

# สภาพตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง MSM แบบขั้วโลหะโปร่งใส

## Optical Responsivity of Transparent Electrode MSM Photodetectors

สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวัดสภาพตอบสนองทางแสง ( $\mathcal{R}$ ) ของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ที่ใช้อินเดียมทินออกไซด์ (ITO) เป็นขั้วไฟฟ้าแบบโปร่งใส จากการทดลองพบว่าค่า  $\mathcal{R}$  ของตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (S), ความกว้างของขั้วไฟฟ้า (W), ความยาวของขั้วไฟฟ้า (L) และ จำนวนขั้วไฟฟ้า (N) เป็น 40  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 1.5 mm และ 8 ขั้ว ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.042 A/W ที่ความยาวคลื่น 830 nm ซึ่งมีความมากกว่าตัวตรวจวัดแสงที่สร้างขึ้นด้วยโลหะทึบแสงจากอลูมิเนียม (Al) ที่มีขนาดเดียวกันประมาณ 1.8 เท่า

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

### Abstract

This paper reported the characteristics of the optical responsivity ( $\mathcal{R}$ ) of MSM photodetectors using a transparent electrode indium tin oxide (ITO) layer. 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) and number of electrode (N) of 40  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 1.5 mm and 8 electrodes, respectively, were fabricated on the same silicon wafer. The optical responsivity of the ITO/n-Si/ITO photodetector was 0.42 A/W which was considered to be higher than another photodetector about 1.8 times at wavelength 830 nm.

**Keywords :** Metal-semiconductor-metal; ITO/n-Si/ITO; Planar optical device; Transparent electrode; Op-tical responsivity

### 1. บทนำ

ตัวตรวจวัดแสง MSM (metal-semiconductor-metal) แบบขั้วโลหะโปร่งใส [1-5] เป็นตัวตรวจวัดแสงที่มีจุดเด่นในเรื่องการเกิดกระแสแสงที่มากกว่าตัวตรวจวัดแสง MSM แบบขั้วโลหะทึบแสง (opaque electrode) [6-9]

ดังเช่นตัวตรวจแสงแบบขั้วโลหะ โปร่งใสที่สร้างจากอินเดียมทินออกไซด์ (ITO/n-Si/ITO) ได้รับกระแสแสงมากกว่าตัวตรวจวัดแสงแบบขั้วโลหะทึบแสงที่สร้างจากโลหะอลูมิเนียม (Al/n-Si/Al) ประมาณ 4-12 เท่า [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากไม่เกิดการสะท้อนแสงที่บริเวณข้อต่อโลหะที่บดแสง (shadowing effect) จึงทำให้ตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO มีความไวในการตรวจจับแสงในภาวะที่แสงมีความเข้มต่ำ ๆ ได้ดี

ในบทความนี้นำเสนอการศึกษาสภาพตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่มีผลผลิตแบบอินเตอร์ดิฟเฟอเรนซ์ที่สร้างขึ้นบนแผ่นซิลิคอน ชนิด n โดยใช้ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) เป็นขั้วโลหะโปร่งใส และได้ทำการทดสอบหาสภาพตอบสนองทางแสงในช่วงความยาวคลื่นแสง ( $\lambda$ ) ตั้งแต่ 500-1000 nm

## 2. สภาพตอบสนองทางแสง

สภาพตอบสนองทางแสง ( $\mathfrak{R}$ ) หมายถึงกระแสแสงที่เกิดขึ้นต่อกำลังของแสงที่ตกกระทบบนตัวตรวจวัดแสง โดยทั่วไปแล้วตัวตรวจวัดแสงที่ดีควรมีสภาพตอบสนองทางแสงที่สูง แสดงให้เห็นว่าตัวตรวจวัดแสงสามารถเปลี่ยนแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้าได้มาก ซึ่งสามารถหาสภาพตอบสนองทางแสง [10] ได้จาก

$$\mathfrak{R} = \frac{I_p}{P_{inc}} \quad (1)$$

โดยที่  $I_p$  คือ กระแสแสง (มีค่าเท่ากับกระแสที่วัดได้ทั้งหมด) เมื่อให้แสงตกกระทบด้วยกระแสมีด (A) และ  $P_{inc}$  คือ กำลังงานของแสงที่ตกกระทบ (W)

