

ผลการตอบสนองทางแสงด้วยการควบคุมแรงดันกับโฟโตไดโอดโครงสร้างเชิงราบ  
โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ ที่มีขั้วไฟฟ้าแบบแคบ

VOLTAGE DEPENDENCE OF PHOTORESPONSE ON PLANAR METAL-  
SEMICONDUCTOR-METAL PHOTODIODES WITH SHORT ELECTRODE

สัญญา คุณขาว<sup>1</sup>

ศรีัญญา นวลลอย<sup>1</sup>

เอกลักษณ์ ถาวร<sup>1</sup>

สุรศักดิ์ เนียมเจริญ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

<sup>2</sup> ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: sanya.kh@spu.ac.th, ksurasak@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

โฟโตไดโอดโครงสร้างเชิงราบ (Metal-Semiconductor-Metal: MSM) ที่ภายใต้แสงตกกระทบ ณ บริเวณหลอดพาหะกระแสแสงเพิ่มขึ้นด้วยแรงดันไบอัสที่ให้ ด้วยผลการตอบสนองต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่มองไม่เห็น พบว่ากระแสแสงที่ภายใต้แรงดันไบอัสก่อนการพังทลายจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น พบว่ากระแสแสงมีการเปลี่ยนแปลงตามความกว้างของบริเวณหลอดพาหะเนื่องจากแรงดันไบอัส โดยที่บริเวณหลอดพาหะได้มีการแผ่ขยายออกไปจนเต็มถึงขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่ง พบว่าเมื่อความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้น จะทำให้คู่ของอิเล็กตรอนกับโฮลเกิดขึ้นอย่างมาก ด้วยผลของกระบวนการดริฟท์ (Drift process) จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนกับโฮลที่บริเวณหลอดพาหะนี้ ที่บริเวณรอยต่อชนิดกึ่งเป็นบริเวณหลอดพาหะที่ปรากฏกระแสแสง และสามารถตรวจจับสัญญาณกระแสตรง และกระแสสลับที่บริเวณหลอดพาหะนี้ได้ขยายเพิ่มขึ้นตามการให้แรงดันไบอัส ด้วยการออกแบบโฟโตไดโอดโครงสร้างเชิงราบที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2-10  $\mu\text{m}$  เพื่อทำการทดสอบการตรวจจับสัญญาณกระแสตรง และกระแสสลับที่ความถี่ต่ำในช่วง 1kHz ถึง 1MHz สามารถยืนยันได้ว่าแรงดันไบอัสนั้นสามารถควบคุมการเพิ่มขึ้นของกระแสแสง

**คำสำคัญ:** โครงสร้างเชิงราบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ, กำแพงศักย์ชนิดกึ่ง, บริเวณหลอดพาหะ

## ABSTRACT

Voltage dependence of the photocurrent on lateral spreading along the surface of space-charge-region (SCR) of planar metal-semiconductor-metal (MSM) structures has been investigated experimentally. The current-voltage (I-V) characteristics measurements under illumination in visible range showed a rapid increase photocurrent before breakdown voltage. This purpose for the SCR of such a structure plays a key role in generating photocurrent and thus, in dc and/or ac scheme, the wider SCR along the active surface is the better from the efficiency point of view. When light intensity on the MSM photodiode, the light that incidents the semiconductor surface is absorbed creating electron-hole pairs within the active region. We examined their SCR spreading through the photocurrent-bias voltage characteristics under the condition that the region between the metal electrodes on both sides is full depleted. Making use of a planar Mo/n-Si/Mo MSM structure with short electrode separation on silicon  $10\ \Omega\text{-cm}$  and the junction internal separation is  $2\text{-}10\ \mu\text{m}$ . We measured their dc and low frequency (1 kHz to 1MHz) photoresponse properties. It was confirmed that these structure showed an appreciable voltage controllability of the photocurrent.

