

การเพิ่มขึ้นของกระแสแสงในโครงสร้างเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ

Photocurrent enhancement in silicon-based planar metal-semiconductor-metal

สัญญา คุณขาว¹, ภรกร เรืองกุล¹, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม Email: sanya@spu.ac.th

² ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง Email: ksurasu@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ผลการเพิ่มขึ้นของกระแสแสงแบบตรง (DC photocurrent) ซึ่งเป็นสมบัติของตัวตรวจจับทางแสง โครงสร้างเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ จากระยะต่อแบบชอตต์กีสองรอยต่อเชิงราบระหว่างโมลิบดีนัม/ซิลิคอน (Mo/Si) บนฐานรองซิลิคอนชนิดเอ็น (n-type) มีสภาพความต้านทาน 9-12 Ωcm โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 20 μm การวัดสมบัติระหว่างกระแสกับแรงดันภายใต้ความเข้มแสงย่าน visible light แสดงถึงการเพิ่มขึ้นในกระแสแสงอย่างรวดเร็วที่แรงดันไบอัสสูง และผลจากสมบัติของกระแสกับแรงดันที่ขึ้นกับอุณหภูมิ (Temperature dependence) และการวัดสัญญาณรบกวน พบว่ากระแสแสงนั้นมีการเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของการทวีคูณแบบอะวาลันซ์ จากประจุพาหะที่เกิดขึ้นที่ภายในรอยต่อชอตต์กีที่ขั้วไฟฟ้าด้านที่ได้รับการไบอัสย้อนกลับ นอกจากนี้จากการทดสอบวัดการตอบสนองของสัญญาณไฟฟ้าแบบสลับที่มีความถี่ต่ำ 10kHz และ 50kHz พบว่าเฟคเตอร์ของการทวีคูณ (Multiplication factor) มีมากกว่า 100 ที่ความถี่ 10kHz และ 30 ที่ความถี่ 50kHz

คำสำคัญ : โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ; ตัวตรวจจับทางแสง; สัญญาณรบกวนแบบshot; กระแสแสง; การทวีคูณแบบอะวาลันซ์; ตัวทวีคูณ

Abstract

DC photocurrent gain properties of planar metal-semiconductor-metal (MSM) optical sensor structures on have been investigated experimentally. The test structure has two coplanar Mo/n-Si Schottky-barrier junctions on silicon of resistivity 9-12 Ωcm and the junction internal separation is 20 μm. The current-voltage (I-V) characteristics measurements under illumination in visible range showed a rapid increase in photocurrent at higher biases examined. From the temperature dependence of I-V characteristics and noise measurements, such photocurrent increase was ascribed to avalanche multiplication of carriers photogenerated in the Schottky junction reverse-biased. From low-frequency (10-50kHz) signal measurements, it was found that multiplication factor larger than 100 at 10kHz and 30 at 50kHz was achieved.

Key words: Metal-Semiconductor-Metal Optical sensor; Shot noise;

Photocurrent; Avalanche multiplication; Multiplication factor

1. คำนำ

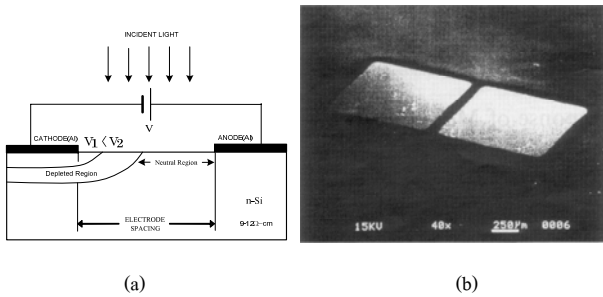
ในปัจจุบันปริมาณความต้องการในงานด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างมากที่เกี่ยวข้องทางแสงที่เรียกว่า “อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง” (Optical electronics) โดยเฉพาะในระบบการสื่อสารยุคใหม่ที่เป็นการสื่อสารด้วยคลื่นแสง หรือการตรวจจับสัญญาณทางแสง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าทั้งความเร็ว ความแม่นยำ ในงานวิจัยครั้งนี้จะกล่าวถึงเฉพาะสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่รับรู้ทางแสงที่เป็นโครงสร้างเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (Metal-Semiconductor-Metal: MSM) ซึ่งในปัจจุบันโครงสร้างชนิดนี้กำลังเป็นที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างสูง ในการประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง [1]

