

# ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะที่มี กระแสแสงสูง โดยใช้ขั้วโลหะโปร่งใส

## High Photocurrent of Metal-Semiconductor-Metal Photodetector using Transparent Electrodes

ศุภศักดิ์ เนียมเจริญ

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสร้าง และการวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงแบบกระแสตรง (dc) ของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะที่สร้างบนฐานรองซิลิคอนชนิดเอ็น โดยใช้ชั้นโปร่งใสอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) เป็นขั้วไฟฟ้าที่มีลวดลายแบบอินเตอร์ดิจิตัล จากการทดลองพบว่าตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (S), ความกว้างของขั้วไฟฟ้า (W), ความยาวของขั้วไฟฟ้า (L) และ จำนวนขั้วไฟฟ้า (N) เป็น 40  $\mu\text{m}$ , 20-80  $\mu\text{m}$ , 1.5 mm และ 8 ขั้ว ตามลำดับ จะมีกระแสแสงมากกว่าตัวตรวจวัดแสงที่สร้างขึ้นด้วยโลหะทึบแสงจากโลหะอลูมิเนียม (Al) ที่มีขนาดเดียวกัน 4-12 เท่า ที่แรงดัน 5 V และความเข้มแสง 15,000 lux

**คำสำคัญ :** โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ; ตัวตรวจวัดแสงแบบสารกึ่งตัวนำ; ขั้วโลหะโปร่งใส; อินเดียมทินออกไซด์/เอ็น-ซิลิคอน/อินเดียมทินออกไซด์; อุปกรณ์ทางแสงแบบเชิงราบ

### Abstract

This paper reported the fabrication and the direct current (dc) characteristics of electrical and optical properties of the n-silicon based metal-semiconductor-metal photodetector using a transparent indium tin oxide (ITO) layer for the interdigitated electrodes. The experimental results showed that the ITO/n-Si/ITO and the aluminum (Al) opaque electrodes photodetectors, with electrode spacing (S), electrode width (W), electrode length (L) number of electrode (N) of 40  $\mu\text{m}$ , 20-80  $\mu\text{m}$ , 1.5 mm and 8 electrodes, respectively, were fabricated on the same silicon wafer. The photocurrent of the ITO/n-Si/ITO photodetectors are higher than the Al/n-Si/Al photodetectors about 4-12 times at voltage = 5 V and intensity of light = 15,000 lux.

**Key words :** Metal-semiconductor-metal; Semiconductor photodetector; Transparent electrode; ITO/n-Si/ITO; Planar optical device

### 1. บทนำ

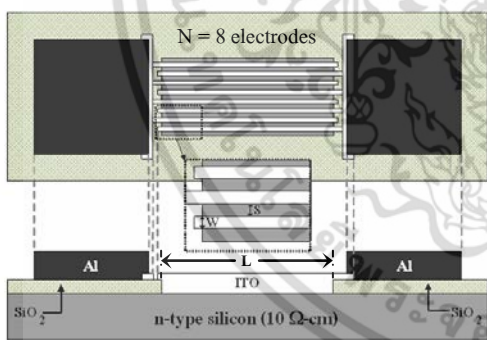
ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (metal-semiconductor-metal : MSM) เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง และมีศักยภาพที่นำไปใช้เป็นอุปกรณ์

ทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีข้อได้เปรียบตัวตรวจวัดแสงชนิดอื่นๆ เพราะว่ามีค่าความจุไฟฟ้าต่ำ (ระดับ fF) [1], [2] กระแสมืดต่ำ (ระดับ nA) [2-4] และสัญญาณรบกวนน้อย [5], [6] ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ประกอบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยข้อไฟฟ้าแบบซ็อคติย์ที่มีลวดลายแบบอินเตอร์ดิค-  
เตทด้านบนของสารกึ่งตัวนำ เพื่อเพิ่มพื้นที่ส่วนรับแสง  
ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยทั่วไปแล้วโครงสร้าง MSM เป็น  
แบบเชิงราบ กระบวนการสร้างสอดคล้องกับเทคโนโลยี  
การสร้างวงจรรวมแบบ CMOS [2] ซึ่งง่ายต่อการพัฒนา  
เป็นวงจรรวมทางแสง (optical integrated circuits)

