

สมบัติของสัญญาณรบกวนเนื่องจากพาหะในโครงสร้างเชิงราบMSM

Noise properties due to carrier generation in planar MSM structures

¹สัญญา คุณขาว ¹อภิษฎา ทองรักษ์ และ ²ปราศศุทธิ์ เหลียงประดิษฐ์

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: sanya.k@rmutp.ac.th

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

2410/2 ถ.พหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์: 02-579-1111 E-mail: pakit.li@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาหลักการ โครงสร้างตัวตรวจจับทางแสงแบบแนวราบ ที่ได้มีการนำฟังก์ชันแบบใหม่ด้วยการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับโครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ ที่โครงสร้างนี้ประกอบด้วยส่วนของบริเวณส่วนบริเวณปลอดพาหะ และไม่ปลอดพาหะที่ภายใต้แรงดันไบอัส ในการวัดทดสอบของตัวตรวจจับทางแสงที่เป็นแบบโครงสร้างแนวตั้งนั้นความหนาแน่นกระแสสัญญาณรบกวนนั้นไม่เพียงขึ้นกับระดับความเข้มของแสงแต่ยังขึ้นกับแรงดันไบอัส อีกทั้งขนาดของสเปกตรัมสัญญาณรบกวนแบบขาวซึ่งขึ้นกับกระแสเฉลี่ยของตัวอุปกรณ์ ในที่นี้การวัดทดสอบตัวตรวจจับทางแสงที่เป็นโครงสร้างเชิงราบได้ถูกนำมาศึกษาถึงสัญญาณรบกวนแบบช็อตเป็นผลเนื่องจากกระแสที่ถูกกระตุ้น โดยในช่วงความถี่แบบต่ำ 10-200 กิโลเฮิร์ตซ์พบว่าสัญญาณรบกวนนี้ไม่ขึ้นกับความถี่

คำสำคัญ: โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ, ตัวตรวจจับทางแสง,

สัญญาณรบกวนแบบช็อต

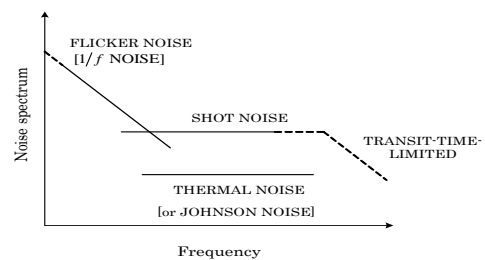
Abstract

In this research is devoted to describing the principle of planar MSM optical sensor structure. That is, in order to add new function of bias-controllability into an MSM structure, the structure with depleted and undepleted region even under a bias is proposed. The measurements revealed that the current noise spectral density depends not only on the illumination intensity levels as ordinal (not planar but vertical) photodetectors but also on bias voltages. The spectrum of shot noise is in general frequency independent or white and is proportional to the average current of the devices. Low-frequency (10-200) kHz shot noise due to photoinduced current where the noise is frequency-independent was measured and discussed of planar MSM optical sensor structures proposed in this study.

Keywords: MSM, Photodetector, shot noise,

1. บทนำ

อุปกรณ์การสื่อสารทางแสง เป็นอุปกรณ์ตัวตรวจจับที่เป็นแบบสองขั้วที่เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่มีรอยต่อเป็นแบบช็อตคิย์ที่มีความไวสูงและการตอบสนองความถี่สูงโดยเป็นโฟโตไดโอด ที่ประกอบด้วยส่วนของบริเวณปลอดพาหะและบริเวณส่วนของเนื้อสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นที่ภายใต้แรงดันไบอัสหรือภายใต้สนามไฟฟ้าก็จะส่งผลกระทบต่อประจุพาหะของคู่อิเล็กตรอน-โฮล สัญญาณรบกวนเป็นปัญหาที่สำคัญมากในระบบการสื่อสารทางแสง ทั้งนี้สัญญาณรบกวนที่ปรากฏขึ้นในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงนี้ประกอบด้วยสัญญาณรบกวนแบบ 1/f noise หรือ Flicker noise เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์ที่ขึ้นกับความถี่ย่านความถี่ต่ำ และ สัญญาณรบกวนแบบขาว White noise ที่เกิดจากกระแสแสงที่ไม่ขึ้นกับความถี่ รวมทั้งสัญญาณรบกวนจากความร้อน Thermal noise หรือ Johnson noise [1-3] เนื่องจากความร้อนในการกระตุ้นประจุพาหะที่เคลื่อนที่แบบเชิงสุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดของสัญญาณรบกวน Flicker noise White noise และ Thermal noise.

ในการนำเสนองานวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาค้นคว้าตัวตรวจจับทางแสงแบบเชิงราบของ Mo/n-Si/Mo ของสัญญาณรบกวนแบบช็อตที่ย่านความถี่ต่ำ 10-200kHz ด้วยข้อจำกัดของเวลาการเคลื่อนที่ของพาหะในสารกึ่งตัวนำในบริเวณที่ถูกแสงตกกระทบ[1-2] ในส่วนที่เป็นเนื้อสารกึ่งตัวนำกว้างมากที่ประกอบด้วยส่วนของบริเวณปลอดพาหะ และส่วนของเนื้อสารกึ่งตัวนำ

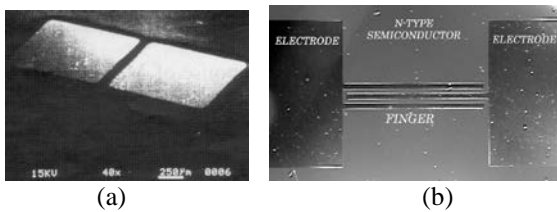
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
 Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่างการทดลอง

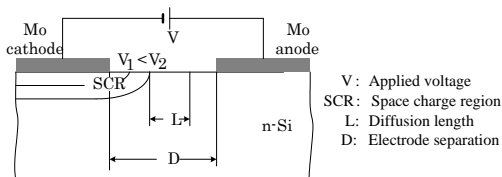
สิ่งประดิษฐ์ตัวตรวจจับทางแสงที่ถูกนำมาใช้ในการทดสอบสร้างขึ้นด้วยกระบวนการระบบสุญญากาศด้วยไอระเหยของโลหะโมลิบดีนัม เคลือบอยู่บนสารกึ่งตัวนำชนิด n-type ที่มีสภาพความต้านทาน 10–50 Ω-cm และใช้กระบวนการเคลือบฟิล์มโลหะและเทคนิคการลอกฟิล์มน้ำยาไวแสงเพื่อทำการสร้างขั้วโลหะที่เป็นรอยต่อแบบซ็อคติย โดยที่กำแพงกั้นของซ็อคติยมีค่าประมาณ 0.57 eV และ 0.67 eV ความหนาโลหะที่ $(1-1.2) \times 10^3 \text{ \AA}$ ความกว้างระหว่างขั้วโลหะอยู่ที่ระหว่าง 20 μm ถึง 2000 μm โดยมีรูปแบบสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 3×3 mm² หรือแบบหวี (interdigitated) ดังแสดงในรูปที่ 2



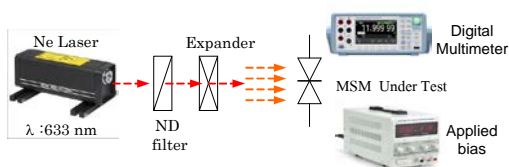
รูปที่ 2 (a) ภาพถ่ายจุดที่สน็อกอิเล็กตรอนที่มีขั้วโลหะแบบ 2 ขั้ว (b) แบบหวี (interdigitated) ที่เป็นแบบ 3 เส้น ขนาดความกว้างขั้วไฟฟ้า 100 μm

2.2 การวัดทดสอบด้านกระแสตรง

รูปที่ 3 แสดงภาคตัดขวางของตัวอย่างทดสอบที่ภายใต้แรงดันไบอัสและการควบคุมความเข้มแสงเพื่อตรวจสอบระดับความเข้มของกระแสกับแรงดันไบอัส ระบบการวัดสมบัติของกระแสกับแรงดันภายใต้ความเข้มแสงและสภาวะที่แสง ตามรูปที่ 4 ด้วยการใช้แสงที่มีความยาวคลื่น 633 nm จาก He-Ne เลเซอร์ หรือจากหลอดฮาโลเจน โดยที่การควบคุมความเข้มแสงจะใช้เลนส์ปรับลำแสงที่ตกกระทบให้ตกเข้าสู่บริเวณระหว่างขั้วไฟฟ้าในการทดสอบนี้จะกระทำที่อุณหภูมิห้อง



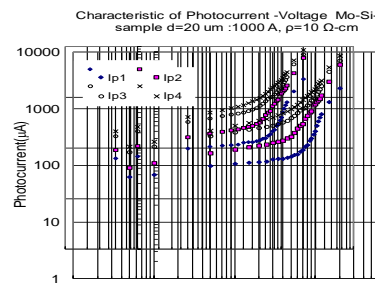
รูปที่ 3 ภาคตัดขวางตัวอย่างทดสอบตัวตรวจจับ โครงสร้างเชิงราบ MSM ที่ภายใต้แรงดัน ไบอัส