เมื่อกล่าวถึงประโยชน์พื้นฐานบางประการจากโครงสร้างของตัวตรวจจับชนิดนี้ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ใช้กระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน สามารถนำไปประกอบเข้ากับเป็นวงจรรวม หรือใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น เช่น (Field Effect transistors: FETs) นอกจากนั้นแล้วสารกึ่งตัวนำซิลิคอนยังได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำดังกล่าวนี้ การขยายกระแสแสงจากภายในตัวรับรู้ทางแสงที่มีรอยต่อแบบชอตต์กี อันเนื่องมาจากผลของการทวีคูณแบบอะวาลันซ์ (Avalanche multiplication) จึงเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งในการประยุกต์ใช้งานด้านความไวในการตอบสนองทางแสงให้สูงขึ้น ในการนำเสนองานวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณา ตัวตรวจจับทางแสงที่เป็นโครงสร้างอย่างง่ายเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ โดยมีฐานรองเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) โดยเป็นการศึกษาถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากกระแสแสงแบบกระแสตรง (DC photocurrent)

2. การทดลอง

กระบวนการสร้างโครงสร้างเชิงราบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (Metal-Semiconductor-Metal: MSM) ชนิด Mo/n-Si/Mo สามารถสร้างขึ้นจากการทำให้โลหะโมลิบดีนัม (Mo) ระบายเป็นไอ เคลือบบนแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น ที่มีสภาพความต้านทาน 9-12 Ωcm โดยให้ความหนาของฟิล์มโลหะเท่ากับ 3000Å ด้วยเครื่องระเหยโลหะในสุญญากาศแบบใช้ลำอิเล็กตรอน (Electron-beam-evaporator) ที่ระดับความดัน 3×10^{-4} Pa ซึ่งจะเป็ระดับที่ฟิล์มโลหะโมลิบดีนัมสามารถแสดงรอยต่อกำแพงชอตต์กีของโลหะกับซิลิคอนได้ โดยลวดลายขั้วไฟฟ้าสามารถสร้างได้จากกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี โดยการนำเอาส่วนของโลหะโมลิบดีนัมที่ไม่ต้องการออกไปซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 แสดงโครงสร้างภาพตัดขวางของตัวอย่างชิ้นงานที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งขนาดของขั้วไฟฟ้าทั้งสองนั้นมีขนาดที่เท่ากัน และ มีความสมมาตรด้วยขนาดพื้นที่ $3 \times 3 \text{mm}^2$ ชิ้นงานที่สร้างขึ้นมานี้ จะเป็นแบบสองขั้วไฟฟ้า หรือ สลิตเดี่ยว (Single slit)

โดยมีขั้วไฟฟ้าห่างกัน 20 μm ซึ่งเป็นความกว้างอย่างเพียงพอต่อการที่บริเวณปลดพาหะ(Depletion region) จากทั้งสองรอยต่อนั้น ไม่สัมผัสกันเมื่อได้รับการจ่ายแรงดันไบอัสย้อนกลับให้กับขั้วไฟฟ้า โดยที่ภายใต้การจ่ายแรงดันไบอัสกับขั้วไฟฟ้าด้านแอนอด (Anode) เป็นการให้ไบอัสตรงและด้านคาโทด(Cathode) จะเป็นการให้แรงดันย้อนกลับ ดังนั้นแถบพลังงาน(Band diagram) ของโครงสร้างนี้ภายใต้แรงดันไบอัสมีขนาดเพิ่มมากกว่าค่าแพนจิกซ์ของรอยต่อเดียวกันระหว่าง Mo/n-Si

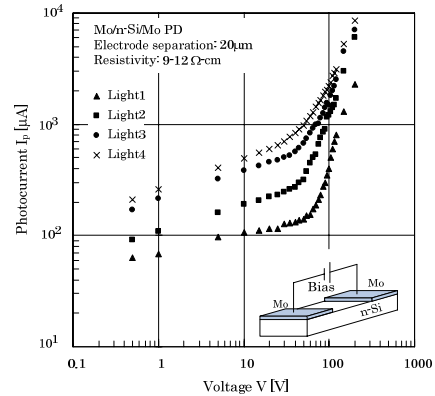


รูปที่ 1 (a) ภาพตัดขวางของโครงสร้างเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (MSM) (b) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงขั้วไฟฟ้าของชิ้นงานที่แยกจากกัน (ก่อนการต่อลวดตัวนำ)