และจากสภาพตอบสนองทางแสงในสมการที่ 1 สามารถนำไปหาค่าประสิทธิภาพควอนตัม ( $\eta$ ) ซึ่งหมายถึงจำนวนคู่อิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นต่อจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบสารกึ่งตัวนำ ก่อนที่อิเล็กตรอนและโฮลจะเคลื่อนที่ผ่านรอยสัมผัสออกสู่วงจรรภายนอก ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\eta = \mathfrak{R} \frac{hc}{\lambda q} \quad (2)$$

โดยที่  $h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (J.s),  $c$  คือ ความเร็วคลื่นแสง (m/s),  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นแสง (m) และ  $q$  คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน (C)

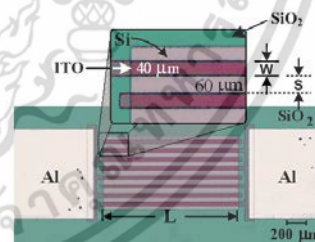
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. การเตรียมชิ้นงาน

การสร้างตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO [3], [5] เริ่มต้นจากแผ่นซิลิคอน ชนิด n ที่มีสภาพต้านทานไฟฟ้า 5-10  $\Omega$ -cm ระบายผิวหน้าผลึก (100) ความหนาของแผ่นผลึก 400  $\mu$ m นำมาทำความสะอาด จากนั้นสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 400 nm แล้วเปิดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ เพื่อสร้างเป็นส่วนรับแสง และรอยสัมผัสระหว่างชั้น ITO กับแผ่นซิลิคอน (ITO/n-Si)

สำหรับฟิล์มบาง ITO สร้างขึ้นจากเครื่องอาร์เอฟสเป็คเตอร์ ด้วยกำลังไฟฟ้า 100 W เวลา 30 นาที ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนที่มีความดันภายในห้องสเป็คเตอร์ประมาณ  $4 \times 10^{-2}$  bar ฟิล์มบาง ITO มีความหนาประมาณ 500 nm สร้างจากแหล่งจ่ายอินเดียมทินออกไซด์บริสุทธิ์ (99.99% ของบริษัท Kurt J. Leskar) ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่าง 90 wt%  $In_2O_3$  กับ 10 wt%  $SnO_2$  ต่อมาสร้างผลผลิตโลหะอลูมิเนียมด้วยเทคนิคการระเหยในสุญญากาศ เพื่อสร้างเป็นส่วนเชื่อมต่อภายนอก

ตัวอย่างชิ้นงานของ MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่สร้างเสร็จแล้ว แสดงดังในรูปที่ 1 จากนั้นนำตัวตรวจวัดแสงที่สร้างเสร็จแล้ว ไปวัดสมบัติทางไฟฟ้า และทางแสงต่อไป โดยทุกการทดลองในบทความนี้ได้ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง



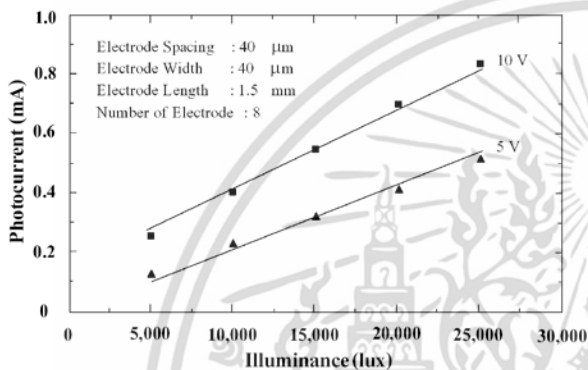
รูปที่ 1 ตัวตรวจวัดแสงแบบอินเตอร์ดิฟเฟอเรนซ์ ชนิด ITO/n-Si/ITO ที่สร้างเสร็จแล้ว โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (S) = 60  $\mu$ m, ความกว้างของขั้วไฟฟ้า (W) = 40  $\mu$ m, ความยาวของขั้วไฟฟ้า (L) = 1.5 mm และจำนวนขั้วไฟฟ้า หรือ ฟิงเกอร์ (N) = 8 ขั้ว