อย่างไรก็ตามจากการศึกษา พบว่าตัวตรวจวัดแสง  
โครงสร้าง MSM ที่สร้างขึ้นด้วยโลหะทึบแสง กระแส  
แสงมีค่าไม่สูงมากนัก [7] เนื่องจากลวดลายขั้วโลหะเป็น  
แบบทึบแสง (opaque electrodes) เช่น อลูมิเนียม (Al),  
โครเมียม (Cr) และ โมลิบดีนัม (Mo) เป็นต้น แสงที่ตก  
กระทบที่บริเวณขั้วโลหะทึบแสงจะสะท้อนออกไป ทำ  
ให้พื้นที่รับแสงอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง (electrode  
spacing : S) เท่านั้นที่เปลี่ยนแสงเป็นกระแสไฟฟ้า (sha-  
dowing effect) ถ้าเปลี่ยนลวดลายของขั้วโลหะทึบแสง  
เป็นขั้วโลหะโปร่งใส (transparent electrodes) จะทำให้  
ได้รับกระแสแสงเพิ่มขึ้นจากบริเวณปอดคพาหะที่อยู่ใต้  
ขั้วโลหะโปร่งใส ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายในการเพิ่มความไวใน  
การตรวจจับแสงในภาวะที่แสงมีความเข้มต่ำๆ ได้ดี



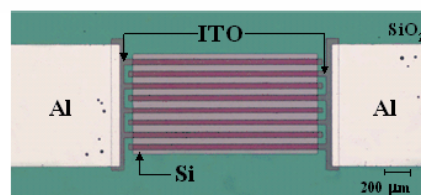
**รูปที่ 1** ภาพด้านบนและภาคตัดขวางของตัวตรวจวัดแสง  
โครงสร้าง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีลวดลายแบบ  
อินเตอร์ดิคเตท โดยที่ S คือ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า,  
W คือ ความกว้างของขั้วไฟฟ้า, L คือ ความยาวของ  
ขั้วไฟฟ้า และ N คือ จำนวนขั้วไฟฟ้า หรือฟิงเกอร์

ในบทความนี้นำเสนอการสร้าง และการวัดลักษณะ  
สมบัติทางไฟฟ้า และทางแสงแบบกระแสตรง (dc) ของ  
ตัวตรวจวัดแสง โครงสร้าง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO  
และยังได้เปรียบเทียบผลการทดลองกับตัวตรวจวัดแสง

โครงสร้าง MSM ที่มีอลูมิเนียมเป็นขั้วโลหะทึบแสง  
(Al/n-Si/Al) ที่มีขนาดเดียวกันด้วย

## 2. การเตรียมชิ้นงาน

การสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ชนิด  
ITO/n-Si/ITO เริ่มต้นโดยนำแผ่นผลึกซิลิคอนชนิด n ที่  
มีสภาพต้านทานไฟฟ้า ( $\rho$ ) 5-10  $\Omega$ -cm ระบายผิวหน้า  
ผลึก (100) ความหนาของแผ่นผลึกประมาณ 400  $\mu\text{m}$  มา  
ทำความสะอาด จากนั้นนำไปสร้างชั้นซิลิคอนไดออก-  
ไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) หนา 400 nm แล้วเปิดชั้น  $\text{SiO}_2$  เพื่อสร้าง  
เป็นส่วนรับแสง และรอยสัมผัสระหว่างชั้น ITO กับแผ่น  
ซิลิคอน (ITO/n-Si) ด้วยกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี  
แบบมาตรฐาน แล้วตามด้วยการสร้างลวดลายแบบ  
อินเตอร์ดิคเตทของฟิล์มบาง ITO โดยใช้เทคนิคลิฟออฟ  
(lift off technique) สำหรับฟิล์มบาง ITO สร้างจากเครื่อง  
อาร์เอฟสปีเตอร์ (radio frequency/RF sputtering) ที่ใช้  
กำลังไฟฟ้า 100 W เป็นเวลา 30 นาที ฟิล์มบาง ITO มี  
ความหนาประมาณ 500 nm ซึ่งวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์  
แบบส่องกราด (scanning electron microscope : SEM)  
จากแหล่งจ่ายอินเดียมทินออกไซด์บริสุทธิ์ (99.99% ของ  
บริษัท Kurt J. Leskar) ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่าง 90  
wt%  $\text{In}_2\text{O}_3$  กับ 10 wt%  $\text{SnO}_2$  (ฟิล์มบาง ITO จากการ  
สปีเตอร์ไม่ได้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนใดๆ  
ระหว่างการสร้างและหลังจากการสร้างฟิล์ม) จากนั้น  
สร้างลวดลายโลหะอลูมิเนียมด้วยเทคนิคการระเหยใน  
สุญญากาศ เพื่อสร้างเป็นส่วนเชื่อมต่อภายนอก สำหรับ  
ตัวตรวจวัดแสง ชนิด Al/n-Si/Al มีกระบวนการสร้าง  
ดังที่เคยได้นำเสนอไว้แล้วในบทความก่อนหน้านี้ [8]  
โดยสร้างให้อลูมิเนียมมีความหนาประมาณ 300 nm