KEYWORDS: Planar metal-semiconductor-metal structure; Schottky barrier; Space-charge-region

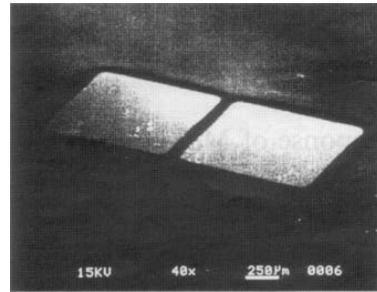
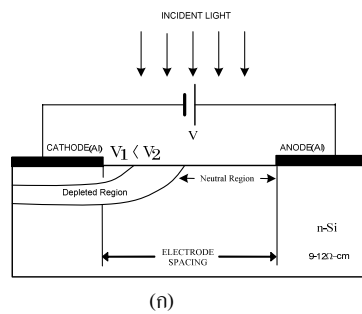
## 1. คำนำ

ในปัจจุบันการตรวจจับสัญญาณทางแสงที่มีประสิทธิภาพเพื่อเป็นตัวตรวจวัดสัญญาณที่มีความเร็วสูง และมีสัญญาณบวกลบต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาตัวรับรู้ทางแสงที่เป็น โครงสร้างเชิงราบ เนื่องจากการใช้ โฟโตไดโอด MSM นี้มีความไวในการตรวจจับที่สูง ความจุไฟฟ้า และกระแสมีค่า โครงสร้างของซีดคีย์โฟโต ไดโอด MSM นี้ได้ถูกสร้างขึ้นแบบหลังชนกันที่เป็นแบบเชิงราบ ที่มีพื้นที่รับแสงอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า โดยมีสมบัติ กระแสกับ แรงดันเป็นเรกติไฟล์ ที่เหมือนกับไดโอดแบบรอยต่อ พี-เอ็น แต่ในกรณีของซีดคีย์โฟโตไดโอด MSM เป็นรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ ในงานวิจัยครั้งนี้เพื่อนำเสนอผลของกระแสแสงจากภายในตัว รับรู้ทางแสง ที่มีรอยต่อแบบซีดคีย์ในบริเวณรอยต่อของเขตปลอดพาหะ เนื่องจากแรงดันย้อนกลับ โดยการ ใช้ ตัวตรวจจับทางแสงที่เป็น โครงสร้างอย่างง่ายเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ โครงสร้าง Mo/n-Si/Mo ที่มี ความกว้างระหว่างขั้วไฟฟ้าแคบมากที่อยู่ในระดับ  $2\text{-}10\ \mu\text{m}$  โดยพื้นฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) ที่บริเวณปลอดพาหะจะเป็นบริเวณที่ก่อให้เกิดกระแสแสง สามารถตรวจจับสัญญาณกระแสตรงและ กระแสสลับที่มีความถี่ต่ำในช่วง 1kHz ถึง 1MHz

## 2. การทดลอง

กระบวนการสร้างโครงสร้าง MSM ชนิด Mo/n-Si/Mo เตรียมจากแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น (n-type) ที่มีสภาพ ความต้านทาน  $10\ \Omega\text{-cm}$  ทำความสะอาดแผ่นกำจัดไขมันและซิลิคอนไดออกไซด์ จากนั้นเคลือบฟิล์มโลหะ โมลิบดีนัมด้วยเครื่องระเหยโลหะในสุญญากาศแบบใช้ลำอิเล็กตรอน (Electron beam evaporator) โดยให้มี

ความหนาของฟิล์มประมาณ  $3000 \text{ \AA}$  ที่ระดับความดัน  $3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$  จากนั้นนำมาสร้างขั้วไฟฟ้าด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี หลังจากได้ลวดลายของขั้วไฟฟ้าแล้วนำมากัดโลหะโมลิบดีนัมในส่วนที่ไม่ต้องการออกไปดังภาพประกอบ 1 เป็นภาพตัดขวางอุปกรณ์ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งจะพบว่าโลหะโมลิบดีนัมอยู่ในรูปของรอยต่อแบบช็อตก็ โดยที่ขั้วไฟฟ้านี้จะมีขนาดพื้นที่  $2 \times 2 \text{ mm}^2$  เป็นแบบสองขั้วไฟฟ้า โดยค่าแรงศักย์ที่ได้ระหว่าง Mo และ Si มีค่าประมาณ  $0.58\text{-}0.68 \text{ eV}$  โดยส่วนของซิลิคอนที่ทำหน้าที่ในการตรวจวัดแสง (Active area) อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองซึ่งมีระยะห่าง(d) เท่ากับ 2,3,5 และ  $10 \text{ \mu m}$  ที่แคบมาก โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM ประกอบด้วยรอยสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำจำนวนสองรอยสัมผัส ต่อกันแบบหันหลังชนกัน (Back To Back) ดังภาพประกอบ 1 ทำหน้าที่เป็นส่วนรับสัญญาณทางแสงแล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า (SM.Sze,1981)