## 4. การทดลอง และผลการทดลอง

### 4.1 ลักษณะสมบัติกระแสแสงกับความเข้มแสง

ในรูปที่ 2 เป็นตัวอย่างลักษณะสมบัติกระแสแสงกับความเข้มแสง เมื่อให้แรงดันไบอัสกับตัวตรวจวัดแสง (ที่มี

ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (S), ความกว้างของขั้วไฟฟ้า (W), ความยาวของขั้วไฟฟ้า (L) และ จำนวนขั้วไฟฟ้า (N) เป็น 40  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 1.5 mm และ 8 ขั้ว ตามลำดับ) เท่ากับ 5 และ 10 V พบว่าตัวตรวจวัดแสงนี้ สามารถตอบสนองต่อแสงได้ดี ในขณะที่กระแสมีค่าต่ำ ประมาณ 1.5  $\mu\text{A}/\mu\text{m}^2$  (ที่แรงดัน 5 V) กระแสแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น เมื่อให้ความเข้มแสงมากขึ้น ดังนั้นตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO นี้ สามารถนำไปใช้เป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสงได้เป็นอย่างดี

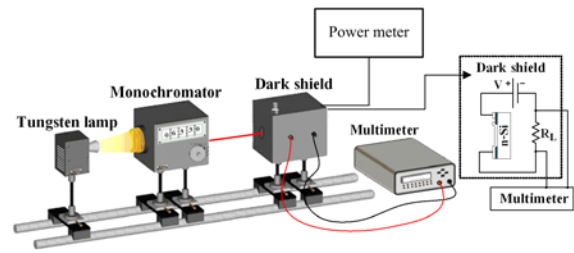


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงกับความเข้มแสงค่าต่าง ๆ แสดงให้เห็นความเป็นเชิงเส้นที่ดีของตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO

#### 4.2 สภาพตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง

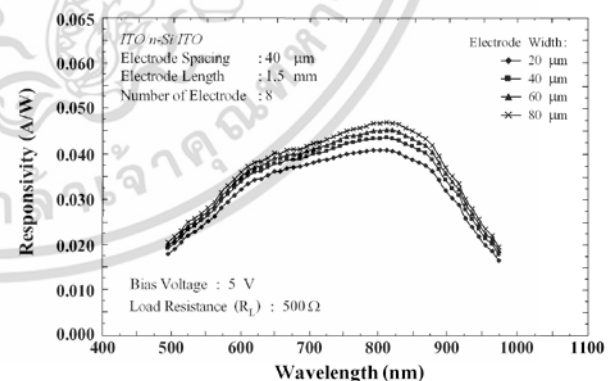
เพื่อหาสภาพตอบสนองทางแสง ทำการต่ออุปกรณ์ดังในรูปที่ 3 โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดทั้งสแตน แล็ด ส่งผ่านไปยังเครื่องโมโนโครมาเตอร์ เพื่อให้แสงสามารถผ่านได้เฉพาะความยาวคลื่นแสงที่กำหนด (500-1,000 nm) โดยแสงที่ผ่านจากเครื่อง โมโน โครมาเตอร์จะถูกวัดพลังงานแสง  $P_{\text{inc}}$  ด้วยเครื่องวัดพลังงานแสง (optical power meter) โดยตำแหน่งของเซ็นเซอร์จะอยู่ในกล่องมืดหลังวัดความเข้มแสงเสร็จแล้ว จากนั้นจึงให้แสงที่ผ่านจากเครื่อง โมโน โครมาเตอร์ไปตกกระทบที่ตัวตรวจวัดแสง MSM ทำให้ได้กระแสแสง  $I_p$  โดยจะทำการวัดกระแสแสงที่เกิดขึ้นนี้ ด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์