**รูปที่ 2** ตัวตรวจวัดแสงแบบอินเตอร์ดิคเตท ชนิด ITO/n-  
Si/ITO ซึ่งสร้างเสร็จแล้ว โดยมีระยะ S = 60  $\mu\text{m}$ , W =  
40  $\mu\text{m}$ , L = 1.5 mm และ N = 8 ขั้ว

จากนั้นจึงนำตัวตรวจวัดแสงที่สร้างเสร็จแล้วทั้งสองชนิด ไปวัดสมบัติทางไฟฟ้า และทางแสงต่อไป โดยทุกการทดลองทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง ในรูปที่ 2 เป็นตัวอย่างชิ้นงานของ MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่สร้างเสร็จแล้ว

### 3. การทดลอง และผลการทดลอง

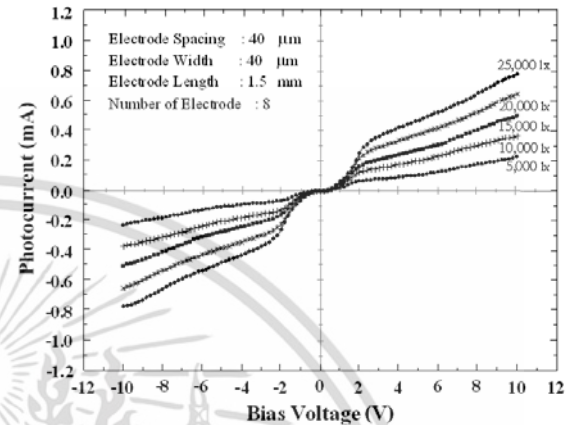
จากการทดสอบสมบัติของฟิล์มบาง ITO ในเบื้องต้น [9] พบว่าฟิล์มบาง ITO ที่มีความหนาประมาณ 500 nm มีสภาพต้านทาน ( $\rho$ )  $1.1 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$ , ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ( $n$ )  $4.2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ , ความคล่องตัวของอิเล็กตรอน ( $\mu_n$ )  $10.9 \text{ cm}^2/\text{V-s}$  และเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง 85% [10] และเมื่อนำไปสร้างเป็นตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO พบว่ากระแสมีค่าน่าประมาณ  $1.5 \text{ pA}/\mu\text{m}^2$  (ที่แรงดัน 5 V) เมื่อนำไปหาความสูงกำแพงศักย์ช็อคก็ยมีค่า  $0.74 \text{ eV}$  และนำไปเปรียบเทียบกับตัวตรวจวัดแสง ชนิด Al/n-Si/Al กระแสมีค่าและความสูงกำแพงศักย์ช็อคก็ยมีค่าประมาณ  $1.3 \text{ pA}/\mu\text{m}^2$  (ที่แรงดัน 5 V) และ  $0.72 \text{ eV}$  ตามลำดับ ซึ่งตัวตรวจวัดแสงทั้งสองชนิดนี้ กระแสมีค่าและความสูงกำแพงศักย์ช็อคก็ยมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

