้เหลือแต่ขั้ว  
โลหะ หลังจากนั้น ทำการ Sintering ที่อุณหภูมิ  
 $500^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที ในบรรยากาศ ของ  
 $\text{N}_2 = 700$  cc/min เพื่อให้เกิด Al-Si Alloy

## สรุปกระบวนการสร้าง MSM โดยการเติมอะตอมทองลงในฐานรอง



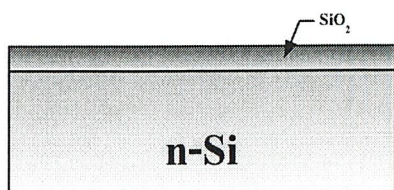
แผ่น Silicon wafer ชนิด n-type ที่มีระนาบ (100)

- Slice Resistivity =  $1.57$  และ  $13 \Omega\cdot\text{cm}$
- Sheet Resistivity =  $39.25$  และ  $325 \Omega/\square$
- มีความหนา =  $400 \mu\text{m}$



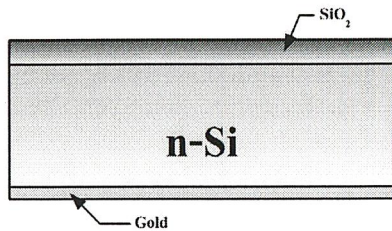
### Oxidation

สร้างชั้น  $\text{SiO}_2$  โดยใช้อุณหภูมิ  $1000^\circ\text{C}$  เป็นเวลา  
3 ชั่วโมง ได้ความหนาชั้น  $\text{SiO}_2$  ประมาณ  $5300 \text{ \AA}$



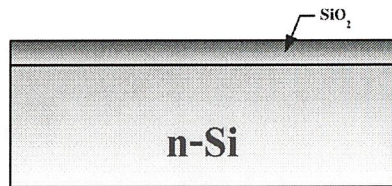
สกัดชั้น  $\text{SiO}_2$  ด้านหลัง ก่อนที่จะเคลือบทองคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



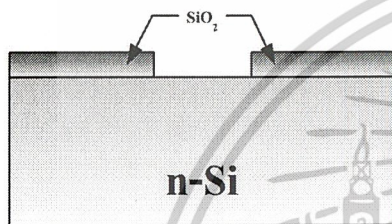
#### Au - vacuum evaporator

เคลือบทองคำด้วยเครื่อง Evaporator  
ที่ความดัน  $3 \times 10^{-6}$  Torr



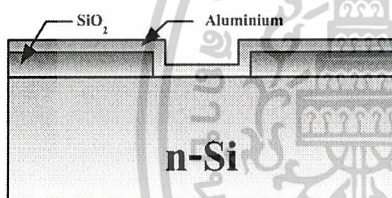
#### Au Drive-in and quenching

โดยใช้อุณหภูมิ  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที  
หลังจากนั้นสกัดชั้นทองคำด้านหลังออก



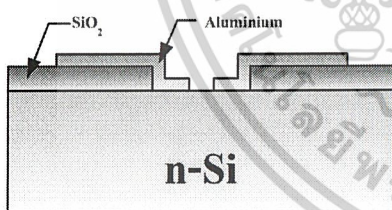
#### Photolithography โดยใช้ Mask 1 (Oxide Mask)

สกัดชั้น  $\text{SiO}_2$  ก่อนที่จะสร้างขั้วสัมผัสระหว่าง  
Aluminium กับ Silicon และส่วนของพื้นที่รับแสง



#### Al - vacuum evaporator

เคลือบ Aluminium ด้วยเครื่อง Evaporator  
ที่ความดัน  $2 \times 10^{-6}$  Torr



#### Photolithography โดยใช้ Mask 2 (Metal Mask)

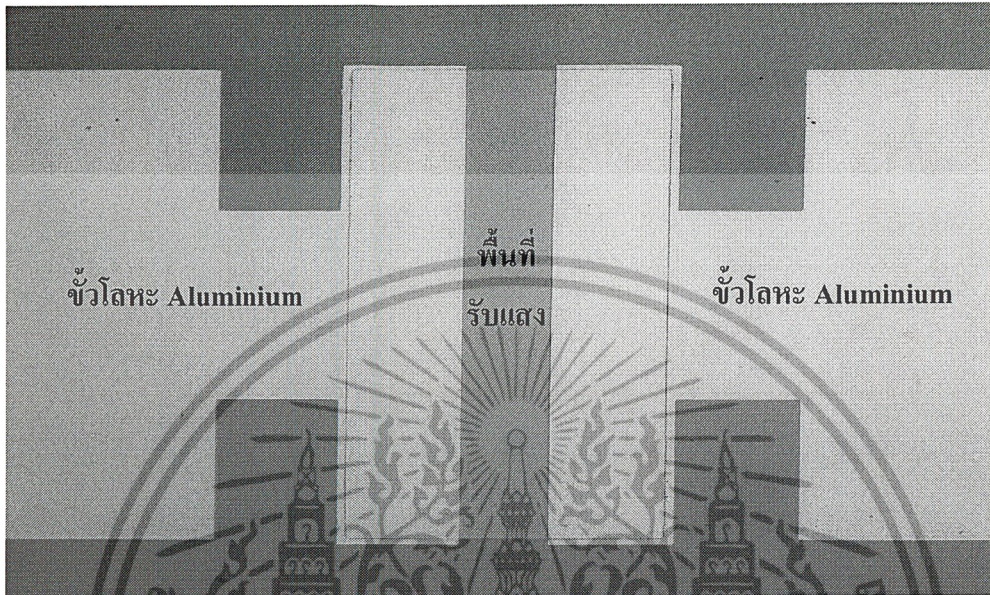
สกัดชั้น Aluminium ออกบางส่วนให้เหลือแต่ขั้ว  
โลหะ หลังจากนั้น ทำการ Sintering ที่อุณหภูมิ  
 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที ในบรรยากาศ ของ

$\text{N}_2 = 700\text{ cc/min}$  เพื่อให้เกิด Al-Si Alloy

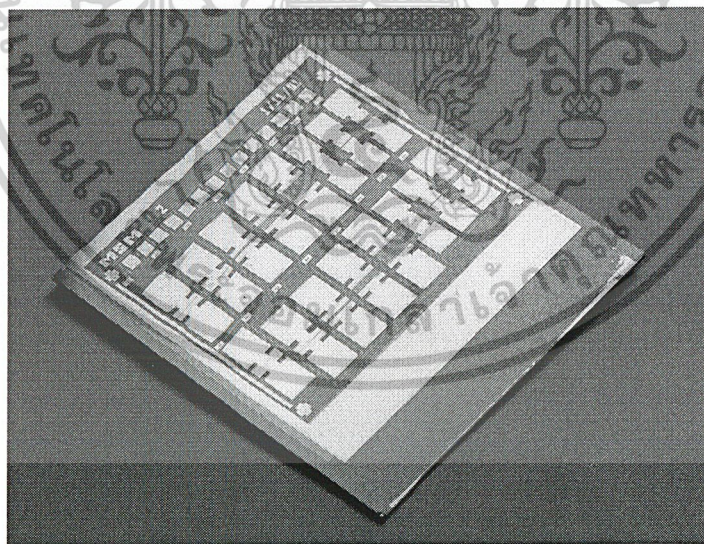
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MSM (Top View) เมื่อเสร็จสมบูรณ์

เมื่อรวม Mask ทั้งสองเข้าด้วยกันแล้ว ก็จะได้ลักษณะของ Photodetector ที่มีโครงสร้างแบบ MSM (Al / n-Si / Al) ดังรูปที่ 3.20 และ 3.21



รูปที่ 3.20 ภาพ MSM (Top view) ที่สมบูรณ์จากกล้อง Microscope



รูปที่ 3.21 ภาพ MSM (Top view) ที่สมบูรณ์จากกล้องถ่ายรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

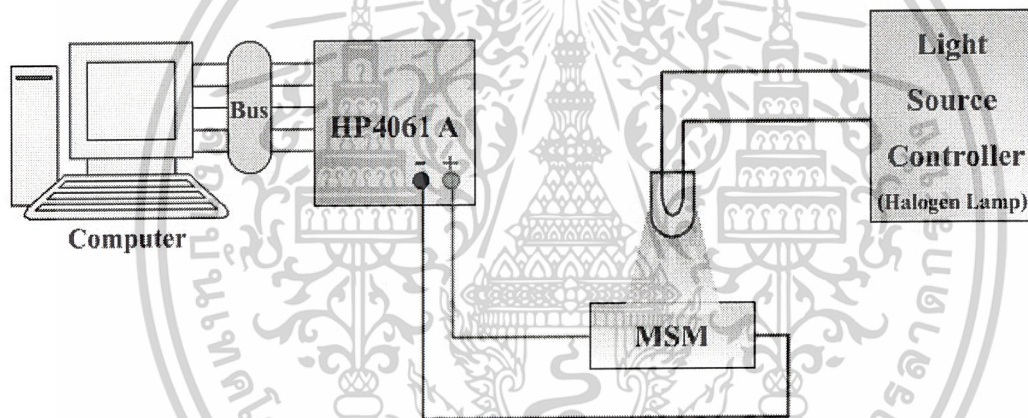
## 3.2 การวัด , การทดลอง และผลการทดลอง

ภายหลังจากกระบวนการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ MSM เสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนที่สำคัญต่อไปคือ การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ MSM ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ จะทำการวัดคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ กระแสรั่วไหลขณะที่ไม่มีแสง, กระแสแสงที่ความเข้มแสงต่างๆ, แรงดันพังทลาย และ การตอบสนองทางความถี่ โดยคุณสมบัติต่างๆสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V และ Gain – Frequency

### 3.2.1 การวัดคุณสมบัติของ MSM

#### 3.2.1.1 การวัดหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง I-V

การศึกษาในหัวข้อนี้ จากรูปที่ 3.22 ทางด้าน input จะใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอด Halogen ซึ่งจะนำมาฉายลงบนพื้นที่รับแสงของชิ้นงาน โดยแสงที่ใช้จะมีความเข้มค่าต่างๆ ส่วนทางด้าน output จะวัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง HP4061 A โดยมี Computer เป็นตัวควบคุมและบันทึกผลการทดลอง

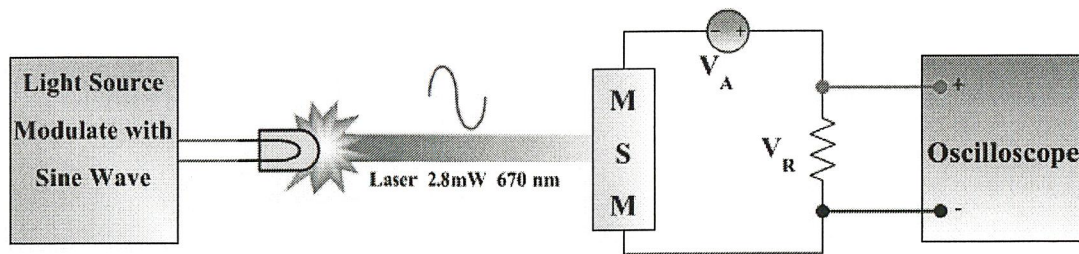


รูปที่ 3.22 การวัดหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส - แรงดัน

#### 3.2.1.2 การวัดหา Photo Response ของ MSM

การศึกษาในหัวข้อนี้ จากรูปที่ 3.23 ทางด้าน input จะใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแสง Laser ที่มีความยาวคลื่น 670 nm , กำลังงาน 2.8 mW ฉายลงบนพื้นที่รับแสงของชิ้นงาน โดยแสง Laser นี้ จะถูก Modulate ด้วยสัญญาณ Sine Wave ที่มีความถี่ค่าต่างๆ โดยในการทดลองครั้งนี้จะใช้สัญญาณ Sine Wave ที่มีขนาดเท่ากับ 400mV<sub>pp</sub> ส่วนทางด้าน output นั้นตัวชิ้นงานจะถูก Bias ด้วยแรงดันคงที่ค่าหนึ่งและมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่ซึ่งในการทดลองครั้งนี้จะใช้ค่าแรงดัน Bias เท่ากับ 2 V และ 5 V ตามลำดับ ส่วนตัวความต้านทานมีค่าเท่ากับ 10KΩ ค่า output ที่ได้ก็คือแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานเราจะนำผลที่ได้มา Plot เป็นกราฟ Photo Response และนำมาหาค่า Cutoff Frequency ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

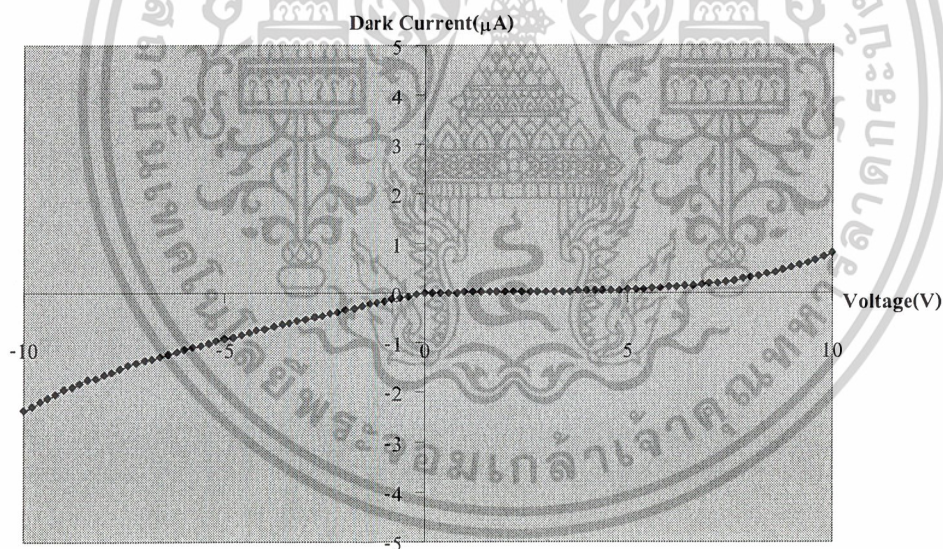


รูปที่ 3.23 การวัดหา Photo Response ของ MSM

### 3.2.2 ผลการทดลองคุณสมบัติพื้นฐานของ MSM

#### 3.2.2.1 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V

จากการทดลองในหัวข้อที่ 3.2.1.1 นั้นจะได้ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส-แรงดัน ดังรูปที่ 3.24 ซึ่งกราฟในรูปที่ 3.24 เป็นกราฟของ MSM ที่มีสภาพต้านทานของ ฐานรองเท่ากับ  $13 \Omega \cdot \text{cm}$  , ความกว้างระหว่างขั้วโลหะเท่ากับ  $500 \mu\text{m}$  (เบอร์ A4) และยังไม่ได้ถูก Dope ด้วยทองคำ