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 1 (ก) ภาพตัดขวางของโครงสร้างเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (MSM)

(ข) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงขั้วไฟฟ้าของชิ้นงานที่แยกจากกัน (ก่อนการต่อลวดตัวนำ)

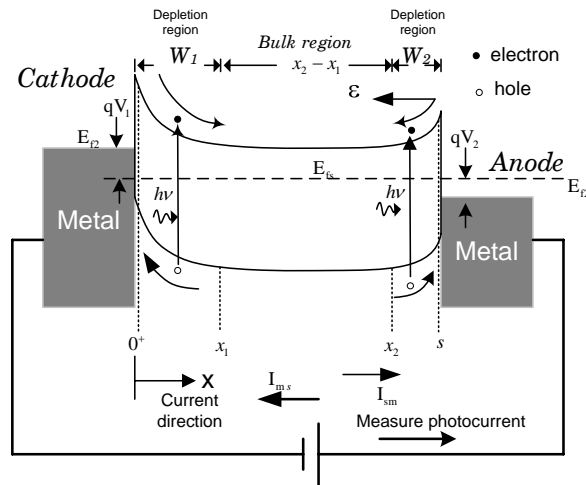
กระแสแสงที่ปรากฏที่ภายใต้แรงดันไบอัส และความเข้มของแสงที่ตกกระทบยังพื้นที่รับแสง จะเพิ่มขึ้นจนถึงสถานะที่กระแสอิ่มตัวก่อนที่จะถึงช่วงแรงดันพังทลายซึ่งขั้วไฟฟ้าจะได้รับการไบอัสย้อนกลับ  $[V_1]$  ทางด้านคาโทด และขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่งจะได้รับการไบอัสตรงจะเป็นขั้วแอโนด  $[V_2]$  โดยบริเวณปลอดพาหะจะขึ้นกับแรงดันที่จ่ายให้โดยที่  $V_{bi1}$  และ  $V_{bi2}$  เป็นค่ากำแพงศักย์ที่รอยสัมผัสด้านคาโทดและแอโนด ดังสมการ

$$W_1(V) = \sqrt{\beta[V_{bi1} + V_1]} \quad : \text{Cathode} \quad (1)$$

$$W_2(V) = \sqrt{\beta[V_{bi1} - V_2]} \quad : \text{Anode} \quad (2)$$

โดยที่  $\beta = 2\epsilon_s/qN_D$

โฟโตไดโอดโครงสร้าง MSM เมื่อได้รับการไบอัสดังภาพประกอบ 2 จะพบว่าบริเวณปลอดพาหะของรอยสัมผัสแบบช็อตก็ย์แบริเออร์ทางด้านคาโทด  $W_1(V)$  มีขนาดกว้างขึ้นในขณะที่บริเวณปลอดพาหะด้านแอโนด  $W_2(V)$  มีขนาดลดลง ซึ่งรอยสัมผัสด้านไบอัสย้อนกลับนี้จะมีค่ากำแพงศักย์เพิ่มขึ้นเท่ากับ  $V_{bi} + V_1$  ดังนั้นอิเล็กตรอนจากทางด้านสารกึ่งตัวนำจะไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสไปยังด้านโลหะได้ มีเพียงอิเล็กตรอนทางด้านโลหะที่เคลื่อนที่ข้ามกำแพงศักย์ไปยังด้านสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังด้านโลหะ  $[I_{sm}]$  ส่วนทางด้านที่ได้รับการไบอัสตรงจะมีค่ากำแพงศักย์ลดลงเท่ากับ  $V_{bi} - V_1$  ดังนั้นอิเล็กตรอนทางด้านสารกึ่งตัวนำจึงเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสไปด้านโลหะได้ (A.K. Srivastava and others,1993:431-436)



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างแถบพลังงานของ MSM photodiodes ภายใต้แรงดันไบอัส และความเข้มแสง