#### 3.1 ลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดันกับความเข้มแสง

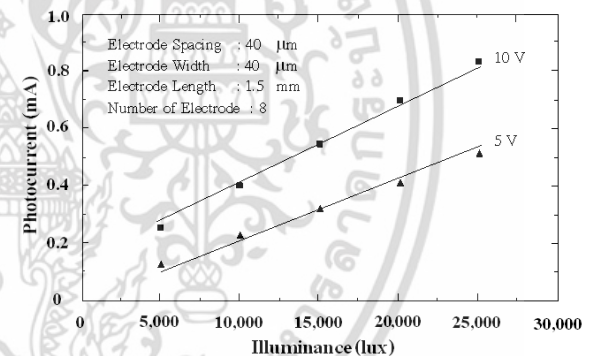
ในการทดสอบลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน (I-V) เพื่อหากระแสแสงที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ และตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของกระแสแสงกับความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฮาโลเจน ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 3, 4 และ 5

ในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO นั้น สามารถตอบสนองต่อแสงแบบกระแสตรงได้เป็นอย่างดี โดยกระแสแสงจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อให้ความเข้มแสงมากขึ้น ดังความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง และความเข้มแสงที่แสดงในรูปที่ 4 ที่แรงดันไบอัส 5 V และ 10 V และมีความเป็นเชิงเส้นที่ดี สำหรับอัตราส่วนของกระแสแสงต่อกระแสมีค่าน่าค่อนข้างสูง ( $I_{\text{photo}}/I_{\text{dark}}$ ) กล่าวคือ ที่ความเข้มแสง 25,000 lux ให้แรงดันไบอัส 5 V และ 10 V มีอัตราส่วนของกระแสแสงต่อ

กระแสมีค่าประมาณ 1,400 และ 1,900 เท่า ตามลำดับ จากลักษณะสมบัติดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบได้ว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO สามารถนำไปใช้เป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสงได้ดี แม้ความเข้มแสงที่ตกกระทบลงบนตัวตรวจวัดแสงจะมีค่าน้อยก็ตาม



รูปที่ 3 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ

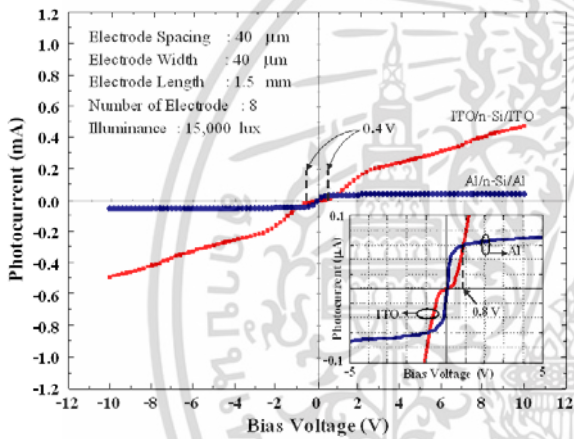


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงกับความเข้มแสง แสดงให้เห็นความเป็นเชิงเส้นที่ดีของตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO

เมื่อเปรียบเทียบกระแสแสงที่ได้จากตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO และ Al/n-Si/Al ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO ให้กระแสแสงที่สูงกว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด Al/n-Si/Al ค่อนข้างมาก โดยที่แรงดันไบอัส 5-10 V ตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO จะให้กระแสแสงที่สูงกว่าตัวตรวจวัดแสงชนิด Al/n-Si/Al ประมาณ 6-10 เท่า แต่จากลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดันในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าที่แรงดันไบอัสประมาณ 0-0.4 V กระแสแสงของตัวตรวจวัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด ITO/n-Si/ITO จะมีค่าต่ำมาก ซึ่งเป็นไปได้ว่าเมื่อให้แรงดันไบอัสแก่ตัวตรวจวัดแสง แรงดันไบอัสจะไปตกคร่อมที่บริเวณชั้นของออกไซด์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยสัมผัสระหว่าง ITO และซิลิคอนมากกว่าที่บริเวณปลอดพาหะ เนื่องจากค่าความต้านทานในชั้นออกไซด์มีค่าสูง [11-13] ดังนั้นในช่วงแรงดันไบอัสต่ำ แรงดันไบอัสจึงมีผลต่อบริเวณปลอดพาหะค่อนข้างน้อย ทำให้ยังคงมีพื้นที่ที่เกิดกระแสแสงน้อย กระแสแสงจึงมีค่าต่ำ ต่อมาเมื่อให้แรงดันไบอัสสูงขึ้นจนกระทั่งมีค่ามากพอที่จะส่งผลต่อบริเวณปลอดพาหะได้ ทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายกว้างขึ้นตามแรงดันไบอัส ดังนั้นกระแสแสงที่ได้จึงมีค่าสูงขึ้นนั่นเอง