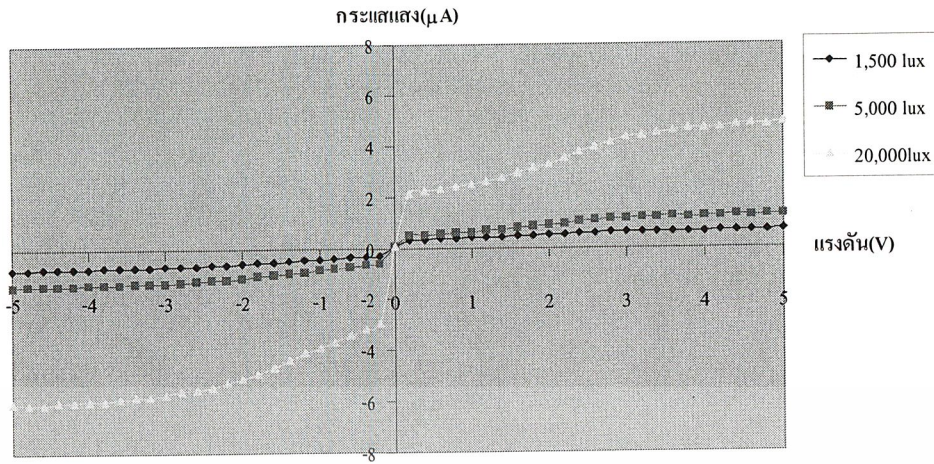


รูปที่ 3.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส - แรงดัน

#### 3.2.2.2 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ

จากการทดลองในหัวข้อที่ 3.2.1.1 นั้นจะได้ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส-แรงดันที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ ดังรูปที่ 3.25 ซึ่งกราฟในรูปที่ 3.25 เป็นกราฟของ MSM ที่มีสภาพต้านทานของฐานรองเท่ากับ  $13 \Omega \cdot \text{cm}$  , ความกว้างระหว่างขั้วโลหะเท่ากับ  $500 \mu\text{m}$  (เบอร์ A4) และยังไม่ได้ถูก Dope ด้วยทองคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส - แรงดันที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ

### 3.2.2.3 ลักษณะกราฟการตอบสนองทางแสงของ MSM

จากการทดลองในหัวข้อที่ 3.2.1.2 นั้นจะได้ลักษณะของกราฟผลตอบสนองต่อความถี่ที่แรงดัน Bias ค่าต่างๆ ดังรูปที่ 3.26 ซึ่งกราฟในรูปที่ 3.26 เป็นกราฟของ MSM ที่มีสภาพต้านทานของฐานรองเท่ากับ  $13 \Omega \cdot \text{cm}$ , ความกว้างระหว่างขั้วโลหะเท่ากับ  $500 \mu\text{m}$  (เบอร์ A4) และยังไม่ได้ถูกแพร์ด้วยอะตอมทองคำ



รูปที่ 3.26 ลักษณะของกราฟการตอบสนองทางแสง(Photo Response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

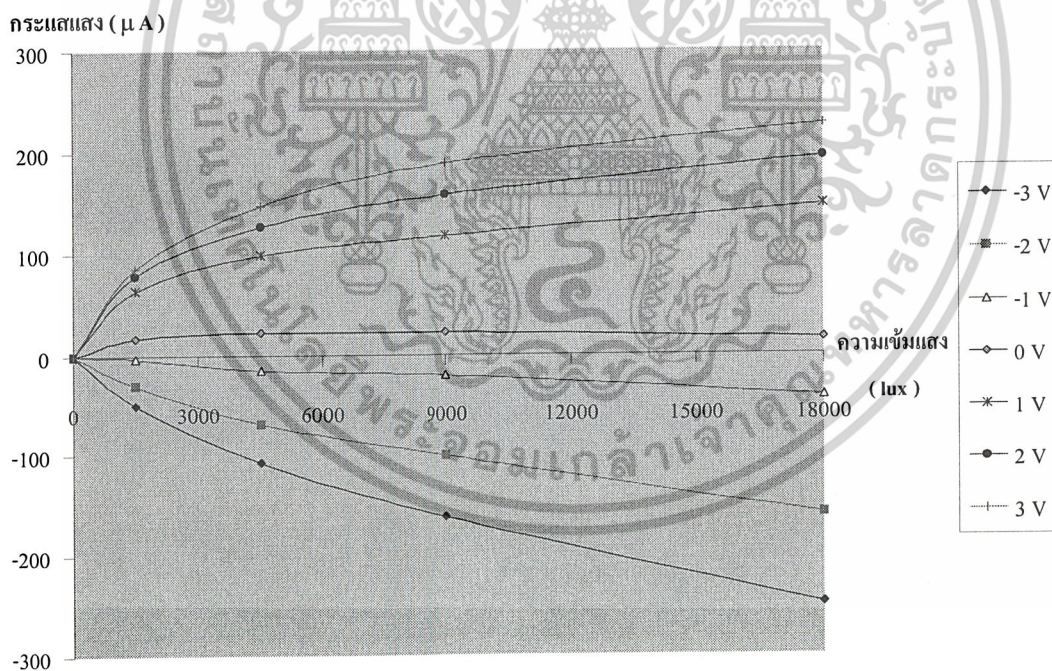
## บทที่ 4

### วิเคราะห์ผลการทดลอง

ภายหลังจากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ MSM เสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ และพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่จะทำให้คุณสมบัติของ MSM มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถนำ MSM ไปใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

#### 4.1 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-ความเข้มแสง ที่แรงดันต่างๆ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V นั้นเราสามารถนำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-ความเข้มแสงที่แรงดัน Bias ค่าต่างๆ ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งกราฟในรูปที่ 4.1 เป็นกราฟของ MSM ที่มีสภาพต้านทานของฐานรองเท่ากับ  $2.06 \Omega \cdot \text{cm}$  , ความกว้างระหว่างขั้วโลหะเท่ากับ  $1000 \mu\text{m}$  (เบอร์ A5) และยังไม่ได้ถูก Dope ด้วยทองคำ



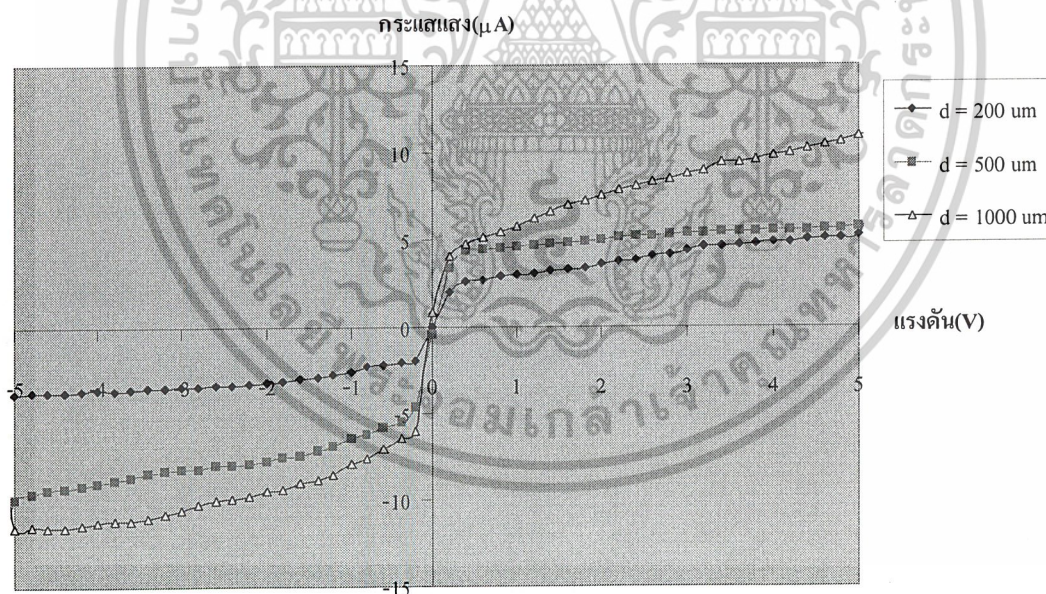
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง – ความเข้มแสงที่แรงดัน Bias ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-ความเข้มแสงที่แรงดันต่างๆ ในรูปที่ 4.1 สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า “ กระแสแสงจะแปรกับแรงดัน Bias และความเข้มของแสง อย่างเชิงเส้นในช่วงที่มีความเข้มแสงสูงๆ (4,500 lux ขึ้นไป)” เนื่องจากเมื่อมีความเข้มแสงมากขึ้นจะทำให้มี Photon ที่มีพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดคู่ Electron-hole มีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้เกิดกระแสแสงมากขึ้น และถ้าให้ค่าแรงดัน Bias มากขึ้นก็จะทำให้สนามไฟฟ้าในบริเวณเขตปลอดพาหะมากขึ้น รวมถึง สนามไฟฟ้าในบริเวณที่เป็นกลางก็จะมีค่ามากขึ้นส่งผลให้ hole สามารถเคลื่อนที่ได้ไกลขึ้น โดยไม่มีการรวมตัวมาก ทำให้ได้กระแสไฟฟ้ามากขึ้น

#### 4.2 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-ความเข้มแสงที่ระยะ d ต่างๆ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V นั้นเราสามารถนำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-ความเข้มแสง ที่ระยะ d ค่าต่างๆ ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งกราฟในรูปที่ 4.2 เป็นกราฟของ MSM ที่มีสภาพต้านทานของฐานรองเท่ากับ  $1.57 \Omega \cdot \text{cm}$  , ความกว้างระหว่างขั้วโลหะเท่ากับ 200 , 500 และ 1000  $\mu\text{m}$  (เบอร์ A3 , A4 และ A5 ตามลำดับ) ขณะได้รับแสง 20,000 lux และยังไม่ได้อุณหภูมิด้วยทองคำ



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง – ความเข้มแสงที่ระยะ d ค่าต่างๆ

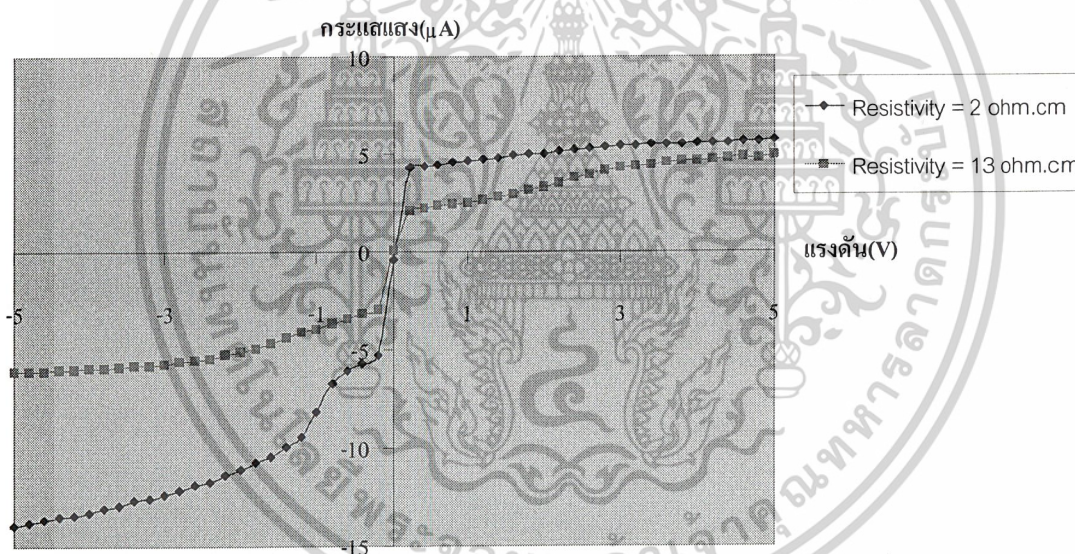
ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง – ความเข้มแสงที่ระยะ d ค่าต่างๆ ในรูปที่ 4.2 สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า “ กระแสแสงจะขึ้นอยู่กับค่าของพื้นที่รับแสง ” เนื่องจากในฐานรองมี

ค่าความต้านทานค่าหนึ่งทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในบริเวณที่เป็นกลาง ดังนั้น hole ที่เกิดในบริเวณที่เป็นกลางจะเคลื่อนที่ตามสนามไฟฟ้า( ทำให้การเคลื่อนที่ของ hole มีระยะทางมากกว่า  $L_p$ ) ส่งผลให้เมื่อมีพื้นที่รับแสงมากขึ้นจะทำให้มีบริเวณที่เป็นกลางมากขึ้น จึงเกิดกระแสแสงได้มากขึ้น

#### 4.3 ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ที่ฐานรองมี

##### สภาพต้านทานค่าต่างๆ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V นั้นเราสามารถนำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-ความเข้มแสง ที่ฐานรองมีสภาพต้านทานค่าต่างๆ ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งกราฟในรูปที่ 4.3 เป็นกราฟของ MSM ที่มีสภาพต้านทานของฐานรองเท่ากับ 2 และ 13  $\Omega \cdot \text{cm}$  , ความกว้างระหว่างขั้วโลหะเท่ากับ 500 (เบอร์ A4) ขณะได้รับแสง 20,000 lux และยังไม่ได้ถูก Dope ด้วยทองคำ