นำค่ากระแสแสง  $I_p$  และพลังงานแสง  $P_{\text{inc}}$  ที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่า  $\mathcal{R}$  จากสมการที่ 1 โดยความสัมพันธ์ระหว่างสภาพตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO กับความยาวคลื่นแสงใน



รูปที่ 3 แผนภาพการทดลอง เพื่อหาสภาพตอบสนองทางแสง โดยให้ความต้านทานโหลด ( $R_L$ ) เท่ากับ 500  $\Omega$  และแรงดันไบอัส (V) เท่ากับ 5 V

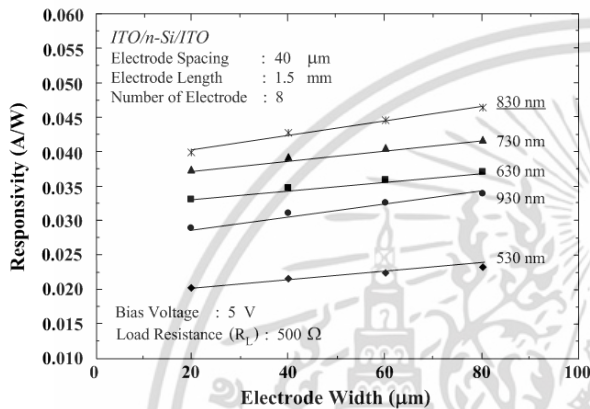
ช่วง 500-1000 nm เมื่อเปลี่ยนแปลงความกว้างของขั้วไฟฟ้าเป็น 20, 40, 60 และ 80  $\mu\text{m}$  ดังแสดงในรูปที่ 4 (ตัวแปรที่ทำให้กระแสแสงของตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO กับ Al/n-Si/Al มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญคือความกว้างของขั้วไฟฟ้า [3], [10] ดังนั้นในบทความนี้จึงพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงความกว้างของขั้วไฟฟ้า ในช่วง 20-80  $\mu\text{m}$ ) จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดความกว้างของขั้วไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สภาพตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ความยาวคลื่นแสง 830 nm จะมีค่า  $\mathcal{R}$  เท่ากับ 0.039, 0.042, 0.044 และ 0.046 A/W เมื่อความกว้างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 20, 40, 60 และ 80  $\mu\text{m}$  ตามลำดับ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพตอบสนองทางแสงกับความยาวคลื่นในช่วง 500-1000 nm เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของขั้วไฟฟ้าตั้งแต่ 20-80  $\mu\text{m}$

เมื่อนำสภาพตอบสนองทางแสง มาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์กับความกว้างของขั้วไฟฟ้า ที่ความยาวคลื่นแสงค่าต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้น

ของ  $R$  เมื่อความกว้างของขั้วไฟฟ้าเพิ่มขึ้นนั้นมีลักษณะเป็นเชิงเส้น อีกทั้งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในรูปที่ 4 ร่วมกับรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า  $R$  ยังมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่นแสงที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่น ( $\lambda_p$ ) 830 nm แล้วจึงมีค่าลดลงไม่เพิ่มตามความยาวคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากผลของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง และความสัมพันธ์ของ  $E = hc/\lambda$



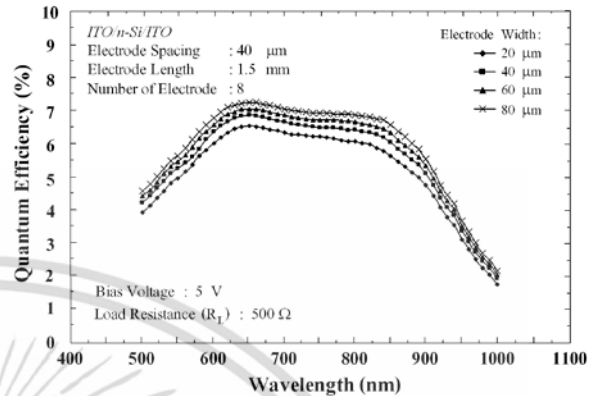
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพตอบสนองทางแสง กับ ความกว้างของขั้วไฟฟ้า ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