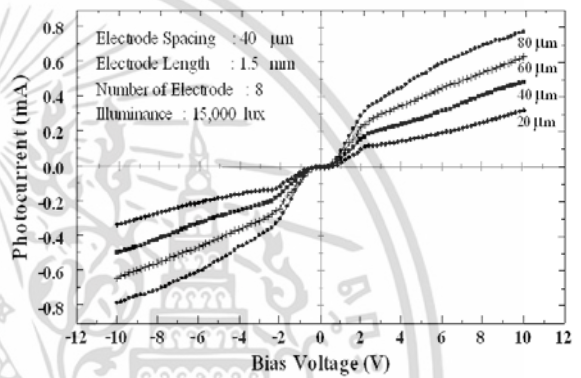
รูปที่ 5 ลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดัน เปรียบเทียบระหว่างตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO และ Al/n-Si/Al

จากลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดันจะเห็นได้ว่าที่แรงดันไบอัส 0-0.8 V กระแสแสงของตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO มีค่าน้อยกว่ากระแสแสงของตัวตรวจวัดแสง ชนิด Al/n-Si/Al ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO นั้น ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานที่แรงดันไบอัสค่าต่ำๆ หรือที่แรงดันไบอัสต่ำกว่า 0.8 V

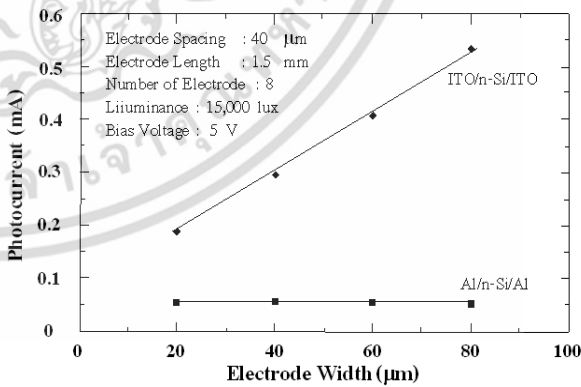
3.2 ลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดันกับความกว้างของขั้วไฟฟ้า

พิจารณาจากโครงสร้างที่แสดงในรูปที่ 1 ตัวแปรที่ทำให้กระแสแสงของตัวตรวจวัดแสงที่สร้างขึ้นจากขั้วโปร่งใสกับขั้วทึบแสงแตกต่างกัน คือ ความกว้างของขั้วไฟฟ้า (ในขณะที่ให้ระยะ S, ความยาว L และ จำนวน N คงที่เท่ากับ 40 µm, 1.5 mm และ 8 ขั้ว ตามลำดับ)

ผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของขั้วไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 6 เห็นได้ว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO นั้นมีลักษณะของกระแสแสงแปรผันตามขนาดความกว้างของขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 6 ลักษณะสมบัติกระแสแสง-แรงดันของตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของขั้วไฟฟ้า (W) ตั้งแต่ 20-80 µm



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง และความกว้างของขั้วไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO และ Al/n-Si/Al

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของขั้วไฟฟ้าต่อกระแสแสง จึงทำการ