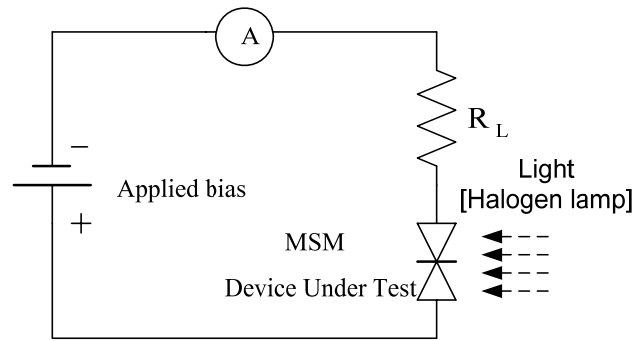
ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลจากโลหะไปยังด้านสารกึ่งตัวนำ  $[I_{ms}]$  กระแสไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสทางด้านคาโทดเป็นกระแสรั่วหรือกระแสมืด (Dark current) เมื่อโครงสร้าง MSM ได้รับแสงตกกระทบทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าไปยังด้านแอโนด ส่วนโฮลจะเคลื่อนที่ไหลในทิศทางเดียวกันกับสนามไฟฟ้าไปยังด้านคาโทดดังในภาพประกอบ 2 ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลออกไปภายนอกโดยมีกระแสแสง  $[I_p]$  แสดงได้ดังสมการ

$$I_p = I_{Light} - I_{dark} \tag{3}$$

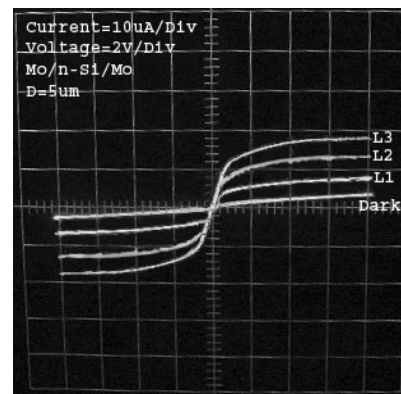
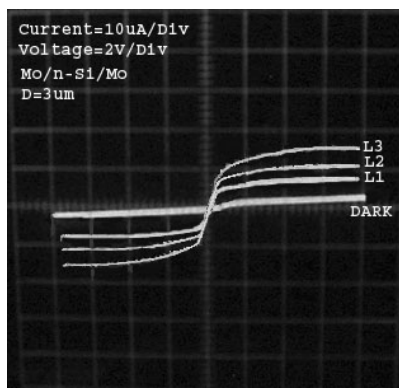
โดยที่  $I_{Light}$  คือกระแสที่แสงตกกระทบพื้นที่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง และ  $I_{dark}$  คือกระแสรั่ว หรือกระแสมืด

### 3. ผลการทดลอง

การวัดผลการตอบสนองทางแสงทางด้านกระแสตรง ของตัวตรวจจับทางแสงแบบโครงสร้างเชิงราบ MSM ด้วยวงจรในภาพประกอบ 3 โดยใช้ตัวอย่างชิ้นงานสิ่งประดิษฐ์โครงสร้างเชิงราบ Mo/n-Si/Mo ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าแคบมากระหว่าง 2-10  $\mu\text{m}$  ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฮาโลเจนกระแสตรง โดยที่กระแสมืดนั้นมีค่าต่ำกว่าระดับไมโครแอมป์ที่แรงดัน 10 โวลต์ และที่ภายใต้เงื่อนไขของแสงที่ตกกระทบ พบว่ากระแสมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเข้าสู่สภาวะกระแสอิ่มตัว Saturation current ที่ทุกระดับความเข้มแสงดังแสดงในภาพประกอบ 4 อันเนื่องจากการที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้านั้นแคบมาก (Masui T. and Others,2003:1811)



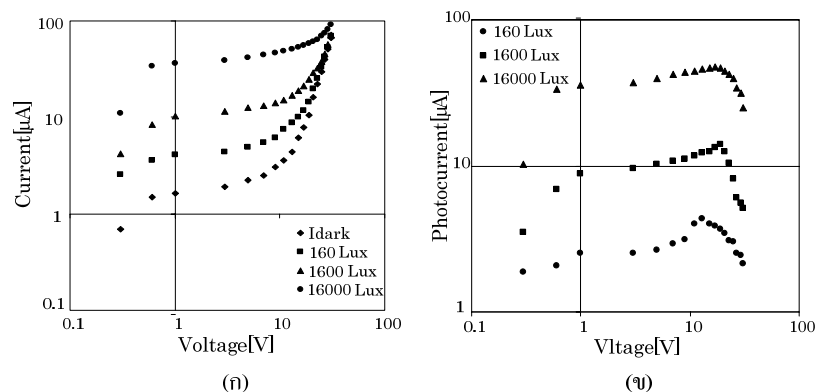
ภาพประกอบ 3 วงจรที่ใช้ในการทดลองวัดคุณสมบัติของกระแสกับแรงดัน