4.3 ประสิทธิภาพควอนตัมของตัวตรวจวัดแสง

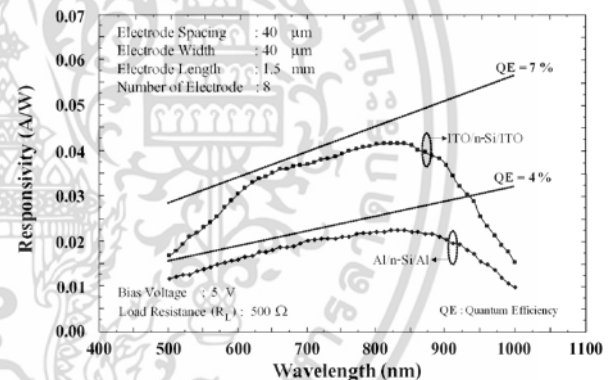
ประสิทธิภาพควอนตัมหาได้จากสมการที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อความกว้างของขั้วไฟฟ้าโปร่งใสของ ITO มีขนาดเพิ่มขึ้น  $\eta$  ของตัวตรวจวัดแสง MSM จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกันกับ  $R$  ที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยที่ความยาวคลื่น 830 nm จะมี  $\eta$  เท่ากับ 6.0, 6.3, 6.6 และ 6.8 % เมื่อความกว้างของขั้วไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 20, 40, 60 และ 80 μm ตามลำดับ และประสิทธิภาพควอนตัมสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 7.4 % (ความยาวคลื่น 625 nm) เมื่อความกว้างของขั้วไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับ 80 μm นั่นเอง

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลของ  $R$  และ  $\eta$  ของตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO และตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด Al/n-Si/Al ซึ่งเป็นตัวตรวจวัดแสงแบบขั้วโลหะทึบแสงที่สร้างขึ้นพร้อมกับตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO บนแผ่นซิลิคอนเดียวกัน (ที่มีระยะ S เท่ากับ 40 μm, ระยะ W เท่ากับ 40 μm, ระยะ L เท่ากับ 1.5 mm และจำนวน N เท่ากับ 8 ขั้ว) จึงได้ทำการเขียนกราฟ

ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพตอบสนองทางแสงกับความยาวคลื่นแสงในช่วง 500-1,000 nm ของตัวตรวจวัดแสงทั้งสองชนิด ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพควอนตัมกับความยาวคลื่น ในช่วง 500-1000 nm เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของขั้วไฟฟ้าตั้งแต่ 20-80 μm



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพตอบสนองทางแสงกับความยาวคลื่นเปรียบเทียบระหว่างตัวตรวจวัดแสงชนิด ITO/n-Si/ITO และ Al/n-Si/Al

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพควอนตัม และการตอบสนองทางแสงนั้นมีลักษณะที่ขึ้นกับความยาวคลื่นแสงเช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา โดยที่ตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO และ Al/n-Si/Al นั้นมีสภาพตอบสนองทางแสงสูงที่สุดที่ความยาวคลื่นเดียวกันคือ 830 nm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.042 และ 0.023 A/W ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO นั้น มีความสามารถในการตอบสนองต่อแสงได้ดีกว่าตัวตรวจวัดแสง Al/n-Si/Al ที่มีขนาดเท่ากัน

**ตารางที่ 1** ลักษณะสมบัติของตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO และ Al/n-Si/Al ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 40  $\mu\text{m}$ , ความกว้างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 40  $\mu\text{m}$ , ความยาวของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 1.5 mm และจำนวนขั้วไฟฟ้า 8 ขั้ว ที่ได้รับแรงดันไบอัส 5 V