จากผลของคุณสมบัติความสัมพันธ์กระแสกับแรงดัน(I-V) ด้านไบอัสตรง และ ความจุไฟฟ้า กับแรงดัน(C-V) ภายใต้สถานะที่บิแสง จะแสดงค่าแพนจิกซ์ช็อคต์ลีย์ระหว่างความสูงค่าแพนจิกซ์(barrier height: ϕ_b) และ ศักย์ภายในที่เป็นแรงดันคกรวมที่บริเวณปลดพาหะ (built-in voltage: V_{bi}) มีค่าอยู่ประมาณ 0.7eV และ 0.23eV ตามลำดับ[2]

3. ผลการทดลอง

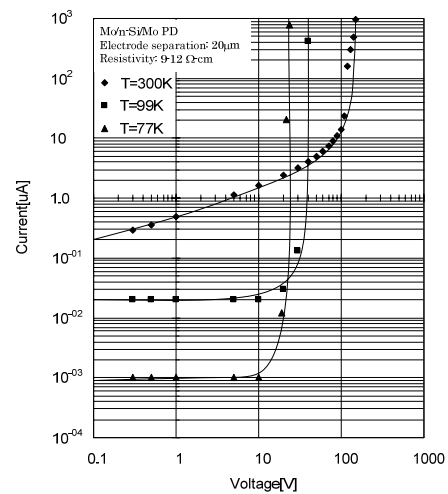
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแสง กับแรงดันที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้ระดับความเข้มแสงต่างกันจากหลอดฮาโลเจน ซึ่งขนาดของกระแสแสงเป็นผลที่เกิดจากการหักล้างกันจากกระแสเมื่อได้รับความเข้มแสง กับกระแสภายใต้สภาวะที่บิแสงที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่เพิ่มขึ้น จากข้อมูลในแต่ละเส้นกราฟได้ถูกแบ่งออกเป็นสองขอบเขต โดยส่วนแรกนั้นจะเป็นกระแสแสงที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างลาคชัน(0-60V) และส่วนที่สองนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว(0-110V)เมื่อได้รับแรงดันเพิ่มขึ้นอย่างสูง เนื่องจากด้วยตัวอย่างชิ้นงานอุปกรณ์ที่ถูกนำมาทดสอบนั้นมีขั้วไฟฟ้าที่ถูกแยกออกจากกันอย่างเด่นชัด เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเชื่อมต่อกันของบริเวณปลดพาหะที่แผ่ขยายออกจากระหว่างรอยต่อช็อคต์ลีย์ทั้งสอง ซึ่งในที่นี้บริเวณปลดพาหะนั้นจะแผ่ขยายออกทางด้านข้าง (Lateral spreading) ตรงบริเวณผิวหน้าของพื้นที่รับแสงด้วยแรงดันไบอัสย้อนกลับที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้ค่าแพนจิกซ์เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากปริมาณของกระแสแสงซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นมาจากการเกิดขึ้นของปริมาณพาหะในส่วนของบริเวณปลดพาหะ (Depletion region) ซึ่งให้ประสิทธิภาพของปริมาณกระแสแสงมากกว่า บริเวณที่เป็นกลางในส่วนของเนื้อสาร ซิลิคอน (Neutral region) ด้วยเหตุผลนี้เองที่ทำให้ปริมาณกระแสแสงในบริเวณเส้นกราฟส่วนที่หนึ่งค่อนข้างเพิ่มลาคชันมากขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่จ่ายให้ ส่วนที่บริเวณอื่น



รูปที่ 2. สมบัติ Photocurrent-voltage ของ Mo/n-Si/Mo ที่ความกว้างของอิเล็กโทรด 20 μm

นั้นแสดงให้เห็นถึงกระแสแสงที่เพิ่มขึ้นอย่างลาคชันสูงที่แรงดันมากกว่า 12 โวลต์ ณ จุดนี้จะอยู่ภายใต้การเริ่มต้นของการพังทลายแบบอะวาลันซ์ (Avalanche breakdown) ของรอยต่อแบบช็อคต์ลีย์ด้านไบอัสย้อนกลับ ในขณะที่รอยต่ออีกด้านนั้นที่ได้รับการไบอัสตรงพบว่าโครงสร้างแถบพลังงานของรอยสัมผัสระหว่าง โลหะ และสารกึ่งตัวนำนั้นเกือบจะแบนราบ