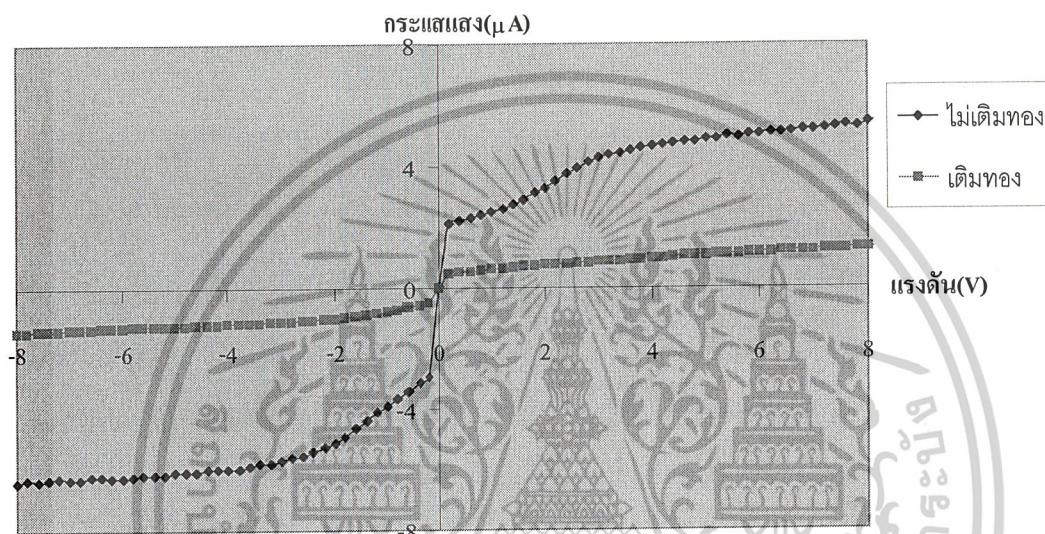


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง – แรงดัน ที่ฐานรองมีสภาพต้านทานค่าต่างๆ

ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง-ความเข้มแสง ที่ฐานรองมีสภาพต้านทานค่าต่างๆ ในรูปที่ 4.3 สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า “ กระแสแสงจะขึ้นอยู่กัสภาพต้านทานของฐานรอง ” เนื่องจากในฐานรองมีค่าความต้านทานค่าหนึ่ง ถ้าค่าความต้านทานนี้มีค่ามากกระแสแสงที่ได้ก็จะมีค่าน้อย แต่ถ้าค่าความต้านทานนี้มีค่าน้อยกระแสแสงที่ได้ก็จะมีค่ามาก

#### 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ที่เติมทอง และไม่เติมทอง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I-V นั้นเราสามารถนำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ที่มีเติมทอง และไม่เติมทอง ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งกราฟในรูปที่ 4.4 เป็นกราฟของ MSM ที่มีสภาพต้านทานของฐานรองเท่ากับ  $13 \Omega \cdot \text{cm}$  , ความกว้างระหว่างขั้วโลหะเท่ากับ 500 (เบอร์ A4) ขณะได้รับแสง 20,000 lux

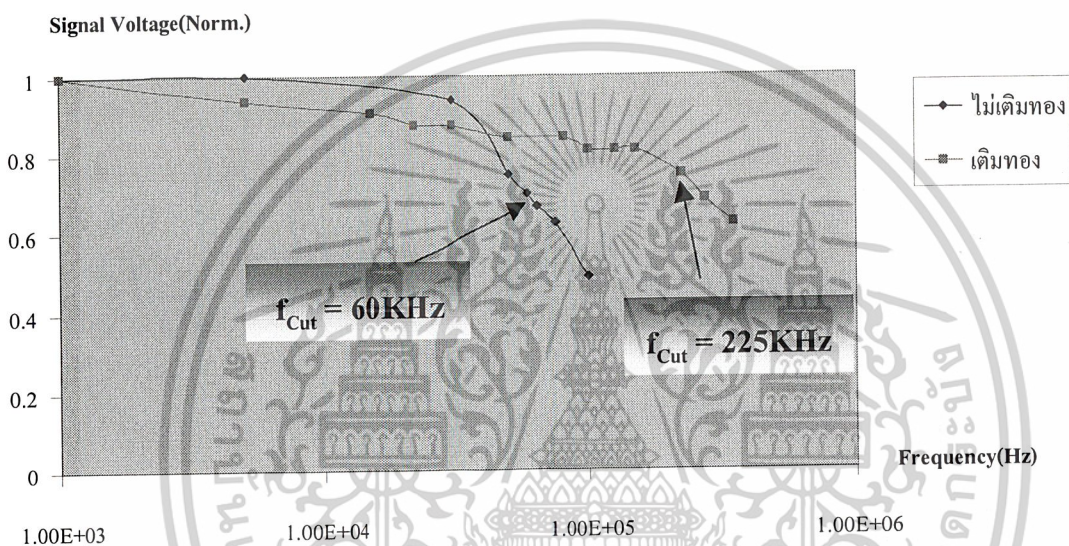


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง-แรงดัน ที่มีเติมทอง และไม่เติมทอง

ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสแสง-ความเข้มแสง ที่ฐานรองมีสภาพต้านทานค่าต่างๆ ในรูปที่ 4.4 สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า “ กระแสแสงจะขึ้นอยู่กับการเติมอะตอมทองคำ ” โดยเมื่อมีการเติมอะตอมทองคำจะส่งผลให้ กระแสแสงที่ได้มีค่าน้อยลง เนื่องจากในฐานรองมี Trap Level ซึ่งจะทำให้พาหะส่วนหนึ่งไม่สามารถไปยังขั้วโลหะเพื่อเป็นกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นกระแสแสงที่ได้จึงมีค่าลดลงจากเดิม(ไม่มีการเติมอะตอมทองคำ)

## 4.5 กราฟการตอบสนองทางแสงของ MSM ที่มีการเติมทอง และไม่เติมทอง

จากกราฟการตอบสนองทางแสงของ MSM นั้นเราสามารถนำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟการตอบสนองทางแสงของ MSM ที่มีเติมทอง และไม่เติมทอง ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งกราฟในรูปที่ 4.5 เป็นกราฟของ MSM ที่มีสภาพต้านทานของฐานรองเท่ากับ  $13 \Omega \cdot \text{cm}$  , ความกว้างระหว่างขั้วโลหะเท่ากับ 500 (เบอร์ A4) ขณะได้รับแสง laser ที่ถูก Modulate ด้วยสัญญาณ Sinewave  $400 \text{ mV}_{\text{p-p}}$  มีความยาวคลื่น  $670 \text{ nm}$  , ความเข้มแสง  $2.8 \text{ mW}$  และ MSM ถูก Bias ด้วยแรงดัน  $2 \text{ Volt}$



รูปที่ 4.5 กราฟการตอบสนองทางแสงของ MSM ที่มีการเติมทอง และไม่เติมทอง

ซึ่งจากกราฟการตอบสนองทางแสงของ MSM ที่มีการเติมทอง และไม่เติมทองในรูปที่ 4.5 สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า “ การเติมอะตอมทองคำลงใน MSM มีผลทำให้ MSM สามารถตอบสนองสัญญาณที่มีความถี่สูงๆ ได้ดีขึ้น ” โดยเมื่อมีการเติมอะตอมทองคำจะส่งผลให้ อายุของพาหะมีค่าลดลงซึ่งจะทำให้ Bandwidth ของ MSM มีค่าสูงมากกว่าเดิม

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเรื่อง การสร้างตัวตรวจวัดแสงแบบ Al / n-Si/ Al (MSM) และผลของอะตอมทองคำ โดยใน ส่วนแรกเป็นการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้า , คุณสมบัติทางแสง และคุณสมบัติของซิลิคอนที่ถูกแพร่ด้วยอะตอมทองคำ

ในส่วนที่สองเป็นการศึกษากระบวนการสร้าง MSM ที่มีโครงสร้างแบบ Al / n-Si/ Al โดยแบ่งตัวอุปกรณ์ออกเป็น 4 ชุด ได้แก่

1. MSM ที่มีสภาพต้านทานฐานรอง =  $1.57 \Omega \cdot \text{cm}$  , ไม่เติมอะตอมทองคำ
2. MSM ที่มีสภาพต้านทานฐานรอง =  $13 \Omega \cdot \text{cm}$  , ไม่เติมอะตอมทองคำ
3. MSM ที่มีสภาพต้านทานฐานรอง =  $1.57 \Omega \cdot \text{cm}$  , ไม่เติมอะตอมทองคำ
4. MSM ที่มีสภาพต้านทานฐานรอง =  $13 \Omega \cdot \text{cm}$  , ไม่เติมอะตอมทองคำ

โดยแต่ละชุดนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างขั้วโลหะ(d) ตั้งแต่ 20 , 40 , 200 , 500 และ 1000  $\mu\text{m}$  ซึ่งเมื่อนำอุปกรณ์ทั้ง 4 ชุดนี้ ไปทำการทดลองเพื่อวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า พบว่าค่าของกระแสมืด(IDark) และแรงดันพิงทะลายมีค่าใกล้เคียงกันหมดทุกชุดคือ 1-3  $\mu\text{A}$  และประมาณ 10 Volt ตามลำดับ ส่วนคุณสมบัติทางแสงพบว่ากระแสแสงจะแปรตามกับระยะทางระหว่างขั้วโลหะ(d) และกระแสแสงจะแปรผกผันกับสภาพต้านทานของฐานรอง ส่วนการ Bias ขณะใช้งานนั้นพบว่าเมื่อมีความเข้มแสงเท่ากันแรงดัน Bias ที่สูงกว่าจะให้กระแสแสงที่มากกว่า แต่การ Bias นั้น ไม่มีผลกับ Bandwidth แต่อย่างใด และใน ส่วนความสัมพันธ์ของความเข้มแสงที่ตกกระทบกับพื้นที่รับแสงของ MSM กับกระแสแสงนั้น พบว่าที่ความเข้มแสงค่าสูงๆจะทำให้กระแสแสงที่ได้มีความเป็นเชิงเส้น ส่วนผลของอะตอมทองคำนั้นจะมีผลทำให้กระแสแสงลดลง แต่ Bandwidth จะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองนั้น แสดงให้เห็นว่าอะตอมทองคำมีผลกับอุปกรณ์ MSM ที่มีโครงสร้างแบบ Al / n-Si/ Al ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดนี้สามารถที่จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและพัฒนา MSM ที่มีโครงสร้างแบบ Al / n-Si/ Al ตามเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อไป