ภาพประกอบ 4 ลักษณะกระแส กับแรงดันจากการทดสอบด้วย Curve-Tracer กับ MSM-PDs ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 3 $\mu$ m และ 5 $\mu$ m ที่ความเข้มแสง L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> และ L<sub>3</sub>

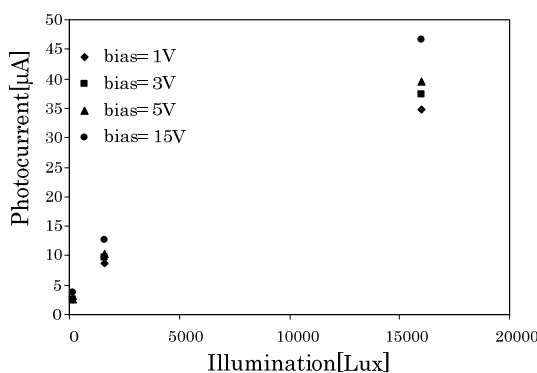
### 3.1 ลักษณะสมบัติด้านกระแสแสงกับแรงดัน

เมื่อให้แรงดันไบอัสเพิ่มขึ้น ทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายจนถึงบริเวณขั้วไฟฟ้าด้านแอโนด Full depletion width อันเนื่องจากการเกิดคู่พาหะอิเล็กตรอน-โฮลที่มากขึ้น ณ บริเวณปลอดพาหะนี้ ตามการเพิ่มขึ้นของแรงดันไบอัส เพื่อเปรียบเทียบผลของบริเวณปลอดพาหะที่แผ่ขยายจากขั้วคาโทดจนถึงขั้วแอโนด พิจารณาภายใต้เงื่อนไขที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน พบว่ากระแสมีการเพิ่มขึ้นอย่างราบเรียบตามลักษณะกระแสอิ่มตัว ก่อนที่จะถึงช่วงแรงดันพังทลายซึ่งกระแสจะมีการเพิ่มขึ้นตามผลการทวีคูณอย่างอวาแลนซ์ Avalanche multiplication ดังในภาพประกอบ 5

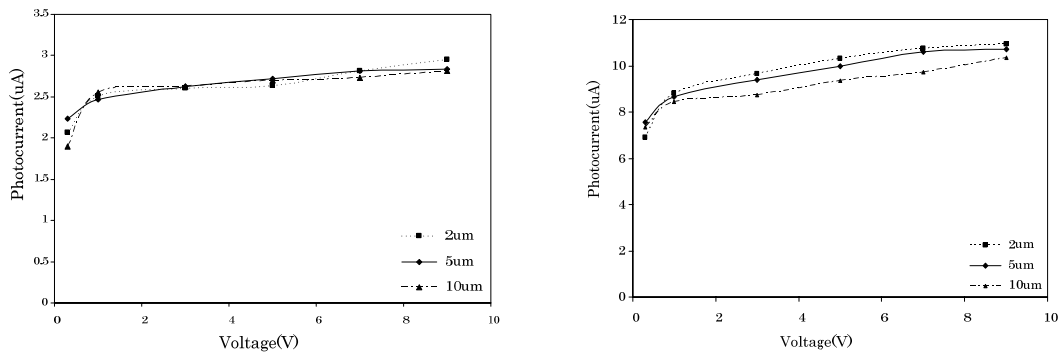


ภาพประกอบ 5 (ก) ความสัมพันธ์ของ Current-Voltage และ (ข) Photocurrent-Voltage ของ Mo/n-Si/Mo ที่มีระยะห่างขั้วไฟฟ้า 2  $\mu\text{m}$  ที่ความเข้มแสงต่างๆ