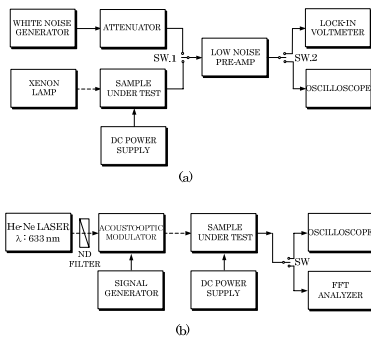
โดยทั่วไปสมบัติการพังทลาย (Breakdown) สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นจะเป็นที่ระดับที่น้อยกว่า $6E_g/q$ ซึ่งเชื่อได้ว่าเป็นการเกิดการทะลุโมมก (Tunneling) ของพาหะ ซึ่ง E_g นั้นเป็นแถบช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ และ q นั้นเป็นค่าประจุไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ [3] ในกรณีสารกึ่งตัวนำซิลิคอนในสภาวะอุณหภูมิห้องค่าของ $6E_g/q$ นั้นมีอยู่ประมาณ 6.7 โวลต์ ดังนั้นที่บริเวณส่วนที่สองของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส กับแรงดัน ที่แรงดันเกินกว่า 30 โวลต์ แสดงให้เห็นว่ามีกระแสเพิ่มขึ้นของกระแสสูงชันอย่างมาก ณ จุดนี้แสดงถึงการเริ่มต้นการเพิ่มขึ้นของกระแสก่อนการพังทลาย (Pre-breakdown) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเริ่มต้นของการทวีคูณแบบอะวาลันซ์จากประจุพาหะ[4]



รูปที่ 3 สมบัติ Current-voltage ของ Mo/n-Si/Mo ในสภาวะที่บิแสงที่ความกว้างของอิเล็กโทรด 20 μm ที่อุณหภูมิ 300K, 99K และ 77K โดยมีค่าคงตัวของอุณหภูมิ (Temperature coefficient = $1.28 \times 10^{-2} \text{V}^\circ\text{C}$)

ดังนั้นกระแสย้อนกลับจึงเพิ่มสูงขึ้นกว่าเดิมอย่างรวดเร็ว และจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ กับการเพิ่มขึ้นของแรงดันไบอัสย้อนกลับ เพื่อเป็นการยืนยันแนวความคิดข้างต้นนั้นจึงได้ทำการวัด คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน ของชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นโครงสร้างแบบ Mo/n-Si/Mo ที่เป็นรอยต่อแบบชนิดคัสกี ที่อุณหภูมิแตกต่างกันสามค่า ซึ่งผลที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ที่เปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยในที่นี้ค่าคงตัวของอุณหภูมิ (Temperature coefficient) มีค่าเป็นบวก $[1.28 \times 10^{-2} \text{V}/^{\circ}\text{C}]$ เมื่อได้รับแรงดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นข้อสนับสนุนได้ว่าเป็นกระบวนการพังทลายแบบอะวาลันซ์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ [5]

โดยกระบวนการพังทลายแบบอะวาลันซ์ จะก่อให้เกิดกระบวนการของสัญญาณรบกวนซึ่งมาจากผลของการให้แรงดันไบอัสที่มีค่าสูงขึ้น และสามารถไฟฟ้าที่บริเวณปลายคาบของรอยต่อชนิดคัสกีจะมีค่าสูงขึ้น [6] ทำให้พาหะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง โดยมีพลังงานจลน์มากขึ้นจนมีค่ามากพอที่จะชนอะตอม และทำให้เกิดการไอออไนซ์ขึ้น ดังนั้นปริมาณของพาหะจะทวีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเป็นผลให้เกิดปรากฏการณ์ Shot effect จากการชนกันของอิเล็กตรอน เพื่อเป็นการยืนยันจากสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น ในการเกิดสัญญาณรบกวนจากการเริ่มปรากฏการณ์อะวาลันซ์ จะทำการทดลองวัดสัญญาณรบกวนแบบ shot noise ที่ความถี่ต่ำ 10 kHz และ 50 kHz โดยการใช้สัญญาณรบกวนนี้มีขั้นตอนการวัดดังรูปที่ 4(a) ซึ่งสัญญาณรบกวนจะถูกตรวจจับได้โดยผ่านความต้านทาน $1\text{k}\Omega$ ที่ต่ออยู่อย่างอนุกรม กับตัวชิ้นงานอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ โดยที่แรงดันที่ตกคร่อมอยู่ที่ความต้านทานจะถูกนำเข้าสู่ Lock-in voltmeter โดยในระบบการวัดสัญญาณรบกวนนี้จะทำการสอบเทียบสัญญาณ