MSM Photodetectors	Dark current ( $\text{pA}/\mu\text{m}^2$ ) [4]	Photocurrent [15,000 lux] (mA) [4]	Responsivity (A/W) at $\lambda = 830 \text{ nm}$	Quantum efficiency (%) at $\lambda = 830 \text{ nm}$
ITO/n-Si/ITO	1.5	0.30	0.042	6.30
Al/n-Si/Al	1.3	0.05	0.023	3.66

และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพควอนตัมของตัวตรวจวัดแสงทั้งสองชนิดพบว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO นั้นมีประสิทธิภาพควอนตัมที่สูงกว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด Al/n-Si/Al โดยมีค่าเท่ากับ 6.30 และ 3.66 % ตามลำดับ (ที่  $\lambda = 830 \text{ nm}$ )

ถึงแม้ว่าตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO จะมี  $R$  และ  $\eta$  ที่สูงกว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด Al/n-Si/Al แต่  $R$  และ  $\eta$  ที่ได้จากการทดลองนั้นมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น (1) ไม่มีส่วนป้องกันการสะท้อน (antireflection) ที่บริเวณผิว หน้าของแผ่นฟิล์มซิลิคอน (2) จากลักษณะโครงสร้างของตัวตรวจวัดแสง ชนิดนี้ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเป็นแบบกว้าง [6], [7], [9] ทำให้กระแสแสงที่เกิดขึ้นนั้นส่วนมากเกิดมาจากประจุของพาหะส่วนน้อย (หรือโฮล) ในบริเวณปลอดพาหะ ดังนั้นถ้าพิจารณาถึง  $\eta$  ที่มีความหมายถึงจำนวนคู่อิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดเป็นกระแสแสงต่อจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบ จึงจะเห็นได้ว่า  $\eta$  ของตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO ส่วนหนึ่งน่าจะลดลงเนื่องจากโครงสร้างดังกล่าว และ (3) เกิดขึ้นจากการที่ชั้นออกไซด์บาง ๆ หรือสถานะพื้นผิวที่บริเวณรอยสัมผัสระหว่าง ITO และซิลิคอน ชนิด n ทำหน้าที่เป็นกับดักพาหะ (hole traps) ที่บริเวณรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำกับออกไซด์ ( $\text{SiO}_x$ ) ดังนั้นเมื่อตัวตรวจวัดแสงได้รับการกระตุ้นจากแสงที่ตกกระทบและเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น โฮลที่เกิดในบริเวณปลอดพาหะจะถูกแรงจากสนามไฟฟ้าเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ตามทิศของสนามไฟฟ้าเข้าสู่ขั้วแคโทดเพื่อเกิดเป็นกระแสแสง แต่ทันทีที่โฮลถูกแรงกระทำของ

สนามไฟฟ้าให้เคลื่อนที่โฮลกลับถูกกับดักโฮลที่บริเวณรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำกับออกไซด์จับ ทำให้กระแสแสงที่น่าจะเกิดขึ้นได้อีกส่วนหนึ่งลดลงไป ด้วยเหตุนี้จึงอาจส่งผลให้  $R$  และ  $\eta$  ของตัวตรวจวัดแสงชนิดนี้มีค่าน้อยลงนั่นเอง [11], [12]

ในตารางที่ 1 เป็นตารางสรุปแสดงการเปรียบเทียบตัวแปรที่สำคัญของตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO และ Al/n-Si/Al จากตารางพบว่า ตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO มีสมบัติทางไฟฟ้า และทางแสงที่ดีกว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด Al/n-Si/Al ที่มีขนาดทางเรขาคณิตที่เท่ากัน ดังเช่น ที่ความเข้มแสง 15,000 lux ตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO มีกระแสแสง (0.30 mA) มากกว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด Al/n-Si/Al (0.05 mA) ถึง 6 เท่า เป็นต้น