รูปที่ 4 แผนผังโครงสร้างระบบการวัดสมบัติกระแส – แรงดัน

2.3 ผลการทดสอบสมบัติกระแสตรง

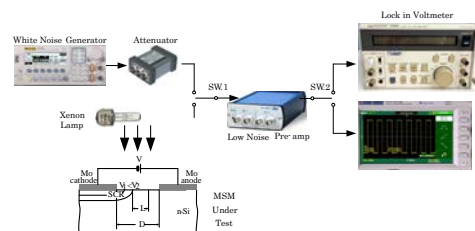
รูปที่ 5 แสดงระดับของกระแสแสง I_p กับแรงดันไบอัสที่ให้กับตัวอย่างทดสอบมีความกว้างของขั้วไฟฟ้า 20 μm ที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ ระดับของกระแสแสงนี้ได้จากกระแสที่ภายใต้ระดับความเข้มแสงที่ออกจากกระแสที่แสงตามลำดับ จะพบว่าที่ระดับกระแสแสงเพิ่มสูงขึ้นด้วยแรงดันไบอัสที่ทำให้กระแสที่ไบอัสระหว่างขั้วแอโนด และคาโทดพบว่าบริเวณระหว่างขั้วไฟฟ้านี้ที่รอยต่อกับขั้วคาโทดที่เป็นบริเวณปลอดพาหะที่ขยายออกจะสัมพันธ์กับขนาดของแรงดันไบอัสที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกล่าวได้ว่าแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่ควบคุมกระแสแสงให้เพิ่มสูงขึ้น ที่ซึ่งเป็นผลกระทบจากความกว้างของบริเวณปลอดพาหะที่แผ่ขยายเพิ่มสูงขึ้นไปตามแนวอนและลึกลงไปในเนื้อสารกึ่งตัวนำ อีกทั้งปริมาณของกระแสเนื่องจากการแพร่ของประจุพาหะส่วนน้อยจากส่วนของเนื้อสารกึ่งตัวนำนั้นคือ โฮล ที่ไหลเข้าสู่บริเวณปลอดพาหะ[5-6]



รูปที่ 5 สมบัติของกระแสแสง-แรงดัน ของ โครงสร้างซ็อคติยโคโอดเชิงราบ Mo/n-Si/Mo ที่มีความกว้างขั้วไฟฟ้า 20 μm

3. การวัดทดสอบสัญญาณรบกวน

ระบบการวัดสัญญาณรบกวนตามรูปที่ 6 ทดสอบที่ช่วงความถี่ 10-200 kHz สัญญาณรบกวนนี้เป็นกระแสแสงที่ไหลผ่านภาหะตัวต้านทาน 2kΩ ต่อเชื่อมแบบอนุกรมกับตัวอย่างทดสอบที่ปรากฏในรูปของแรงดัน ที่นำเข้าสู่อุปกรณ์ขยายแรงดันที่มีสัญญาณรบกวนต่ำทำการตรวจวัดด้วย lock-in voltmeter และออสซิลโลสโคป ควบคุมปริมาณของกระแสแสงให้คงที่จากแหล่งกำเนิดแสง xenon lamp ด้วยฟิลเตอร์แสง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ระบบการวัดทดสอบสัญญาณรบกวนที่ย่านความถี่ 10-200 kHz

3.1 เงื่อนไขสัญญาณรบกวนที่ขึ้นกับกระแสแสง

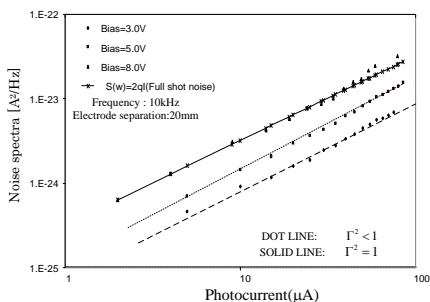
เป็นการพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนแบบช็อตที่มีความถี่ต่ำของโครงสร้างตัวตรวจจับทางแสงเชิงราบ Mo/n-Si/Mo ในที่นี้ปริมาณของกระแสจากสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำแบบสองขั้วไฟฟ้าเป็นกระแสตรงแบบเฉลี่ยที่เรียกว่า shot noise (white noise) ซึ่งไม่ขึ้นกับความถี่ ทั้งนี้ความหนาแน่นของกระแสสัญญาณรบกวน I ดังสมการที่ (1) ที่เป็นระดับสัญญาณรบกวนสูงสุด