โดยที่ความเข้มแสงต่ำๆ และที่แรงดันไบอัสก่อนการพังทลายนั้นกระแสแสงจะเพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อแรงดันไบอัสเพิ่มขึ้น และในขณะที่ความเข้มแสงสูงมาก จะทำให้กระแสเพิ่มสูงมากในลักษณะที่ขึ้นกับแรงดันไบอัสนั้นเนื่องจากส่วนรับแสง ระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เป็นส่วนของเนื้อซิลิคอนซึ่งเป็นบริเวณปลอดพาหะได้ดูดกลืนแสงอย่างมากก่อให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอน-โฮลสูงมากจากกระบวนการครีฟท์ (Drift processed) จะทำให้อิเล็กตรอน และโฮลวิ่งในทิศทางตรงกันข้ามได้อย่างรวดเร็ว (H. Takano and Others,2000:216) เมื่อพิจารณาผลของความเข้มแสงที่มีต่อโฟโตไดโอดโครงสร้างเชิงราบที่มีขั้วไฟฟ้าแคบมาก จะพบว่ากระแสแสงนี้ยังคงเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสง แต่ที่แรงดันในช่วง 1-5 โวลต์ ก่อนการพังทลายจะพบว่ากระแสแสงจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ที่แรงดันเข้าสู่การแรงดันพังทลายที่แรงดันไบอัส 15 โวลต์ จะพบว่ากระแสแสงมีค่าสูงมากดังในภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสงและความเข้มแสงที่แรงดันไบอัส 1, 3, 5 และ 15 โวลต์



(ก) ความเข้มแสง 160 ลักซ์

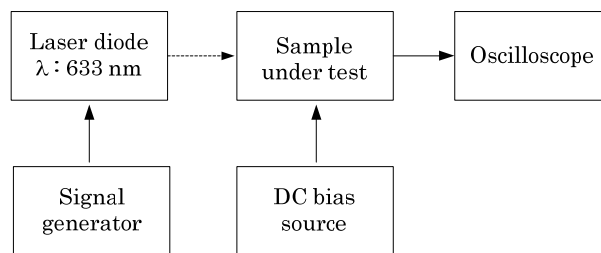
(ข) ความเข้มแสง 1600 ลักซ์

**ภาพประกอบ 7 ลักษณะ Photocurrent-Voltage ของ MSM-PDs ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2,5 และ 10  $\mu\text{m}$  ที่ความเข้มแสง 160 และ 1600 ลักซ์**

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของกระแสแสงกับแรงดัน ภายใต้เงื่อนไขให้ตัวอย่างในการทดสอบดังในภาพประกอบ 7 ซึ่งมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าต่างกันที่ 2,5 และ 10  $\mu\text{m}$  ที่ความเข้มแสง 160 และ 1600 ลักซ์ จะพบว่ากระแสแสงนั้นจะไม่เพิ่มขึ้นตามระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น จากรอยสัมผัสช็อคกีระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ พบว่าบริเวณปลอดพาหะนั้นจะมีการขยายเพิ่มมากขึ้นกับแรงดัน (S. Khunkhao and Others, 2007)

### 3.2 ลักษณะการตอบสนองด้านกระแสลับที่ความถี่ต่ำ

การวัดทดสอบการตอบสนองสัญญาณแสงความถี่ต่ำของ โฟโตไดโอด Mo/n-Si/Mo ในลักษณะสัญญาณแบบ ac โดยต่อชุดทดลองตาม ภาพประกอบ 8 เพื่อหาการตอบสนองภาพสนองสัญญาณแสงของ เลเซอร์ที่มี การมอดูเลตสัญญาณคลื่นรูปไซน์ในช่วงประมาณ 1kHz-1MHz เข้ากับวงจรขยายสัญญาณให้กับเลเซอร์ไดโอด การตรวจจับสัญญาณเอาท์พุทจะวัดทดสอบด้วยออสซิลโลสโคปที่ตกรวมความต้านทาน 100 $\Omega$  500 $\Omega$  1k $\Omega$  และ 10k $\Omega$  ซึ่งต่ออนุกรมกับโฟโตไดโอด MSM โดยให้สัญญาณการตอบสนองของ โหลดความต้านทานที่ถูก นอร์มอลไรซ์ (normalized)