## 5. สรุป

ความกว้างของขั้วไฟฟ้าเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้สภาพตอบสนองทางแสง และประสิทธิภาพควอนตัมระหว่างตัวตรวจวัดแสง MSM ที่สร้างจากขั้วโลหะโปรงใส กับตัวตรวจวัดแสง MSM ที่สร้างจากขั้วโลหะทึบแสง (ที่มีขนาดเดียวกัน) มีค่าแตกต่างกัน โดยจากผลการทดลองที่เปรียบเทียบตัวตรวจวัดแสง MSM ชนิด ITO/n-Si/ITO และ Al/n-Si/Al ที่มีระยะ S, ระยะ W, ระยะ L และจำนวน N เป็น 40  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 1.5 mm และ 8 ขั้ว ตามลำดับ พบว่า ตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO มีสภาพตอบสนองทางแสง และประสิทธิภาพควอนตัมมากกว่าตัวตรวจวัดแสง ชนิด Al/n-Si/Al ประมาณ 1.82 เท่า และ 1.72 เท่า ตามลำดับ (ที่ความยาวคลื่นแสง 830 nm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณกุลวรางค์ นุตะมาน ที่ช่วยสร้างชิ้นงาน และขอขอบคุณ คุณอิสระ ศรีธนะชัย และ คุณสุรดา เอื้อมานะพงษ์ ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อบทความนี้

ผลงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2554

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wei Gao, Al-Sameen Khan, Paul R. Berger, R. G. Hunsperger, George Zydzik, H. M. O'Bryan, D. Sivco and A. Y. Cho, "In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As Metal-Semiconductor-Metal Photodiode with Transparent Cadmium Tin Oxide Schottky Contacts", Applied Physics Letters, Vol. 65, Issue 15, pp. 1930-1932, 1994
- [2] Chang-Da Tsai, Ching-Hung Fu, Yow-Jon Lin, Ching-Ting Lee, "Study of InGaP/GaAs/InGaP MSM Photodetectors using Indium-Tin-Oxide as Transparent and antireflection Schottky Electrode", Solid-State Electronics, Vol. 43, pp. 665-670, 1999
- [3] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะที่มีกระแสสูง โดยใช้ขั้วโลหะโปร่งใส", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 27, ฉบับที่ 1, หน้า 25-30, 2553
- [4] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "การตอบสนองทางแสงของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM ที่ใช้อินเดียมทินออกไซด์เป็นขั้วโลหะโปร่งใส", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, หน้า 25-30, 2554
- [5] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "การออกแบบ และสร้างตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO แบบเชิงราบ", รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สจล., หน้า 1-27, 2554
- [6] ธเนศ โชะเหม, มานิตา ค้วงแสง และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "การเกิดกระแสแสงของโฟโตไดโอด ชนิด
- Al/n-Si/Al แบบพลาตาร์ที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้ามีขนาดกว้าง", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 22, ฉบับที่ 1, หน้า 13-18, 2548
- [7] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, อิสระ ศรีธนะชัย และ สัญญา คุณขาว, "การตอบสนองทางแสงของโฟโตไดโอด ชนิด Al/n-Si/Al แบบอินเตอร์ดิคิตด้วยระยะห่างของอิเล็กโทรดมีขนาดกว้าง", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 24, ฉบับที่ 3, หน้า 6-11, 2550
- [8] 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
- [9] T. Masui, S. Khunkhao, K. Kobayashi, S. Niemcharoen, S. Supadech and K. Sato, "Photosensing Properties of Interdigitated Metal-Semiconductor-Metal Structures with Undepleted Region", Solid-State Electronics, Vol. 47, pp. 1385-1390, 2003
- [10] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "การออกแบบ และสร้างตัวตรวจวัดแสง ชนิด ITO/n-Si/ITO แบบเชิงราบ", รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สจล., หน้า 55-80, 2554
- [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<sub>2</sub> barrier enhancement layer", Applied Physics Letters, Vol. 75, No. 13, pp. 1976-1978, 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้