$$S(\omega) = 2qI(A^2 / \text{Hz}) \quad (1)$$

อย่างไรก็ตามในอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้จะพบว่าตามสมการที่ (1) นั้นจะถูกปรับด้วยอัตราส่วน noise ratio $[\Gamma^2]$ หรือเฟคเตอร์สัญญาณรบกวน noise factor ดังสมการที่ (2)

$$S(\omega) = 2qI\Gamma^2(A^2 / \text{Hz}) \quad (2)$$

ในกรณีที่สัญญาณรบกวนนั้นได้รับผลกระทบจากสภาวะเวลาการเคลื่อนที่ของประจุพาหะในเนื้อสารกึ่งตัวนำ transit-time จะพบว่าค่าของอัตราส่วน noise ratio นั้นเป็นค่าที่อยู่กับความถี่ ดังนั้นค่าอัตราส่วนของสัญญาณรบกวนที่ทำการวัดกับตัวสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นแบบสองขั้วไฟฟ้าของตัวตรวจวัดแสงแบบโฟโตไดโอด และโฟโตคอนดักเตอร์[1-3]ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่สำคัญ ซึ่งค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวที่ระดับ $\Gamma^2 = 1$ นั้นเป็นค่าที่ยอมรับตามทฤษฎี จากผลการทดลองตามรูปที่ 7 แสดงถึงความสัมพันธ์ของขนาดสัญญาณรบกวนกับกระแสแสงที่ระดับแรงดันไบอัสต่างๆที่ความถี่ 10 kHz กับตัวอย่างที่มีความกว้างขั้วไฟฟ้า 20 μm จากผลการวัดจะพบว่าเส้นกราฟนั้นเป็นเส้นตรงเพิ่มสูงขึ้นตามความสัมพันธ์กับสมการที่ (1) และ (2) โดยเส้นตรงที่เป็นเส้นประที่ระดับ $\Gamma^2 = 1$ อีกทั้งยังพบว่าขนาดของสัญญาณรบกวนยังขึ้นอยู่กับแรงดันไบอัสและขนาดของกระแสที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นตามลำดับ



รูปที่ 7 สัญญาณรบกวนแบบช็อตกับกระแสแสงของโครงสร้างเชิงราบ Mo/n-Si/Mo structure ที่ความถี่ 10kHz ที่ระดับแรงดัน ไบอัสต่างๆ

รูปที่ 7 เป็นผลของ noise factor ของตัวอย่างทดสอบที่ไม่ขึ้นกับความถี่ซึ่งเป็นการยืนยันถึงสัญญาณรบกวนของ noise factor: Γ^2 มีระดับที่ต่ำกว่าระดับ full shot noise ที่เป็นระดับ unity ตามหลักพื้นฐานของสัญญาณรบกวนแบบช็อต[1-2]

ในการทดสอบที่ภายใต้ความเข้มแสงด้วยการตอบสนองสัญญาณทางแสงที่มีความถี่ต่ำขึ้นขึ้นได้ด้วยผลของกระแสแสงสองส่วน องค์ประกอบของกระแสส่วนแรกเกิดจากส่วนที่บริเวณปลอดพาหะ และอีกส่วนเกิดจากประจุพาหะที่เกิดขึ้นในส่วนของเนื้อสารกึ่งตัวนำโดยมีส่วนของประจุพาหะของโฮลที่มีอยู่ในส่วนของ n-type เป็นประจุพาหะที่เกิดขึ้นจากแสงที่ตกกระทบในเนื้อสารกึ่งตัวนำจะแพร่เข้าสู่ส่วนของบริเวณปลอดพาหะและรวมเข้ากับกระแสของตัวอุปกรณ์ องค์ประกอบของกระแสดังกล่าวที่ได้จากส่วนของเนื้อสารกึ่งตัวนำได้จากกระบวนการแพร่ ดังนั้นกระแสเนื่องประจุพาหะจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาเข้าสู่ส่วนของบริเวณปลอดพาหะมากกว่าประจุที่เกิดจากบริเวณปลอดพาหะ ยิ่งไปกว่านั้นเวลาที่ประจุใช้ในการแพร่จะมีจำกัดอันเนื่องมาจากเวลาในการเคลื่อนที่ หรือระยะทางในการแพร่ของประจุพาหะกระบวนการดังกล่าวจะมีการลดต่ำลงในผลกระทบของความสัมพันธ์แบบ autocorrelation ในที่นี้ค่าสัมพันธ์สหสัมพันธ์ autocorrelation อันเนื่องมาจากพาหะเดี่ยว $c(s)$, (s : correlation time) จะมีค่าลดต่ำลงตามฟังก์ชันของการเพิ่มขึ้นในเวลาความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน correlation time, s [3] ในที่นี้ตามทฤษฎีของ Wiener-Khintchine กำหนดให้ความหนาแน่นขนาดกระแสสัญญาณรบกวนจะขึ้นกับความถี่ $S(\omega)$ ที่ความถี่เชิงมุม ω ดังแสดงตามสมการ (3)