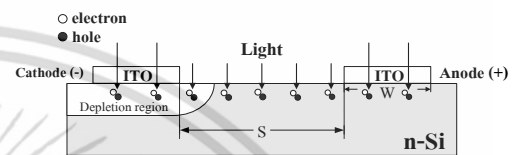
พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง และความกว้างของขั้วไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO และ Al/n-Si/Al ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระแสแสงตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความกว้างของขั้วไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ต่างจากตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ที่กระแสแสงมีลักษณะค่อนข้างคงที่ โดยพบว่าที่แรงดันไบอัส 5 V ตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO ที่เพิ่มขนาดความกว้างของขั้วไฟฟ้าไปรั้งใสขึ้น 20  $\mu\text{m}$  จะมีกระแสแสงเพิ่มขึ้นประมาณ 100  $\mu\text{A}$  ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น ในขณะที่ตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al นั้น อาจพิจารณาได้ว่ากระแสแสงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันโดยมีค่ากระแสแสงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 47  $\mu\text{A}$  เมื่อเปรียบเทียบกระแสแสงระหว่างตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO และ Al/n-Si/Al ที่แรงดันไบอัส 5 V ของตัวตรวจวัดแสง มีความกว้างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 20, 40, 60 และ 80  $\mu\text{m}$  พบว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO มีกระแสแสงสูงกว่าชนิด Al/n-Si/Al ประมาณ 4, 6, 9 และ 12 เท่าตามลำดับ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการนำวัสดุหน้าไฟฟ้าไปรั้งใส ITO มาใช้สร้างเป็นขั้วไฟฟ้าของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM นั้นสามารถเพิ่มปริมาณกระแสแสงของตัวตรวจวัดแสงชนิดนี้ได้ โดยการเพิ่มขนาดของขั้วไฟฟ้าจะยิ่งทำให้กระแสแสงมีค่าสูงขึ้นต่างจากตัวตรวจวัดแสงที่มีลักษณะขั้วไฟฟ้าทึบแสงทั่วไป

โดยปริมาณกระแสแสงที่มีค่ามากกว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด Al/n-Si/Al และการเพิ่มขึ้นของกระแสแสงเมื่อเพิ่มขนาดความกว้างขั้วไฟฟ้าของตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO นั้นมีผลมาจากสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุตัวนำไปรั้งใส ITO นั่นเอง โดย ITO ที่เตรียมขึ้นในการทดลองนี้มีความโปร่งใสมากถึง 85% ดังนั้นแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองจึงสามารถทะลุผ่านขั้วไฟฟ้า ITO จนถึงบริเวณซิลิคอนชนิดเอ็นหรือบริเวณปลอดพาหะซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดกระแสแสงได้ ดังแสดงในรูปที่ 8 (ก) ซึ่งต่างจากตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ที่แสงไม่สามารถทะลุผ่านขั้วไฟฟ้าออกมามีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับไว้ที่ขั้วไฟฟ้าทึบแสง

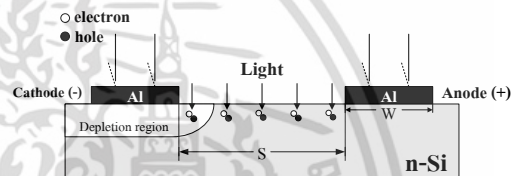
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ประการใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเมื่อแสงตกกระทบบนขั้วไฟฟ้าจะเกิดการสะท้อนกลับ จึงไม่ทำให้เกิดการกระตุ้นอิเล็กตรอน และโฮลภายในบริเวณปลอดพาหะที่อยู่ใต้ขั้วไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 8 (ข) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO มีกระแสแสงที่สูงกว่าตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ซึ่งการเพิ่มความกว้างของขั้วไฟฟ้านั้นทำให้มีพื้นที่ของบริเวณปลอดพาหะเพิ่ม ดังนั้นในกรณีของตัวตรวจวัดแสง ITO/n-Si/ITO จึงมีกระแสแสงเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 การสะท้อน และทะลุผ่านของแสงที่เกิดขึ้นกับ (ก) ตัวตรวจวัดแสงที่มีลักษณะขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะไปรั้งใส ชนิด ITO/n-Si/ITO (ข) ตัวตรวจวัดแสงที่มีลักษณะขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะทึบแสง ชนิด Al/n-Si/Al