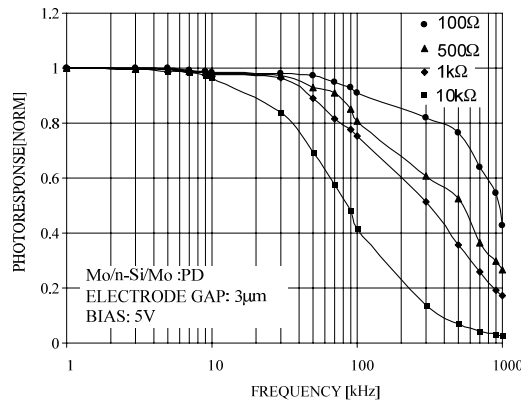


**ภาพประกอบ 8 แผนภาพการทดสอบการตอบสนองสัญญาณทางแสงความถี่ต่ำของ Mo/n-Si/Mo**

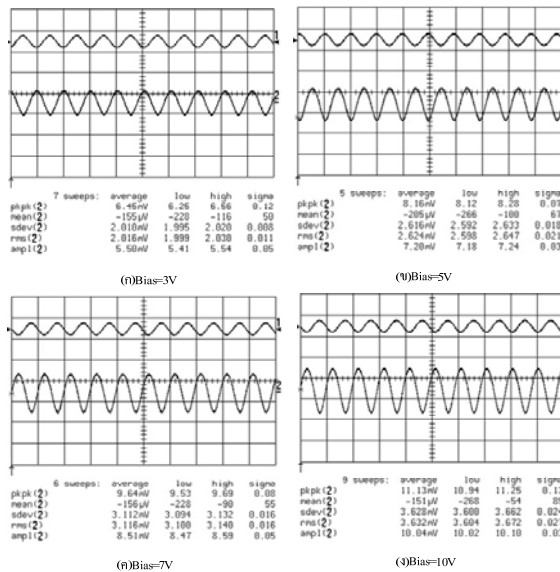
เนื่องจากสัญญาณแสง กับความถี่ตั้งแต่ 100 Hz-1 MHz ในภาพประกอบ 9 นี้เส้นกราฟของ โหลดความต้านทานที่มีค่าน้อยความถี่เทิร์น โอเวอร์ (turn-over frequency)<sup>1</sup> จะมี 2 ค่า คือ ในกรณีที่โหลดความต้านทานเป็น 100  $\Omega$

<sup>1</sup> ความถี่เทิร์น โอเวอร์ หมายถึง ความถี่ที่ทำให้สัญญาณการตอบสนองทางแสง (กระแสแสง หรือแรงดัน) มีการเปลี่ยนแปลงลดลงจนสามารถสังเกตได้

ความถี่เทิร์นโอเวอร์อยู่ที่ประมาณ 100 และ 300 kHz โดยความถี่เทิร์นโอเวอร์ที่มีค่าน้อยจะถูกเรียกว่า ความถี่เทิร์นโอเวอร์ค่าต่ำ (Lower Turn-over Frequency : LTF) ในที่มีค่าประมาณ 100 kHz ในส่วนความถี่เทิร์นโอเวอร์ที่มีค่ามากจะเรียกว่า ความถี่เทิร์นโอเวอร์ค่าสูง (Higher Turn-over Frequency : HTF) และมีค่าประมาณ 300 kHz ส่วนกราฟของโหลดความต้านทาน 10 kΩ จะพบความถี่ LTF อยู่ที่ประมาณ 10 kHz และความถี่ HTF มีค่าประมาณ 300 kHz (H. Takano and Others,2000:216) (S. Khunkhao and Others, 2007)



ภาพประกอบ 9 การตอบสนองสัญญาณแสงที่มีขนาดระยะห่างขั้วไฟฟ้า 3 µm และโหลดความต้านทาน ( $R_L$ ) 100 Ω, 500Ω, 1 kΩ และ 10 kΩ



ภาพประกอบ 10 การตอบสนองสัญญาณด้วยสัญญาณรูปคลื่นที่ความถี่ 10 kHz โดยมีภาระความต้านทาน ( $R_L$ ) 1 kΩ ในโดเมนเวลาที่แรงดันไบแอส (ก) 3 V ,(ข) 5 V ,(ค)7V และ (ง)10V [input CH1:200mV,output CH2:5mV]