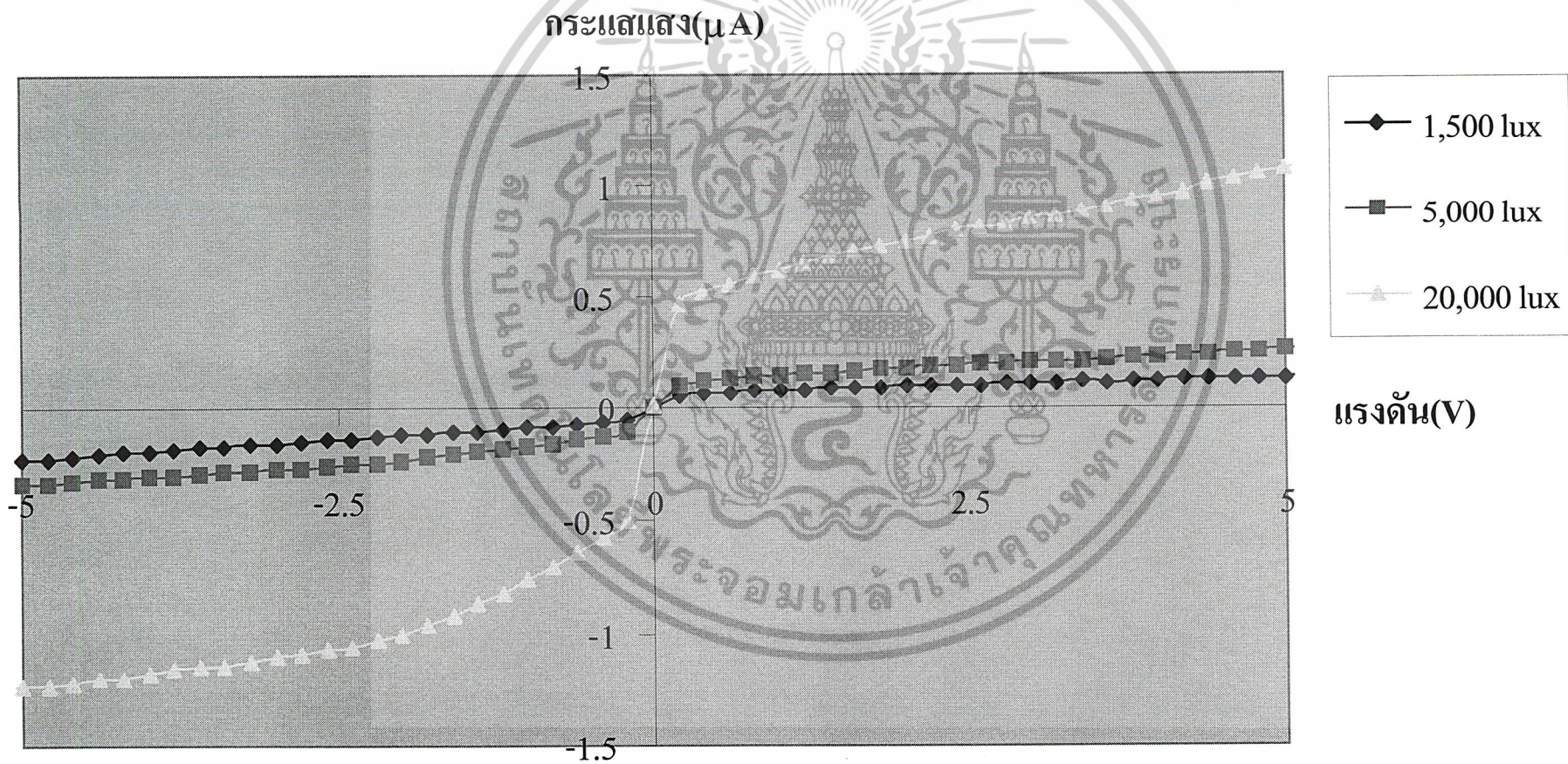


## ภาคผนวก

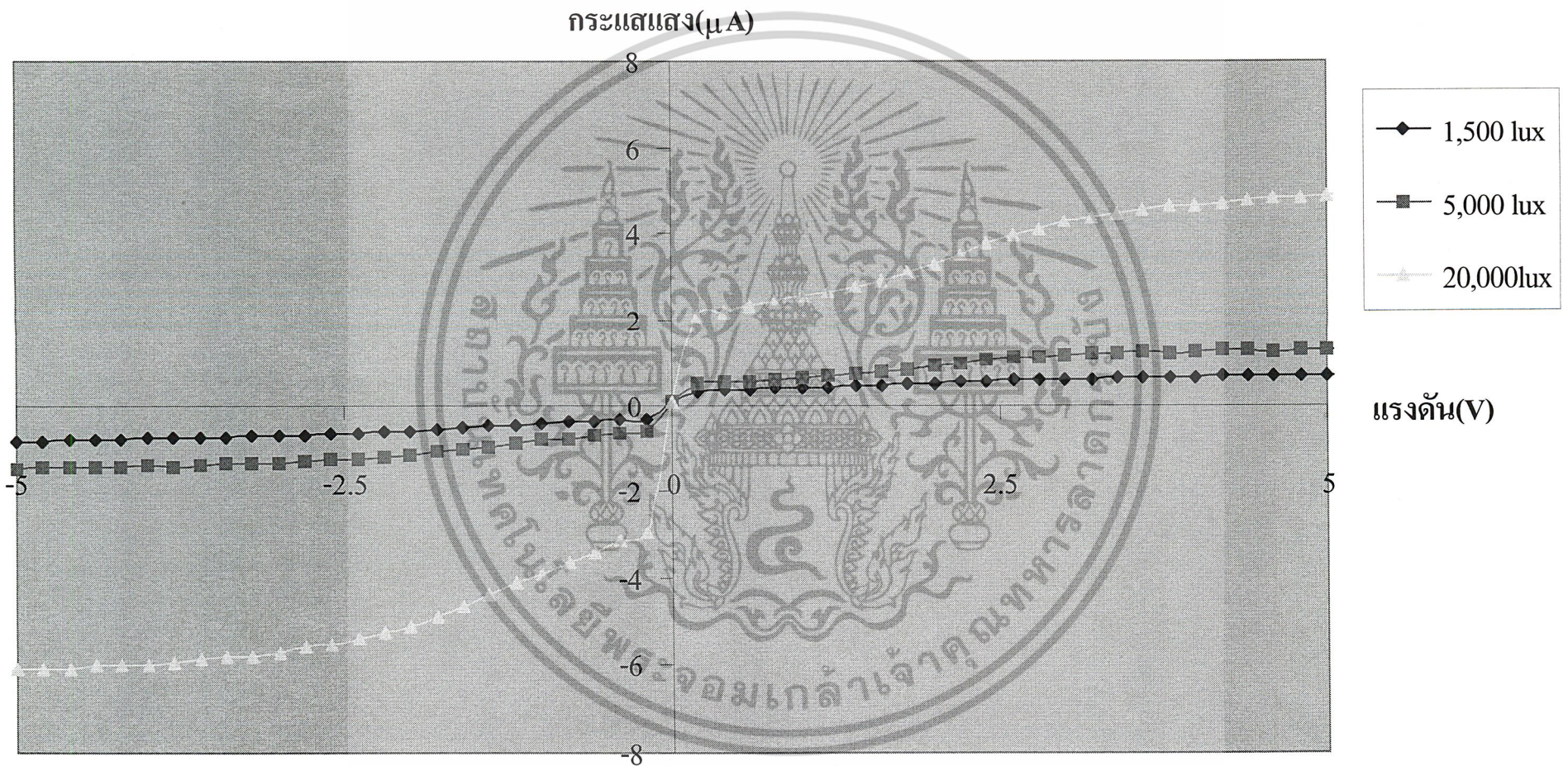
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

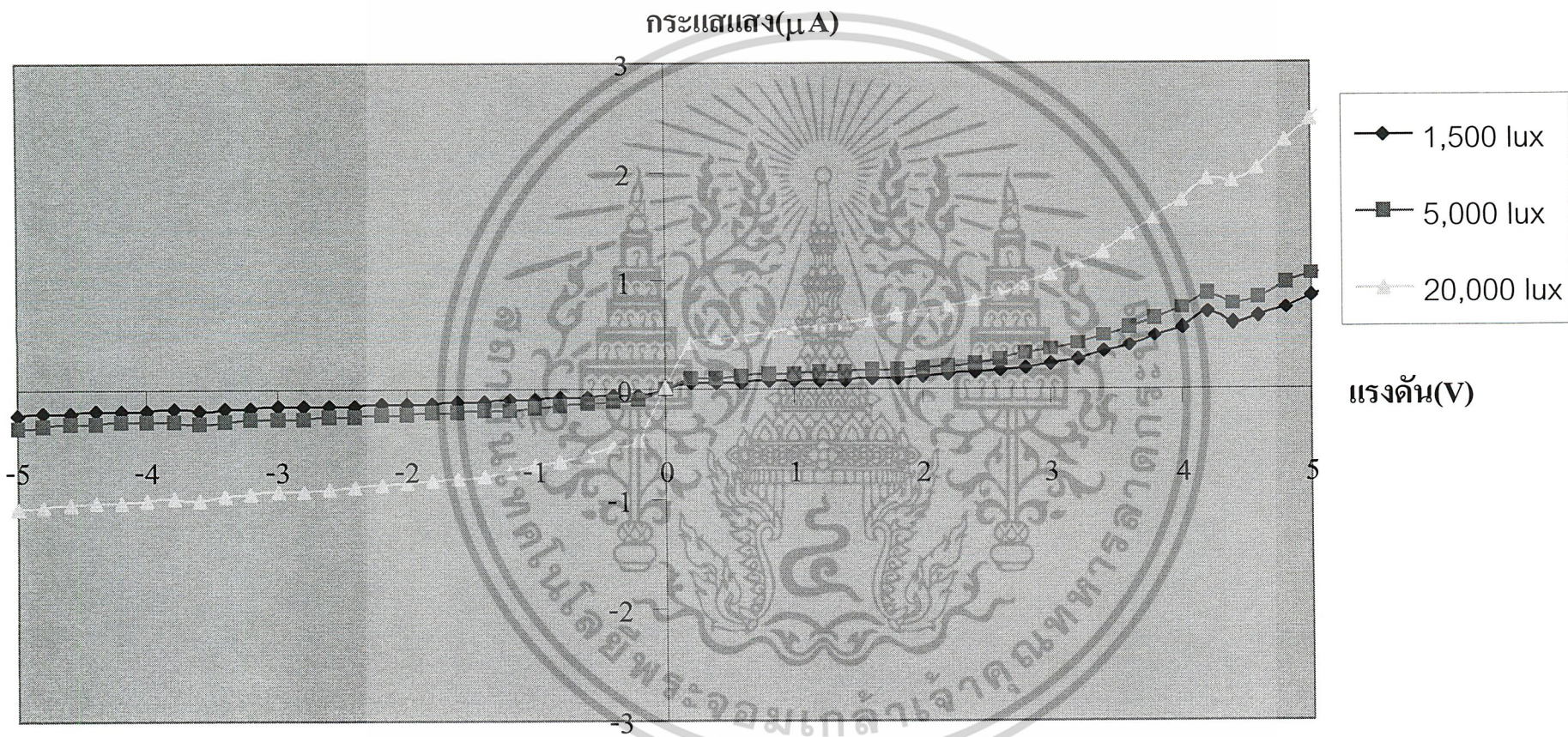
ผลการทดลองเพิ่มเติม



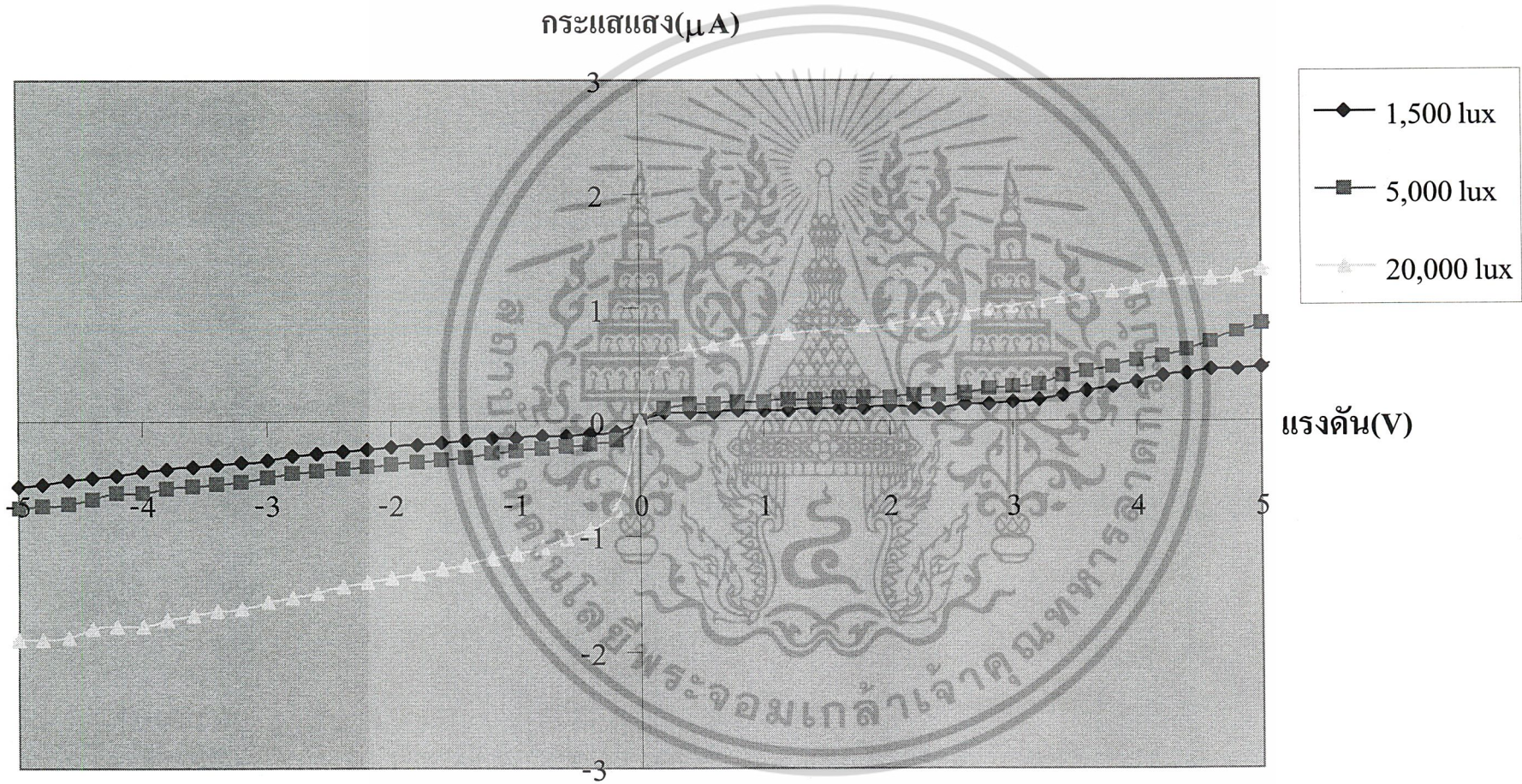
รูปที่ ก-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ของ MSM โดยมีระยะ  $d = 500 \mu m$  (มีการเติมอะตอมทอง) ,  $13 \Omega cm$  ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ



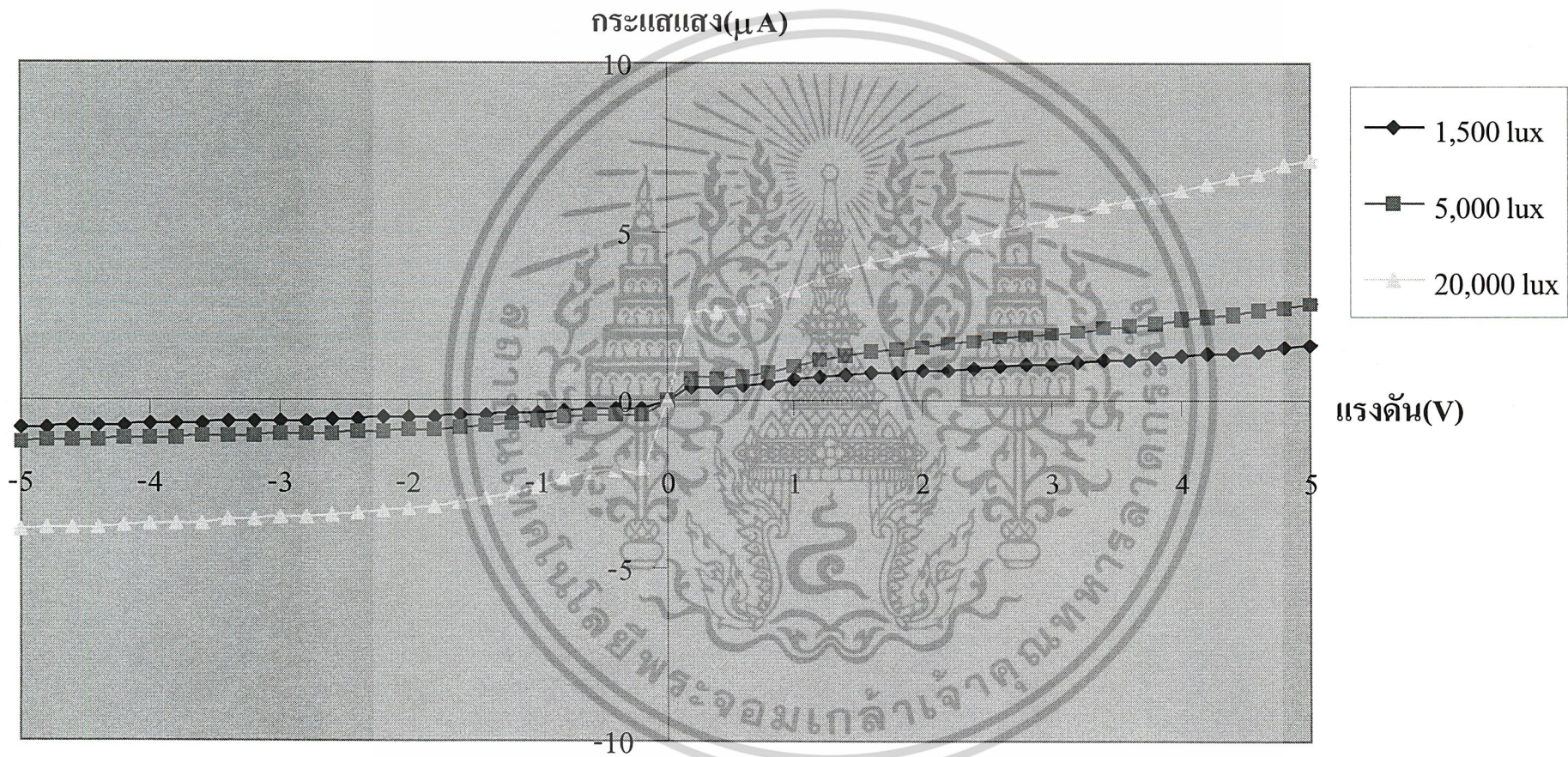
รูปที่ ก-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ของ MSM โดยมีระยะ  $d = 500 \mu\text{m}$  (ไม่มีการเติมอะตอมทอง) ,  $13 \Omega\text{cm}$  ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ



รูปที่ ก-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ของ MSM โดยมีระยะ  $d = 20 \mu\text{m}$  (มีการเติมอะตอมทอง) ,  $1.57 \Omega\text{cm}$  ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ

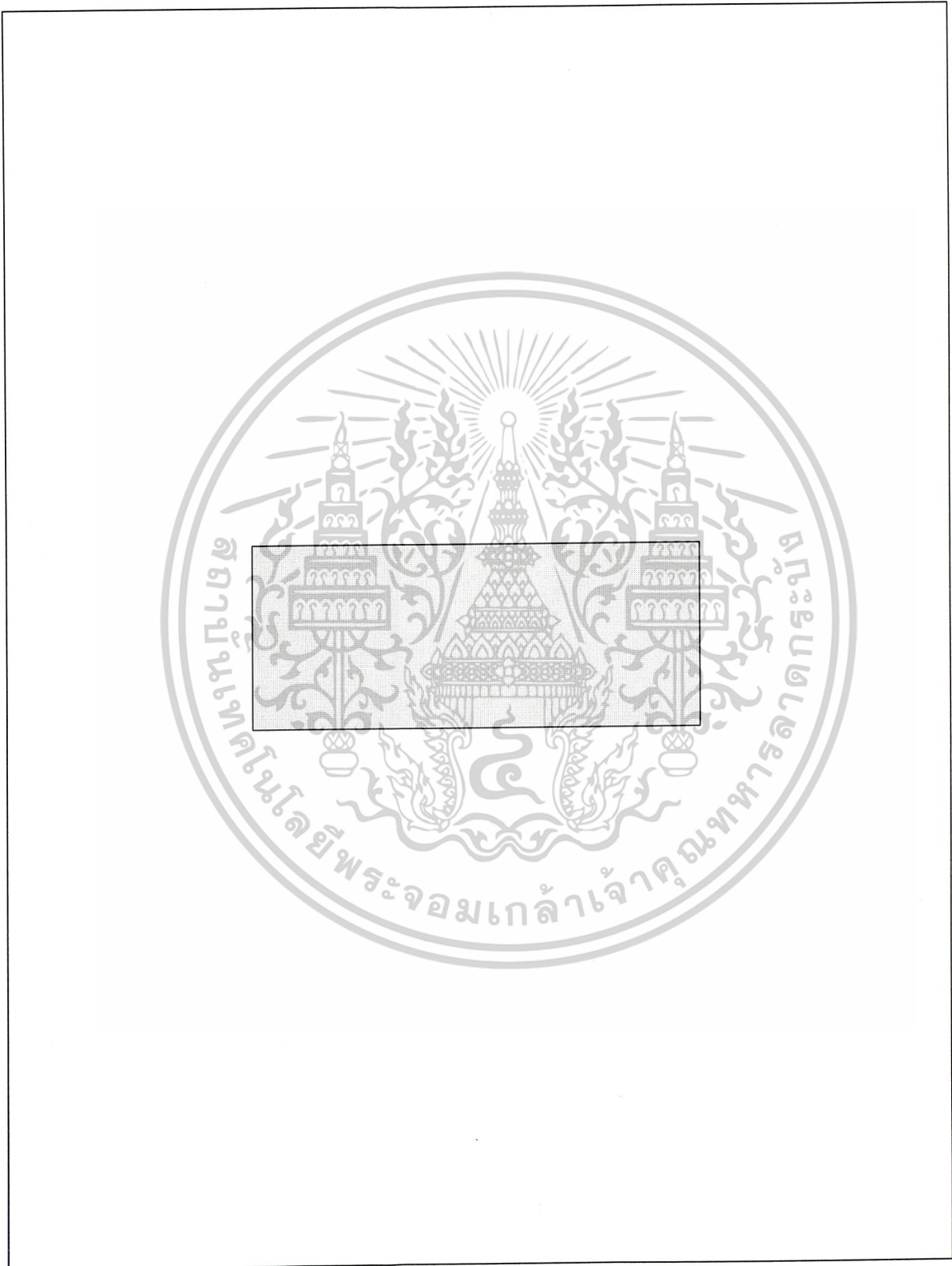


รูปที่ ก-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ของ MSM โดยมีระยะ  $d = 500 \mu\text{m}$  (มีการเติมอะตอมทอง) ,  $1.57 \Omega\text{cm}$  ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ



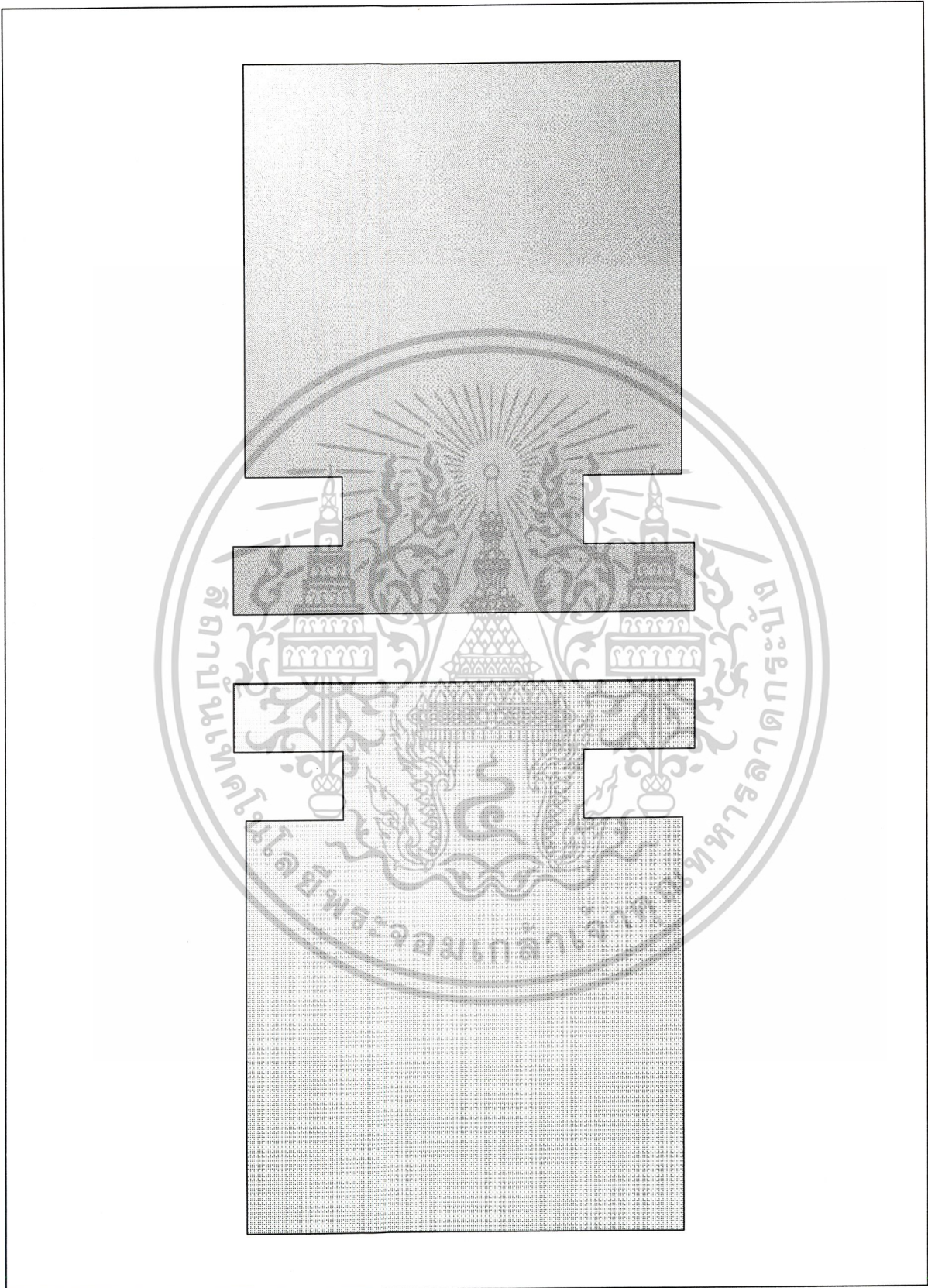
รูปที่ ก-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง-แรงดัน ของ MSM โดยมีระยะ  $d = 200 \mu\text{m}$  (ไม่มีการเติมอะตอมทอง) ,  $1.57 \Omega\text{cm}$  ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ

## ต้นแบบ Mask ที่ใช้ในการสร้าง MSM ที่มีโครงสร้างแบบ Al / n-Si / Al



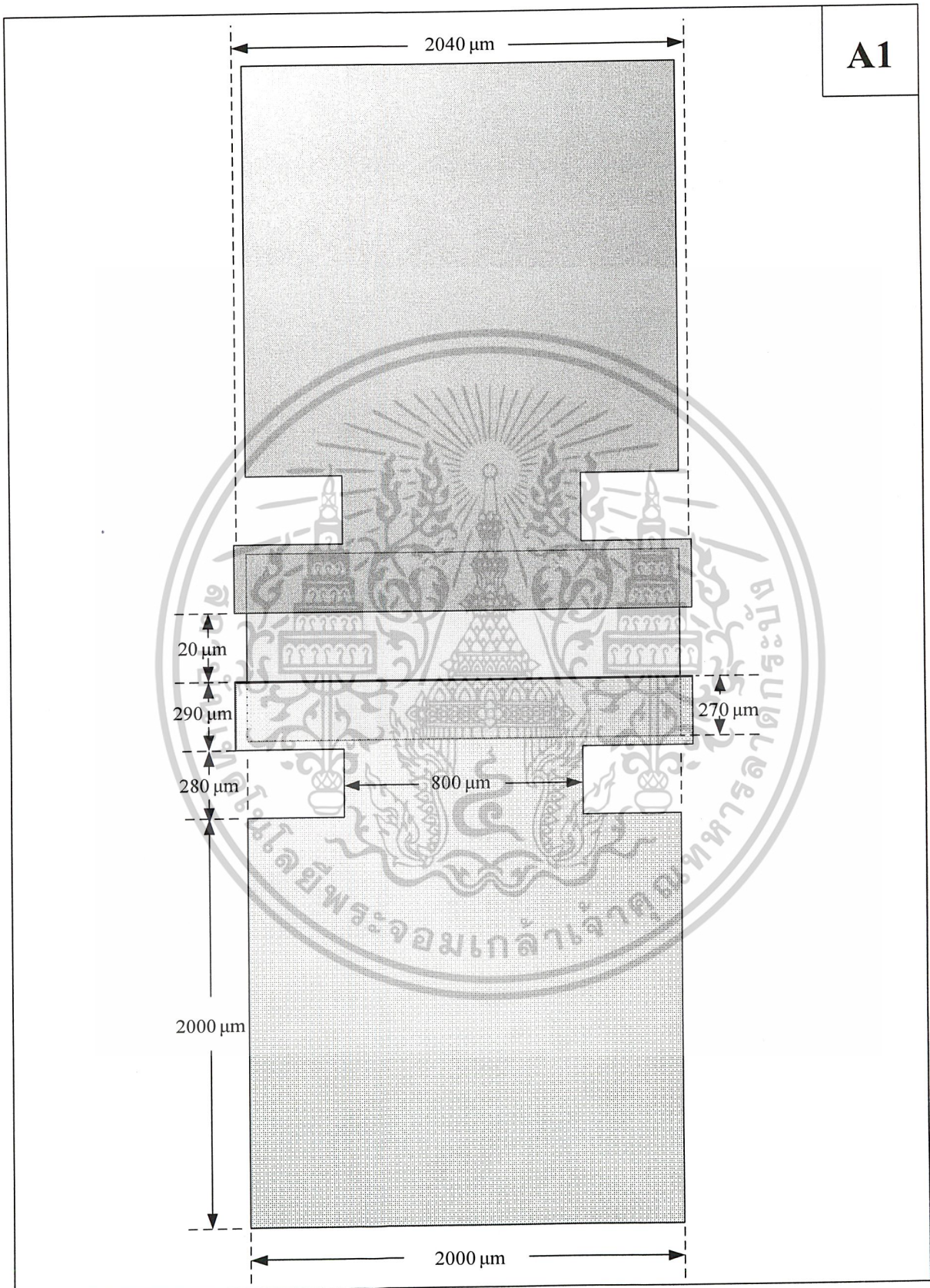
รูปที่ ข-1 ลักษณะของ Mask 1 หรือ Oxide Mask (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