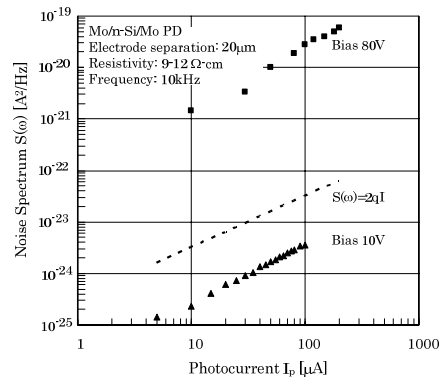


รูปที่ 4 (a) ระบบการวัดสัญญาณรบกวน ที่ความถี่ต่ำ (b) ระบบการวัดการตอบสัญญาณกระแสสลับที่ความถี่ต่ำ

ความถูกต้องของการทดลองด้วย White noise generator ในที่นี้จะใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฮาโลเจน ซึ่งให้แสงย่าน visible light กับตัวชิ้นงานที่ทดสอบ โดยตัวชิ้นงานนี้ทำการทดสอบนี้จะถูกบรรจุอยู่ในกล่องโลหะ (Faraday box) เพื่อกันสนามแม่เหล็กและแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนชนิดอื่น จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวน กับกระแสแสง (Noise spectrum-photocurrent) ที่ความถี่ 10kHz เมื่อได้รับแรงดันที่ 10 โวลต์ และ 80 โวลต์ พบว่าขนาดสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนนั้นสอดคล้องกับความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

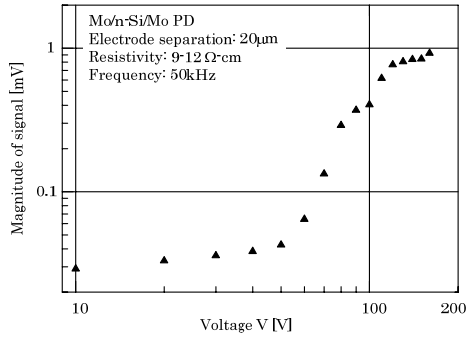
$$S(\omega) = 2qI\Gamma^2 \quad (1)$$

ซึ่งมี Noise factor เท่ากับหนึ่ง ($\Gamma^2 = 1$) สังเกตได้จากเส้นกราฟ ซึ่งเป็นระดับ Full shot noise นอกจากนั้นสิ่งหนึ่งที่ได้พบจากสัญญาณรบกวนที่ได้รับแรงดันไบอัส 10 โวลต์ นั้นยังคงมีการเปลี่ยนแปลงตามการเพิ่มขึ้นของกระแส โดยที่ สัญญาณรบกวนนี้อยู่ที่ระดับต่ำกว่าระดับ Full shot noise เราเรียกว่าระดับ sub shot noise โดยที่มี Noise factor น้อยกว่าหนึ่ง ($\Gamma^2 < 1$) อย่างไรก็ตามในกรณีที่ได้รับแรงดันไบอัส 80 โวลต์ ยังคงแสดงความสัมพันธ์ การเพิ่มขึ้นของสัญญาณรบกวน กับการเพิ่มขึ้นของกระแส แต่ระดับของสัญญาณรบกวนนั้นสูงกว่าระดับ Full shot noise จากผลดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นว่าระดับสัญญาณรบกวนที่สูงขึ้นนี้ จากการทวีคูณแบบอะวาลันซ์ของกระแสแสง [7]



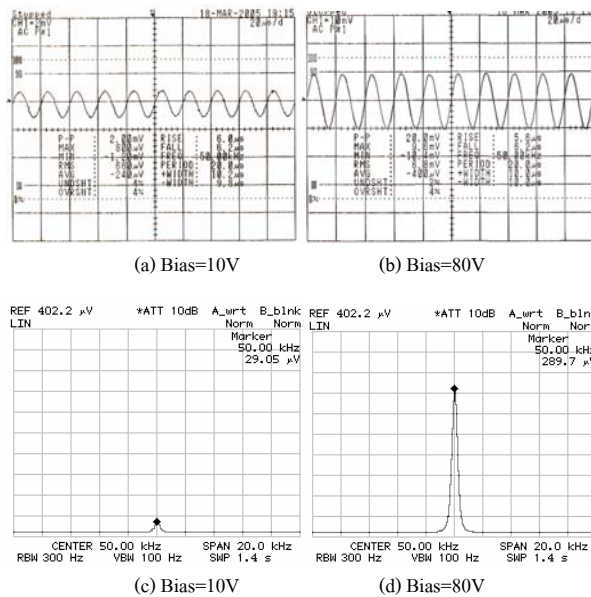
รูปที่ 5 ขนาดสเปกตรัมของสัญญาณรบกวน กับกระแสแสงในโครงสร้างของ Mo/n-Si/Mo ที่ความถี่ 10kHz ที่แรงดันไบอัส 10V และ 80V

เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษานี้ จะทำการวัดผลการตอบสนองสัญญาณทางไฟฟ้า ด้วยการทดสอบการตรวจจับสัญญาณ ทางแสงโดยการผสมสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal signal) โดยใช้ตัวรับรู้ทางแสงโครงสร้างเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ พบว่าภายใต้ก่อนการพังทลาย (Pre-breakdown) และหลังการพังทลาย (Post-breakdown) ดังแสดงในรูปที่ 3(b) แสดงถึงลำดับขั้นของการตรวจวัดคุณสมบัติของสัญญาณกระแสสลับ ซึ่งการวัดสัญญาณกระแสสลับจากรูปคลื่นไซน์นั้นกระทำที่ความถี่ต่ำ 50kHz การผสมสัญญาณรูปคลื่นไซน์ในรูปของสัญญาณทางแสง จากแหล่งกำเนิดแสงฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ (He-Ne laser) ที่มีความยาวคลื่น 633 นาโนเมตร โดยใช้กระจกปรับความเข้มแสง (Neutral Density filter: ND) จากนั้นลำแสงเลเซอร์จะผ่านเข้าสู่อุปกรณ์ผสมสัญญาณแสงและความถี่ (Acousto-Optic-Modulator: AOM) สัญญาณที่ถูกตรวจจับได้นั้นจะตกคร่อมอยู่ที่ความต้านทาน $1\text{k}\Omega$ ที่ต่ออยู่อย่างอนุกรมกับตัวอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ (Device Under Test: DUT) จากนั้นแรงดันที่ตกคร่อมอยู่กับภาวะความต้านทานนั้นถูกนำเข้าสู่เครื่องตรวจวัดสัญญาณรูปคลื่น (Oscilloscope) หรือถูกนำเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (FFT spectrum analyzer) ผลการวัดการตอบสนองสัญญาณที่ความถี่ 50kHz ด้วยเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ เมื่อจ่ายแรงดันให้กับตัวอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบที่แรงดัน 10-180 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าขนาดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟฟ้า มีการเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่จ่ายให้ โดยในช่วงแรกก่อนการพังทลาย (Pre-breakdown) ความชันของเส้นกราฟจะค่อยๆลาดชันขึ้นจนถึงระดับแรงดันมากเกินกว่า 30 โวลต์ จะแสดงถึงการเริ่มต้นการทวีคูณแบบอะวาลันซ์ โดยความชันของเส้นกราฟจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแรงดันไบอัสสูงขึ้นภายหลังการพังทลาย (Post-breakdown)



รูปที่ 6 แสดงผลการตอบสนองสัญญาณที่ความถี่ 50kHz ด้วย FFT spectrum analyzer ที่แรงดัน 10-180 V

จากการตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้าด้วย (Oscilloscope) ที่ความถี่ 50kHz [เช่นเดียวกับที่ตรวจวัดสัญญาณด้วย FFT spectrum analyzer ดังแสดงในรูปที่ 7 (a) และ (b)] แสดงถึงสมบัติสัญญาณเอ๊าท์พุทท์ กับแรงดันไบอัส ที่จ่ายให้ พบว่าขนาดของ amplitude ที่ทำการตรวจวัดภายหลังจากการพักทลาย (bias=80V) มีค่าประมาณ 100 เท่า หรือที่ 40 dB ซึ่งมีค่ามากกว่าที่แรงดันก่อนการพักทลาย (bias=10V) โดยที่ความถี่ 10 kHz แสดงให้เห็นถึงอัตราการลดทอนของสัญญาณที่ 30dB