ผลการตอบสนองสัญญาณด้วยขอสซิลโลสโคปของการตีความสัญญาณรูปคลื่นที่ความถี่ 10 kHz โดยมีภาระความต้านทาน ( $R_L$ ) 1 kΩ ที่ค่าแรงดันไบแอส  $V = 3,5,7,10V$  มีแรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อมความต้านทาน  $V_0 = 6.45,8.12,9.64,10.94 mV$  แสดงว่าขนาดของสัญญาณเอาต์พุตที่เพิ่มขึ้น เป็นผลของกระบวนการครีฟท์



drift process ที่บริเวณปลอดพาหะในช่วงแรงดันไบแอสก่อนการพังทลายซึ่งในช่วงของแรงดันไบแอสดังกล่าว เป็นช่วงที่มีกระแสแสงอิ่มตัว ดังนั้นกระแสเอ๊าท์พุทที่เป็นกระแสแสงจะไม่เพิ่มขึ้นมาก แสดงให้เห็นว่า บริเวณปลอดพาหะได้ขยายออกไปจนถึงขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่ง โดยในการตอบสนองที่ความถี่ต่ำนั้นจะเหมือน การตอบสนองทางดารากระแสตรงที่เป็นการตอบสนองกระแสจากการแพร่ diffusion current

#### 4. สรุป

จากผลการทดลองกับโฟโตไดโอดโครงสร้างเชิงราบ MSM เมื่อให้แรงดันไบแอสเพิ่มขึ้นจะทำให้บริเวณ ปลอดพาหะได้ขยายออกไปในแนวราบที่บริเวณผิวหน้าของพื้นที่รับแสงระหว่างขั้วคาโทด และแอโนด โดยบริเวณปลอดพาหะนี้จะขยายออกไปจนเต็มพื้นที่รับแสง(Full depleted region) และเมื่อมีความเข้มแสง ตกกระทบกับบริเวณปลอดพาหะจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกับโฮลเกิดการเคลื่อน โดยโฮลจะเกิดการดริฟท์ (Drift)ตรงไปยังด้านแคโทดภายใต้การกระทำของสนามไฟฟ้าที่สูงมากและอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่ไปยัง ด้านแอโนด ทำให้เกิดกระแสไหลสว่างจรภายนอกด้วยกระแสแสงและกระแสมีด จากการทดสอบด้วยผล การตอบสนองสัญญาณกระแสกลับ แสดงให้เห็นว่าสัญญาณเอ๊าท์พุทมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยที่แรงดันไบแอส เพิ่มขึ้นจนบริเวณปลอดพาหะได้ขยายจนถึงขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่งจะพบว่า สัญญาณกระแสเอ๊าท์พุทมีการเพิ่มขึ้น เพียงเล็กน้อยในช่วงกระแสอิ่มตัวดังนั้นอิเล็กตรอนกับโฮลจะเคลื่อนที่ได้โดยตรงที่บริเวณปลอดพาหะ

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Prof.Dr.Kazunori Sato และ รศ.ดร.วิสุทธิ จูติรุ่งเรืองที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำต่องานวิจัยนี้ นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณ ดร.รัชนิพร พุกชาภรณ์ พุกกะมาน ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยศรีปทุม อีกทั้งขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ได้มอบทุน สนับสนุนงานวิจัย รหัสโครงการ MRG 5080004

#### 6. รายการอ้างอิง

- A.K. Srivastava, S.C. Purandare, V.T. Karulkar and B.M. Arora, 1993. "Gainmechanism in GaAs metal-semiconductor-metal photodetector." Inter.J. Opt, 8 : 431-436.
- H. Takano, H. Kimura, T. Ando, S. Niemcharoen, Y. Yasumura, K. Sato, 2000. "Optical response of planar Mo/n-Si/Mo structures with long neutral region and Schottky barriers at both ends," Solid-State Electron. 44 : 216.
- Masui T., Khunkhao S, Kobayashi K, Niemcharoen S, Supadech S, Sato K, 2003. "Photosensing properties of interdigitated metal semiconductor-metal structures with undepleted region." Solid-State Electron. 43 : 1811.
- S. Khunkhao, S. Niemcharoen, M. Duangsang, K.Sato, 2007. "Currents Photoinduced on Laterally Spreading of Space-Charge-Region in Planar Metal-Semiconductor-Metal Structures." Transactions on Electrical Eng., Electronics, and Communications, 5, 1(Feb).
- SM. Sze, 1981. Physics of semiconductor devices, 2nd ed. New York: John Wiley.