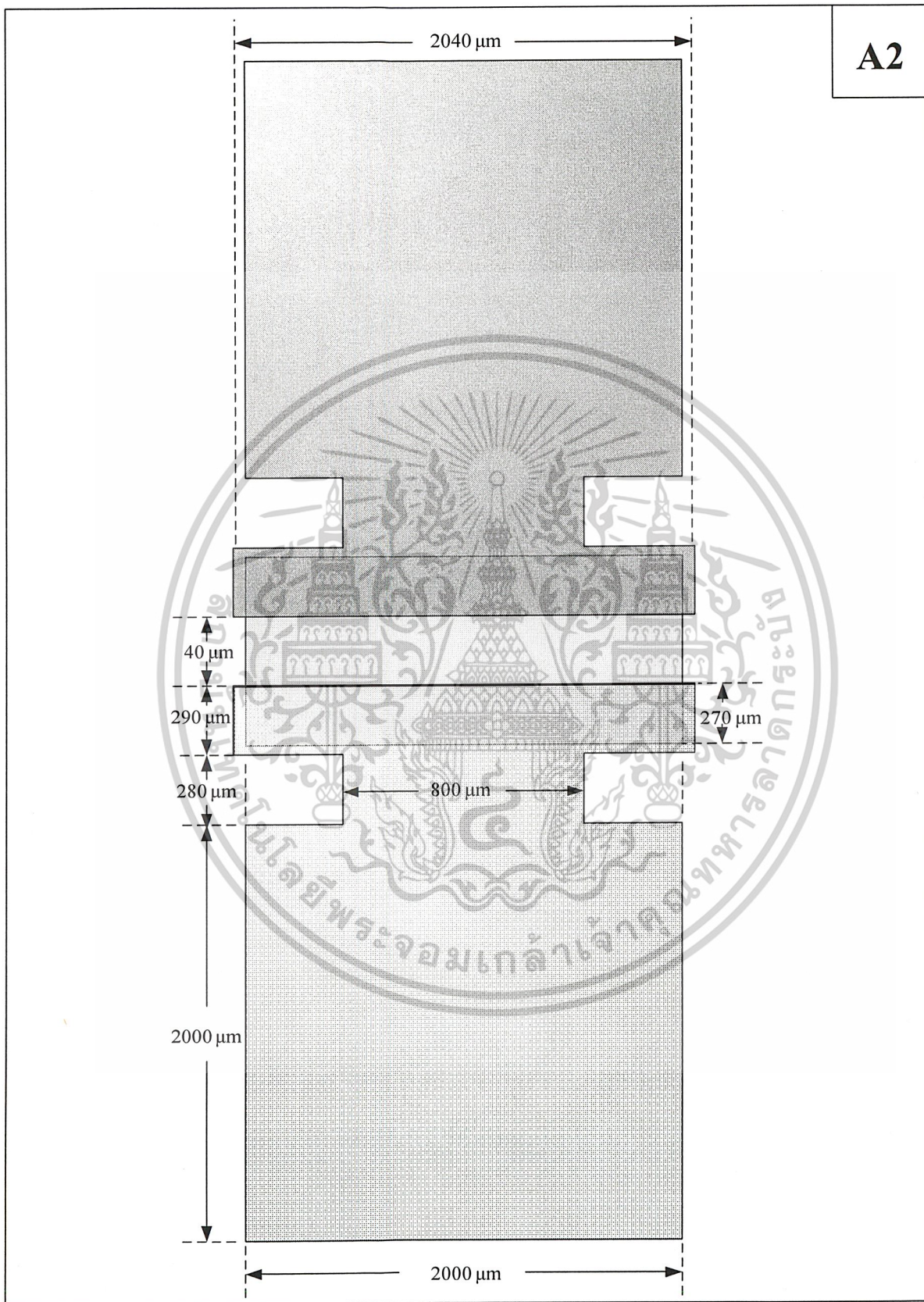
รูปที่ ข-2 ลักษณะของ Mask 2 หรือ Metal Mask (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



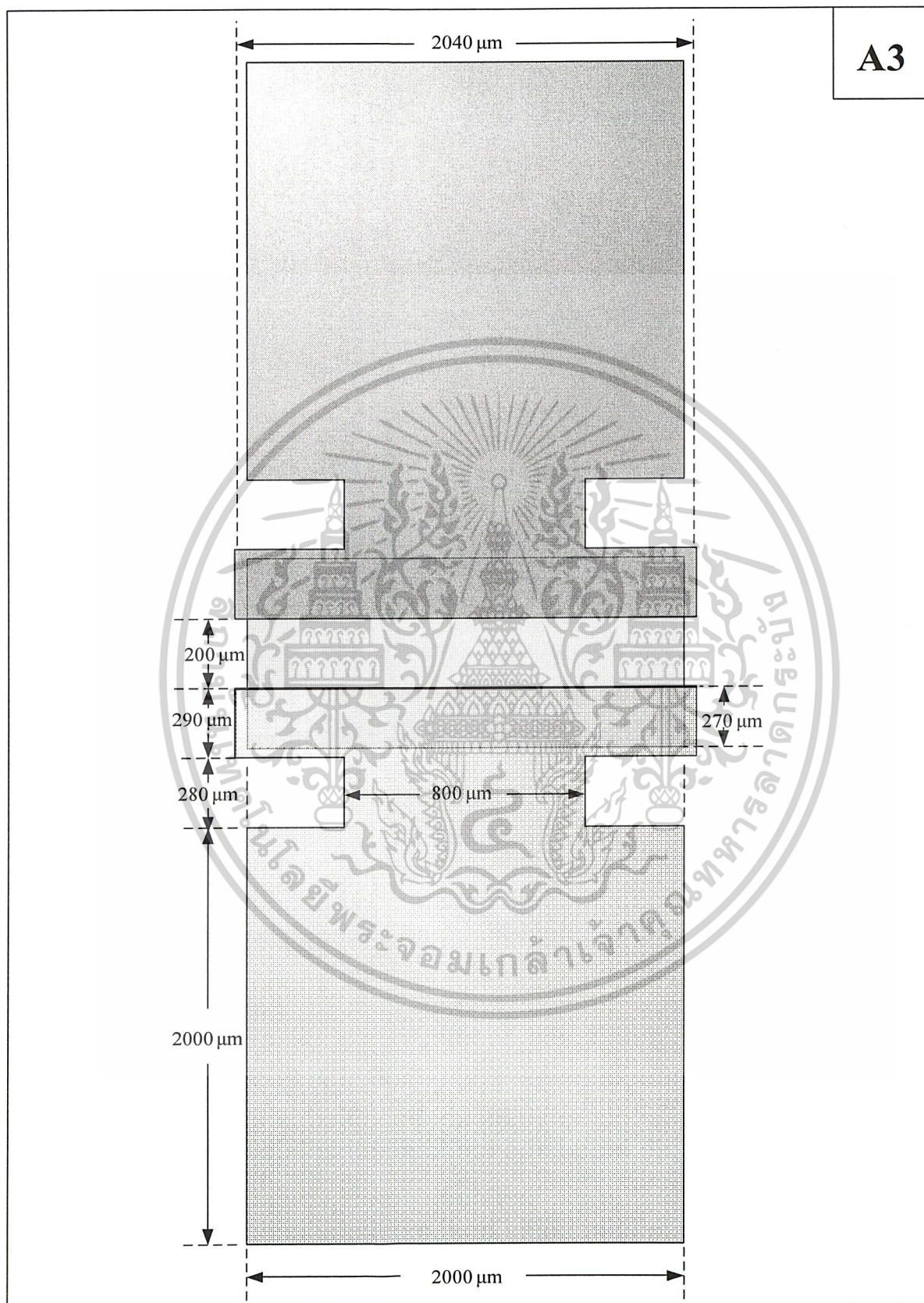
รูปที่ ข-3 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ A1 (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



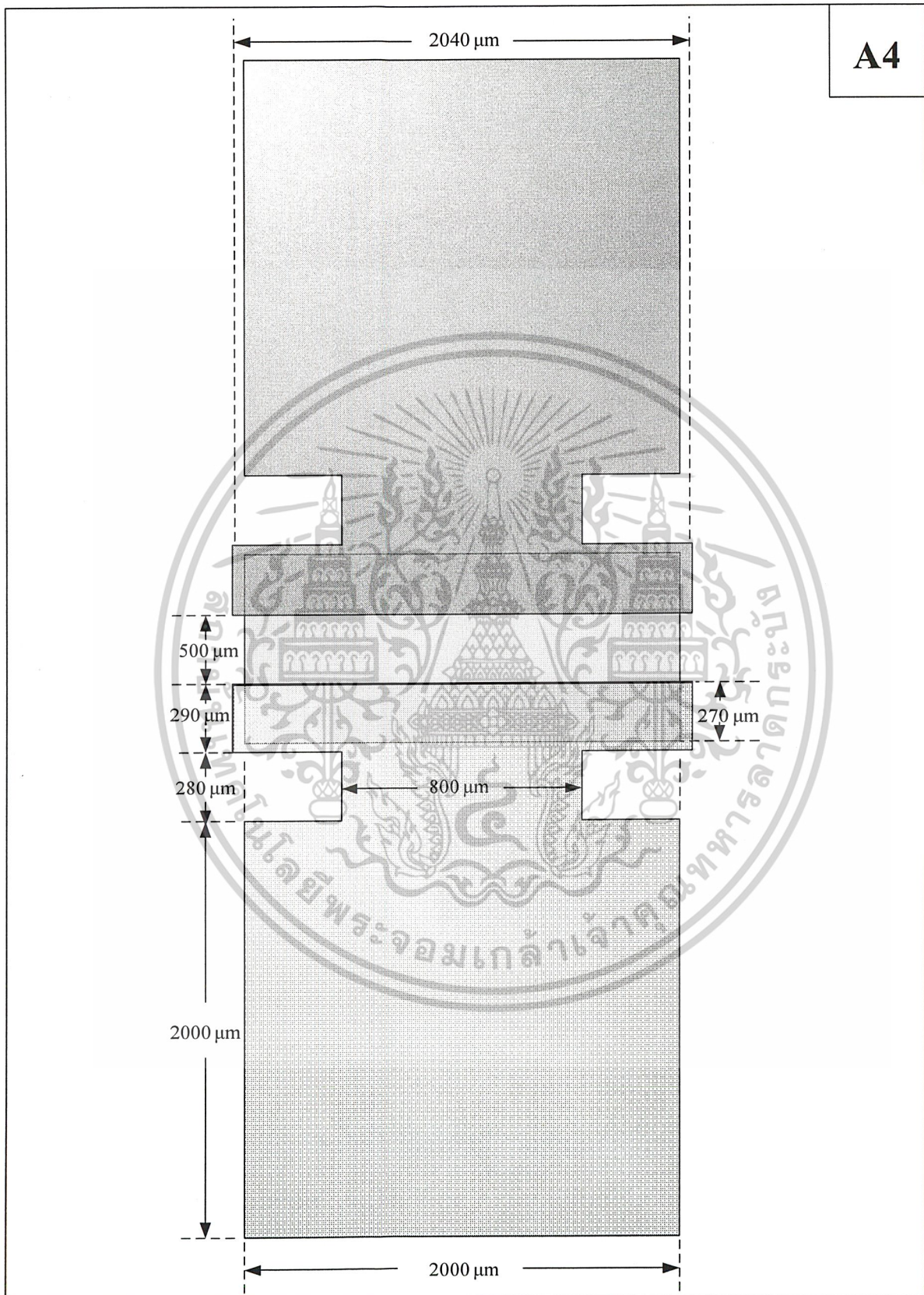
รูปที่ ข-4 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ A2 (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



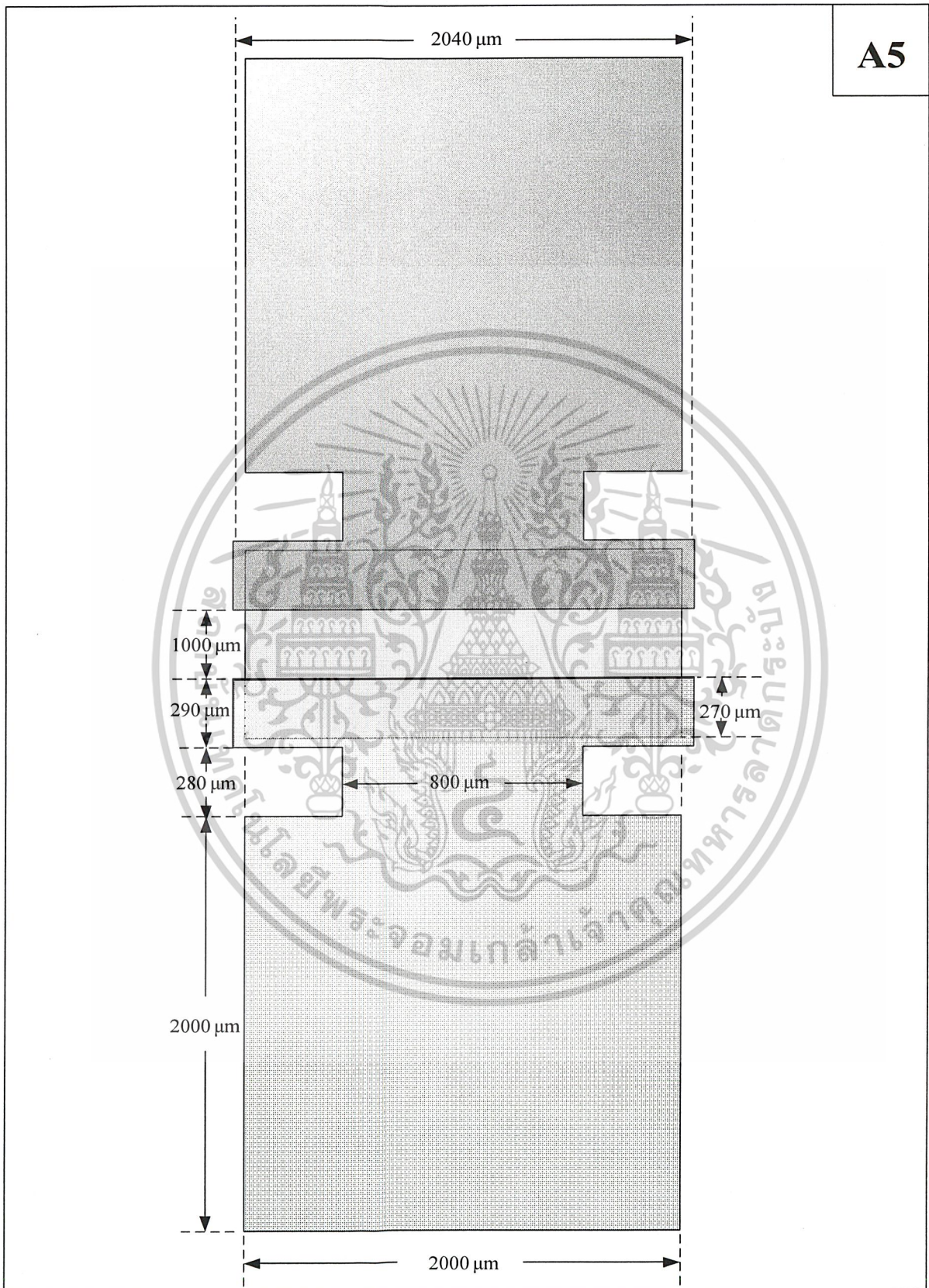
รูปที่ ข-5 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ A3 (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-6 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ A4 (Top View)