รูปที่ 7 (a) และ (b) แสดงถึงสัญญาณเอ๊าท์พุทท์บน Oscilloscope (c) และ (d) แสดงถึงสเปกตรัมของสัญญาณด้วย FFT spectrum analyzer ที่ความถี่ 50 kHz เมื่อได้รับแรงดันไบอัส 10V และ 80V ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7(c) และ (d) แสดงถึงสเปกตรัมของสัญญาณที่ตรวจวัดด้วย FFT spectrum analyzer ที่ความถี่ 50kHz ก่อนการพักทลาย และหลังการพักทลาย ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับรูปที่ 7 (a) และ (b) ตามลำดับ นอกจากนั้นจากข้อมูลที่แสดงออกมานั้นพบว่าไม่มีผลของสัญญาณที่ความถี่อื่น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันไบอัส (no spurious effect) ที่เพิ่มขึ้น โดยที่ขนาดของ amplitude ของสัญญาณที่ทำการตรวจวัดนั้นจะเพิ่มขึ้น โดยผลของการทวีคูณแบบอะวาลันซ์ โดยที่ความกว้างของสเปกตรัม ก็ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่

ความถี่นี้ ดังนั้นในกระบวนการแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า (Demodulation process) จากการผสมสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ตามผลการวิเคราะห์จากข้อมูลทั้งในรูปของ Time domain และ Frequency domain แสดงให้เห็นว่าตัวตรวจจับทางแสงที่เป็นโครงสร้างเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ นั้นแสดงคุณสมบัติการขยายสัญญาณที่ดี

4. สรุป

ในการพิจารณาคุณสมบัติการขยายกระแสแสงที่เป็นกระแสตรง(DC photocurrent) โครงสร้างเชิงราบ โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (Metal-Semiconductor-Metal: MSM) ที่มีฐานรองเป็นซิลิคอนชนิดเอ็น (n-type) สามารถที่จะยื่นชั้นผลที่ได้ด้วยการวัดคุณสมบัติของกระแสแสง กับแรงดัน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณกระแสแสงที่เกิดขึ้น ในที่นี้จะพบว่ากระแสแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่แรงดันไบอัสสูงๆ เนื่องจากผลของการทวีคูณแบบอะวาลันซ์ (Avalanche multiplication) นอกจากนั้นการวัดสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่ำยังกระทำที่แรงดันก่อนการพักทลาย และรวมถึงหลังการพักทลายอันเนื่องจากการทวีคูณแบบอะวาลันซ์ ทำให้เกิดการไอออนไนซ์จากการชนกันของอิเล็กตรอน (Impact ionization) จากการทดสอบการตอบสนองสัญญาณกระแสไฟฟ้าสลับ ที่แรงดันก่อน และหลังการพักทลายนั้นแสดงถึงความไวในการตรวจจับปริมาณทางแสง อีกทั้งยังพบอีกว่าตัวตรวจจับทางแสงชนิดนี้มีการทำงานเหมือนกับม่านตาอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics iris) ที่ควบคุมได้โดยแรงดันที่จ่ายให้ อีกทั้งยังไม่แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุทท์อื่นใดที่ความถี่อื่น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ch.S. Harder, B.J.V Zeghbroeck, M.P Kesler, P.Vettiger, D. J. Webb, P. Wolf, High-speed GaAs/AlGaAs optoelectronic devices for computer applications. IBM.Res.Develop 34:568,1990.
- [2] K. Sato and Y. Yasumura, 1985.Generalized approach to the parameter extraction from I-V characteristics of Schottky diodes.J. Appl. Phys 58:3655.
- [3] S.M Sze, Physics of Semiconductor Devices.2nd.ed. John-Wiley,New York. 1981.
- [4] H. Melchior, W.T. Lynch, Signal and noise response of high speed germanium avalanche photodiodes, IEEE Trans. Electron Dev. ED 13 (12):829, 1966.
- [5] A.Goetzberger, B. McDonald, R.H. Haitz, and R.M. Scariet, Avalanche Effects in Silicon p-n Junctions. II. Structurally Perfect Junctions. J.Appl.Phys. 34:1591,1963.
- [6] R.J. McIntyre, 1966. Multiplication Noise in Uniform Avalanche Diodes. IEEE Trans. Electron Devices, ED-19:164.
7. T. Igo and K. Sato, 1969. Noise Characteristics in Silicon Photodiodes Jap.J.Appl.Phys.8:1481.

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายสัญญา คุณขาว วศด.(อิเล็กทรอนิกส์) Tokai University ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม งานวิจัยทางด้านสิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์ทางแสงและตัวตรวจจับทางแสง