#### 4. สรุป

การสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO จากขั้วไปรั้งใสอินเดียมทินออกไซด์ที่มีลวดลายแบบอินเตอร์ดิจิตัล พบว่าการเปลี่ยนแปลงกระแสแสงที่เพิ่มขึ้นมาจากตัวแปรที่สำคัญในโครงสร้างแบบอินเตอร์ดิจิตัล คือ การเปลี่ยนแปลงความกว้างของขั้วไฟฟ้าไปรั้งใสของ ITO ซึ่งความกว้างของขั้วโลหะไปรั้งใส ITO ที่เพิ่มมากขึ้น 20  $\mu\text{m}$  กระแสแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีก 100  $\mu\text{A}$  โดยที่กระแสแสงของตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีระยะ S, ความยาว L และจำนวน N คงที่เป็น 40  $\mu\text{m}$ , 1.5 mm, 8 ขั้ว ตามลำดับ ส่วนระยะ W มีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 20-80  $\mu\text{m}$  จะมีค่ามากกว่า 4-12 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวตรวจวัดแสงชนิด Al/n-Si/Al ที่มีขนาดเดียวกัน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณกุลวรางค์ นุตะมาน ที่ช่วยวัดผลการทดลอง และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อบทความนี้ และขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์วัดความหนาของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] E. H. Böttcher, D. Kuhl, F. Hieronymi, E. Dröge, T. Wolf and D. Bimberg, "Ultrafast Semiinsulating InP:Fe-InGaAs:Fe-InP:Fe MSM Photodetectors : Modeling and Performance", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 28, No. 10, pp. 2343-2357, 1992
- [2] E. Bassous, M. Scheuermann, V. P. Kesan, M. Ritter, J. M. Halbout and S. S. Iyer, "A High-Speed Silicon Metal-Semiconductor-Metal Photodetector Fully Integrable with (Bi) CMOS Circuits", in Proc. Electron Devices Meeting, pp. 187-190, 1991
- [3] M. Ito and O. Wada, "Low Dark Current GaAs Metal-Semiconductor-Metal (MSM) Photodiodes Using  $WSi_x$  Contacts", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 22, No. 7, pp. 1073-1077, 1986
- [4] ธเนศ โขะเหม, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ สรายุทธิ์ วิสวแสงสุข, "ผลกระทบของอุณหภูมิซินเตอร์ริงที่มีผลต่อลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด ชนิด Al/n-Si/Al แบบพลาสมา", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 21 ฉบับที่ 3, หน้า 14-19, 2547
- [5] S. M. Sze and D. J. Coleman, Jr., "A Low-Noise Metal-Semiconductor-Metal (MSM) Microwave Oscillator", The Bell System Technical Journal, pp. 1695-1699, 1971
- [6] S. Khunkhao, T. Aoki, T. Masui and K. Sato, "Low-Noise Behavior of Planar Mo/n-Si/Mo Optical Sensor Structures", Solid-State Electronics, pp. 149-154, 2004
- [7] ธเนศ โขะเหม, มานิตา ดั่งแสง และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "การเกิดกระแสแสงของโฟโตไดโอด ชนิด Al/n-Si/Al แบบพลาสมาที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้ามีขนาดกว้าง", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 22 ฉบับที่ 1, หน้า 13-18, 2548
- [8] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, อิศระ ศรีชนชัย และ สัญญา คุณขาว, "การตอบสนองทางแสงของโฟโตไดโอด ชนิด Al/n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิฟิเคชันด้วยระยะห่างของอิเล็กโทรดมีขนาดกว้าง", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 24 ฉบับที่ 3, หน้า 6-11, 2550
- [9] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ กุลวรางค์ นุตะมาน และ อิศระ ศรีชนชัย, "ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ เพื่อใช้สร้างเป็นขั้วโปรงแสงของตัวตรวจวัดแสงแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31), หน้า 1201-1204, 2551
- [10] I. Srithanachai, K. Nutaman, A. Rerkratn, S. Niemcharoen, S. Supadech, "Preparation and Properties Indium Tin-Oxide Thin Films by RF Sputtered for Photodetectors", Advanced Materials Research, Vol. 55-57, pp. 769-772, 2008
- [11] G. Hodes, L. Thompson, J. DuBow, and K. Rajeshwar, "Heterojunction Silicon/Indium Tin Oxide Photoelectrodes: Development of Stable Systems in Aqueous Electrolytes and Their Applicability to Solar Energy Conversion and Storage", J. Am. Chem. Soc., Vol. 105, No. 3, pp. 324 -330, 1983
- [12] M. Seto, C. Rochefort, S. de Jager, Hendriks, R. F. M. Hooft, G. W. van der Mark, "Low-leakage-current metal-insulator-semiconductor-insulator-metal photodetectors on silicon with a  $SiO_2$  barrier-enhancement layer", Applied Physics Letters, Vol. 75, No. 13, pp. 1976-1978, 1999
- [13] D. V. Sviridov, A. I. Kulak, "Photoelectrochemical oxidation of sulphur dioxide on a polyaniline-modified n-Si/ITO electrode", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 39, pp. 49-53, 1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้