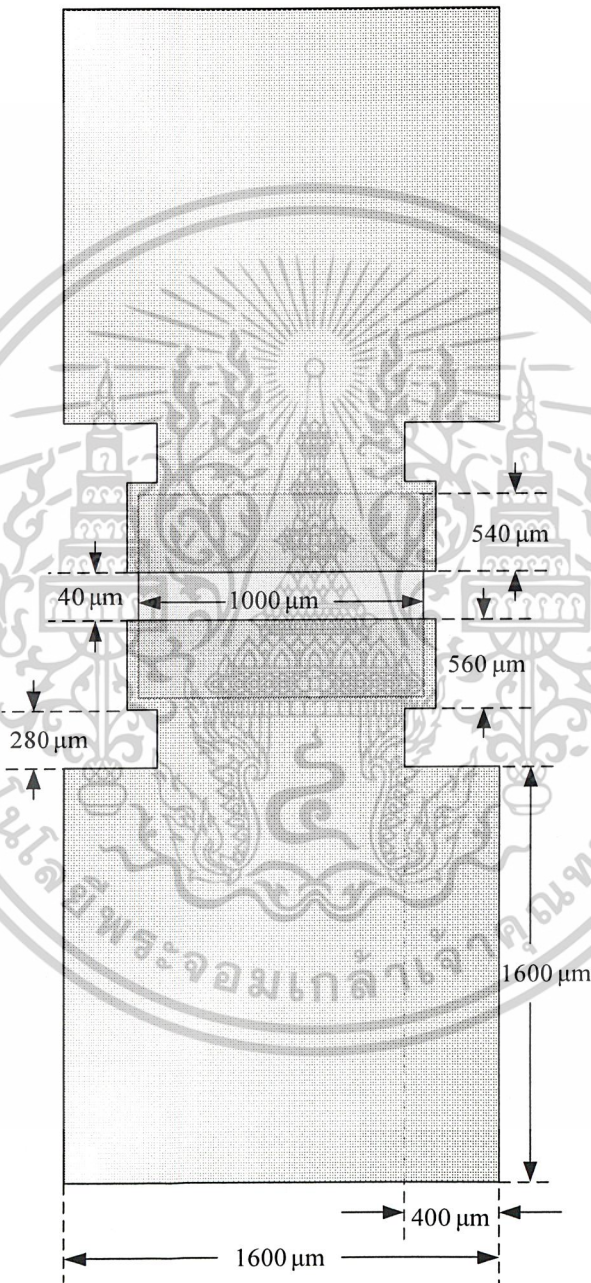
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-7 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ A5 (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

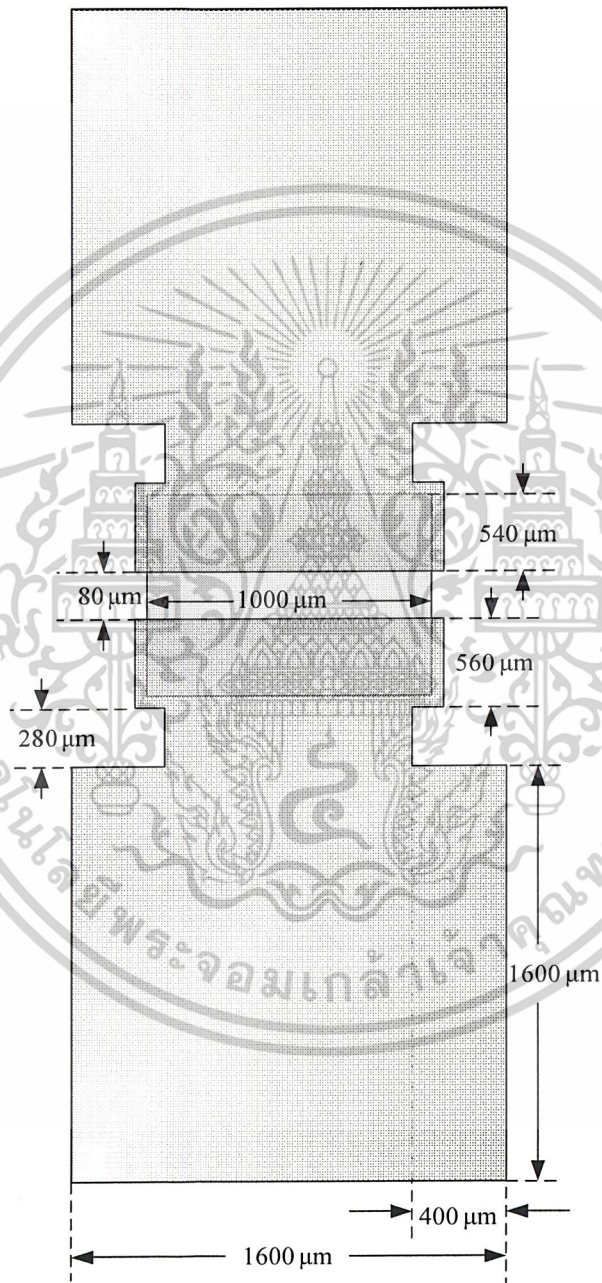
C1



รูปที่ ข-8 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ C1 (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

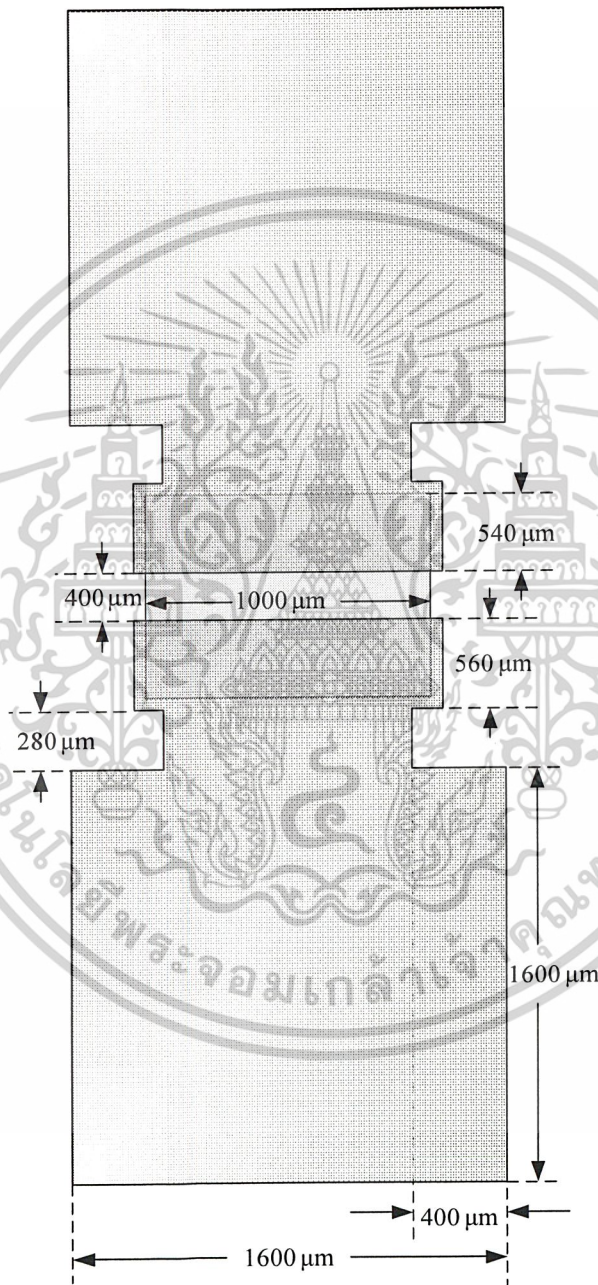
C2



รูปที่ ข-๑ ลักษณะของตัวอุปกรณ์ C2 (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C3

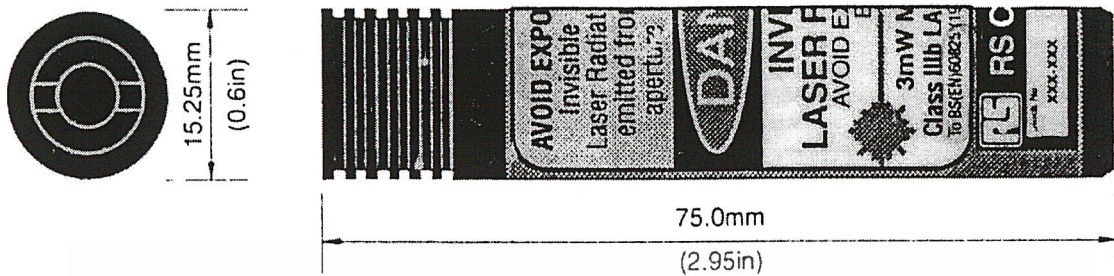


รูปที่ ข-10 ลักษณะของตัวอุปกรณ์ C3 (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### คู่มือการใช้ Modulate laser diode modules



Weight : 55 g

Material : Black finish brass

รูปที่ ค-1 ลักษณะทั่วไปของ Modulate laser diode modules

#### Introduction

These devices have been designed as complete laser diode systems for OEM use and although their output power have been set in accordance with BS(EN)60825, they are not certified lasers as defined in the specification. When incorporated in a piece of equipment, it may be necessary for additional safety features to be added before equipment complies fully with the standard. Read BS(EN)60825 before using any of these products.

#### Description

These laser modules consist of a laser diode, lens and driver circuit housed in a metal case. Electrical connections are made via flying leads. The lens is a single aspheric element that produces a high quality collimated beam over a long distance. Its position can be adjust to bring the beam to a focused spot using the special key provided. The standard collimating lens may be replaced by a line-generating lens which produces a fan shaped beam that can be focused to a fine, straight line.

#### Laser safety

All laser devices produce beam of intense monochromatic light which can present potential biological hazards. These hazard depend on a number of factors including the wavelength, the power or energy of the beam and emission duration. The eye is the most vulnerable organ as it

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

will tend to focus light from the laser on to the retina, thereby increasing the energy density many times. RS stock no. 111-368 emits an invisible beam of light and requires the greatest care, protective goggles should be worn when using this product. More information can be found in the latest RS Data Sheet. Laser safety is covered by BS(EN)60825 which is essential reading for all laser users.

### **Power supplies and earthing**

These laser modules can be run from an unregulated supply within the range of  $-8$  to  $-12$  volts. By operating at the lower end of the power supply range ( $-8$  volt), less heat will be dissipated within the device and hence the expected life will increase. This may be particularly necessary for applications where they operate in a high ambient temperature. It is advisable for any floating power supplies to have the '0' volts connection (and if used, the heatsink) taken to ground. If this is not done, then in electrically noisy environments, the power supply leads can act as aerials. Under these conditions any noise picked up can damage the laser module. If a heatsink is not used, then the barrel of the laser module should be grounded. For all laser modules, the case is isolated from the supply voltages.

### **Modulation**

The modulation signal applied may be of any waveform, sinusoidal, digital or a mixture of both. It is essential however that its voltage does not exceed  $+7$  volts or go below  $-1$  volt relative to the 0 volt connection. If the  $500\text{ m}_{\text{Vp-p}}$  signal is exceeded then premature failure could occur due to thermal effects. The modulation input is ac coupled. The impedance of the modulation input is  $50\ \Omega$ . Ideally at all frequencies a  $500\ \Omega$  coaxial cable should be used, driven from source with a  $50\ \Omega$  output impedance. At frequencies below  $1\ \text{MHz}$  however, this is not always necessary.

### **Interlock**

The interlock input is provided to allow a keyswitch or some other contacts to be used to turn the laser on or off. The 'enable' time is approximately  $15\ \text{ms}$ . The interlock input must be connected to 0 volts to 'enable' the laser. Any voltage applied to this input must not exceed  $+2.5$  volts or be less than  $-5$  volts.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TTL disable

A TTL Disable function is provided which can be used to turn the laser off and on. The 'enable' time for this input is the same as the interlock, approximately 15 ms. An input voltage above 4 volts will turn the laser off. When not in use, this input can be left floating or if preferred, connected to 0 volts. Any voltage applied to this input should not exceed +7 volts or be less than -3 volts.

## Heat sink requirements

When operating above their minimum supply voltage and(or) at elevated temperatures above 30 °C ambient, additional heat sinking must be used. If the case temperature of the embedded laser diode should exceed its maximum specification. Premature or even catastrophic failure may occur. The latest RS Data Sheet give full details on how to determine the optimum heat sink requirements for the particular model and operating conditions.

## Laser classification

Depending on the version, the laser diode modules produce continuous wave radiation with a nominal wavelength of between 670 and 785 nm. While they are classified as OEM devices, they conform to the wavelength and out put power conditions of either class 11 or class 3b laser product of the type shown below. For and OEM laser diode module to comply with the full requirements of a certified laser product as described in BS(EN)60825, it may need the addition of a visible 'on' indicator, a beam shutter and a key switch. However, any product which incorporates a laser must be certified in its own right, irrespective of whether in incorporated laser is certified or not. The way in which the laser is used with in the product may also alter its original classification. It is therefore the responsibility of the manufacturer of the end product to ensure compliance with the relevant standard. Further information on the classification of laser is given in the in the latest RS Data Sheet and in the standard BS(EN)60825.

<b>ตารางที่ ค-1 General Characteristics</b>
---

Parameter	Value / RS stock no.			Unit
	564-504	194-004	111-368	
Nominal wavelength	670	670	785	nm
Maximum power output	1	3	3	mW
Typical power output stability (@20°C)	2			%
Typical power output temperature dependence	15			μW/°C
Operating voltage	-8 to 12			V
Typical operating current at minimum voltage	75	85		mA
Typical operating current at maximum voltage	110	115		mA
Intensity variation with supply variation	0.6			%/V
TTL disable voltage	> 4			V
Maximum TTL pulse rate	10			Hz
Interlock 'enable'	-5 to +2.5-5 to +2.5			V
Modulation type	analogue or digital			
Modulation signal level into 50Ω for linear response	500 mV <sub>r-p</sub>			
Modulation frequency bandwidth (-3 dB point)	100 Hz to 50 MHz			
Frequency range	100 Hz to 100 MHz			
Modulation depth (Pulse)	90			%
Mean time to failure (MTTF) @ 30 °C	80,000	20,000	32,000	hours
Connection	250 mm flying leads			
Black lead	-ve supply			
Green lead	0			V
Blue lead	TTL disable			
White lead	Interlock			
Yellow and green twisted pair	Modulation input			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ ก-2 Optical Characteristics

Parameter	Value / RS stock no.			Unit
	564-504	194-004	111-368	
Beam size	3.5 × 2.5	4.5 × 2.5		mm
Maximum focus (lens extended)	25			mm
Spot size at minimum focus	100			μm
Polarization ratio	80:1	100:1	60:1	
Pointing stability	< 0.05			mRad
Output aperture diameter	3.5	6.0		mm
Angular deviation (beam to case)	< 5			mRad

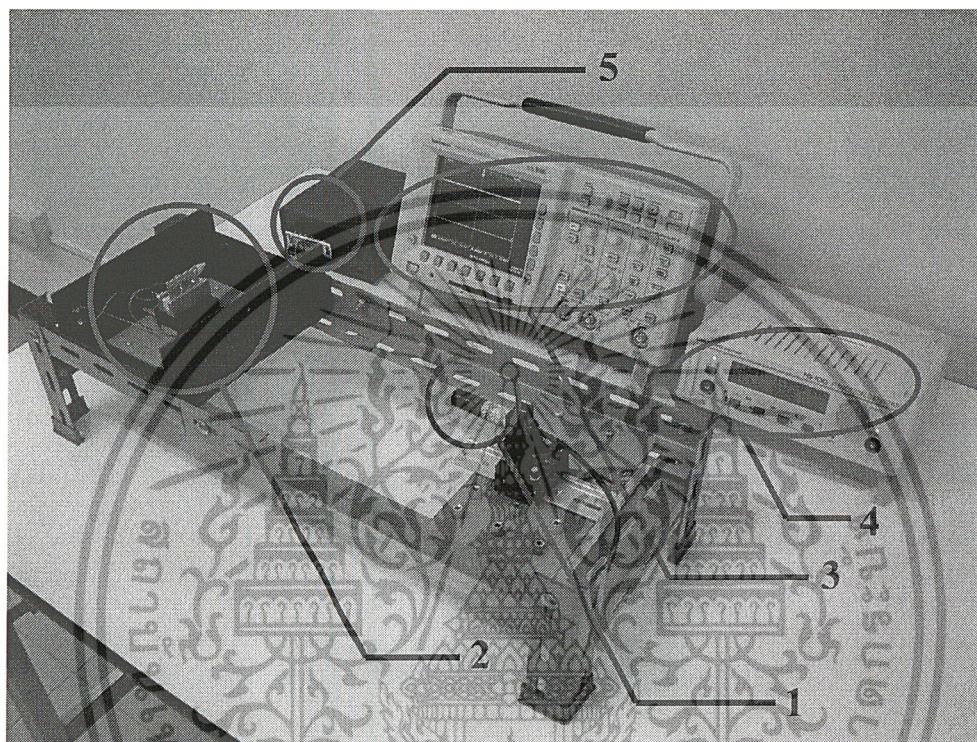
### ตารางที่ ก-3 Absolute Maximum Ratings

Parameter	Value / RS stock no.	
	564-504 194-004	111-368
Supply voltage	-12.7 V	
TTL disable input	-3 to +7 V	
Modulation input voltage(DC component)	-1 to +7 V	
Interlock input voltage	-5 to +2.5 V	
Operating temperature	-10 to 40 °C	-10 to 50 °C
Storage temperature	-40 to 85 °C	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

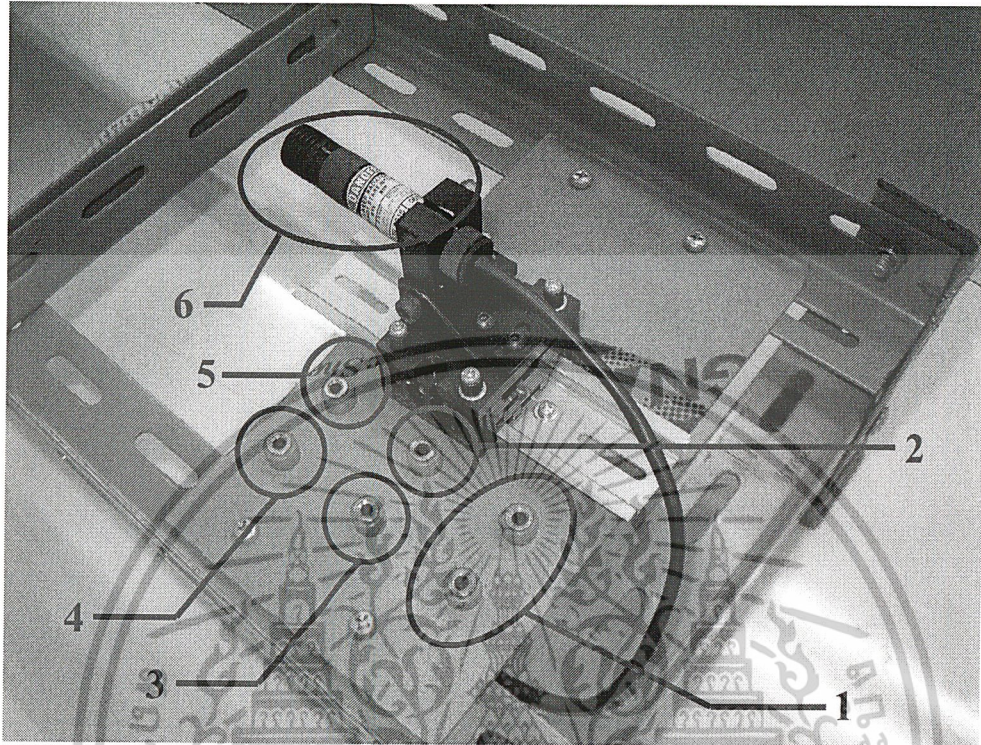
### ส่วนประกอบของเครื่องมือวัด Photo Response



รูปที่ ง-1 ลักษณะของเครื่องมือวัด Photo Response

1. แหล่งกำเนิดแสง Laser ที่มีความยาวคลื่น 670 nm กำลังงาน 2.8 mW
2. Black box
3. Oscilloscope
4. Function Generator
5. Power Supply

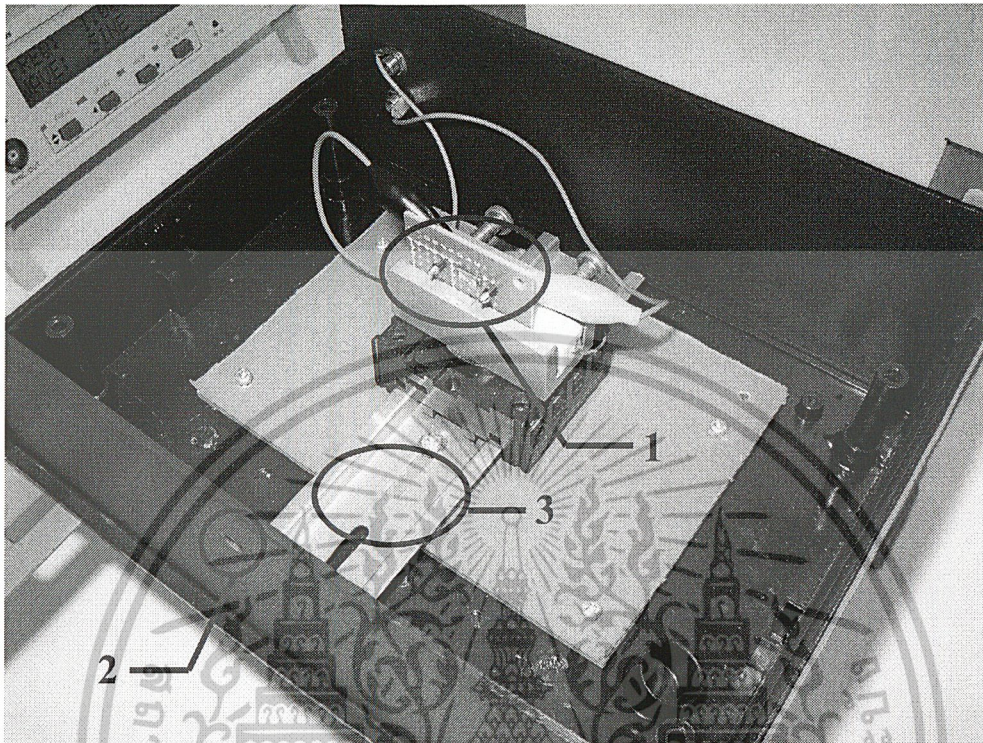
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-2 ลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง laser

1. Modulation input
2. -ve supply (-8 ถึง -12 V)
3. Ground (0 V)
4. Interlock
5. TTL disable
6. Laser diode module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-3 ลักษณะภายในของ *Black box*

1. MSM Photodetector
2. ช่องแสงสำหรับ Laser
3. รางเลื่อนปรับระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก จ**  
**ค่าคงที่ทางฟิสิกส์**

มวลนิ่งของอิเล็กตรอน(rest mass of an electron)	$m_e$	$9.109 \times 10^{-31}$ kg.
มวลนิ่งของโปรตอน(rest mass of proton)	$m_p$	$1.672 \times 10^{-27}$ kg.
มวลนิ่งของนิวตรอน(rest mass of nuetron)	$m_n$	$1.675 \times 10^{-27}$ kg.
ประจุอิเล็กตรอน(electron charge)	$q$	$1.602 \times 10^{-19}$ C.
อัตราส่วนระหว่างประจุ กับมวลนิ่งของอิเล็กตรอน	$q/m_e$	$1.76 \times 10^{11}$ C/kg.
ค่าคงที่ของแพลงค์ (Planck's constant)	$h$	$6.626 \times 10^{-34}$ J-sec
		$4.136 \times 10^{-15}$ eV-sec
	$\hbar = h/2\pi$	$1.055 \times 10^{-34}$ j-sec
ค่าคงที่ของโบลทซ์มันน์(Boltzmann 's constant)	$k$	$1.381 \times 10^{-23}$ j/K
		$8.617 \times 10^{-5}$ eV/K
เลขอะโวกาโด(Avogadro's number)	$N_0$	$6.023 \times 10^{26}$ (k mol) <sup>-1</sup>
ความเร็วแสงในสุญญากาศ(speed of light in space)	$c$	$2.998 \times 10^8$ m/sec
ค่าคงที่ของแรงคูลอมบ์(Coulomb force constant)	$1/4\pi\epsilon_0$	$8.988 \times 10^9$ N.m <sup>2</sup> /c <sup>2</sup>
อัตราส่วนมวล โปรตอนและอิเล็กตรอน	$m_p/m_e$	1836
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสุญญากาศ(Permittivity Of free space)	$\epsilon_0$	$8.854 \times 10^{-12}$ c <sup>2</sup> /N.m <sup>2</sup> (F/m)
ค่าเปอร์มิอะบิลิตีในสุญญากาศ(permeability Of free space)	$\mu_0$	$1.257 \times 10^{-6}$ T.m/A(H/m)
รัศมีของบอห์ร(Bohr radius)	$a_0$	$5.292 \times 10^{-11}$ m.
ค่าคงที่ของริดเบิร์ก(Rydberg constant)	$R$	$1.097 \times 10^7$ m <sup>-1</sup>
ค่าคงที่ของสเตฟาน(Stafan's constant)	$\sigma$	$5.67 \times 10^{-8}$ W/m <sup>2</sup>
ค่าบอห์รแมกนีตอน(Bohr magneton)	$\mu_B$	$9.273 \times 10^{-24}$ J/T
ค่าอิเล็กตรอน โวลต์ ( 1 electron -volts)	eV.	$1.602 \times 10^{-19}$ J
ค่าพลังงานจูล ( 1 Joule)	$J$	$6.242 \times 10^{18}$ eV.
ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute temperature)	$K$	°C +273.15 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้