$$S(\omega) = 4 \int_0^\infty \langle i^2(t) \rangle c(s) \cos(\omega s) ds \quad (3)$$

ดังนั้นที่ความถี่ต่ำค่าของ $\cos(\omega s)$ จะมีค่าประมาณเป็นหนึ่งและขนาดสเปกตรัมสัญญาณรบกวนจะไม่ขึ้นกับความถี่ ด้วยความสัมพันธ์ที่ (4)

$$S(\omega) \approx S(0) = 4 \int_0^\infty \langle i^2(t) \rangle c(s) ds \quad (4)$$

ในที่นี้กำหนดให้ $i(t)$ (t : time) เป็นค่าของกระแสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาอันเนื่องมาจากพาหะที่มีการแพร่ $\langle i^2(t) \rangle$ เป็นค่าเฉลี่ยของกระแส และ $c(s)$ เป็นค่าฟังก์ชันของ autocorrelation ที่ถูกทำให้สมมูล ถ้าไม่มีสัญญาณรบกวนลดต่ำลงอันเนื่องจากการลดต่ำลงของ autocorrelation ตามสมการข้างต้นลดลงจนเข้าสู่ที่ระดับ full shot noise ยิ่งไปกว่านั้นด้วยผลการสนับสนุนของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ที่กำหนดให้ตามสมการที่ (5)

$$c(s) = \exp(-s / \tau) \quad (5)$$

โดยที่ค่า τ คือค่าเฉลี่ย lifetime ซึ่งประมาณได้จากอัตราส่วนของสหสัมพันธ์ทางเวลากับค่าเฉลี่ยเวลาการแพร่ของประจุพาหะดังต่อไปนี้ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบกระแสทั้งสองที่เกิดจากบริเวณที่แตกต่างกันของส่วนบริเวณปลอดพาหะและเนื้อสารกึ่งตัวนำ โดยสมมุติให้กระแสทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กันจากสัญญาณรบกวนที่พิจารณา : ซึ่งสัญญาณรบกวนทั้งหมด $S(\omega)$ แสดงดังสมการที่ (6)

$$S(\omega) = S_{PD}(\omega) + S_{PC}(\omega) \quad (6)$$

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
 Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

โดยที่ $S_{PD}(\omega)$ และ $S_{PC}(\omega)$ เป็นค่าขนาดสัญญาณรบกวนของกระแสที่บริเวณส่วนปลอดพาหะและส่วนของเนื้อสารกึ่งตัวนำ สามารถแสดงความสัมพันธ์ ของ $S_{PD}(\omega)$ และ $S_{PC}(\omega)$ ดังสมการที่ (7) และ (8)

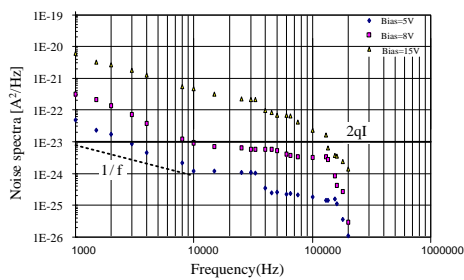
$$S_{PD}(\omega) = 2qI_{PD}\Gamma_{PD}^2 \quad (7)$$

$$S_{PC}(\omega) = 2qI_{PC}\Gamma_{PC}^2 \quad (8)$$

กำหนดให้ I_{PD} และ I_{PC} เป็นองค์ประกอบของกระแสจากส่วนบริเวณปลอดพาหะ และบริเวณเนื้อสารกึ่งตัวนำ อีกทั้ง Γ_{PD}^2 และ Γ_{PC}^2 เป็นค่าของ noise factor จากกระแสทั้งสองส่วน ในที่นี้ตามทฤษฎีจะพบว่า shot noise ของ Γ_{PD}^2 จะมีค่าเป็นหนึ่งใน [6]

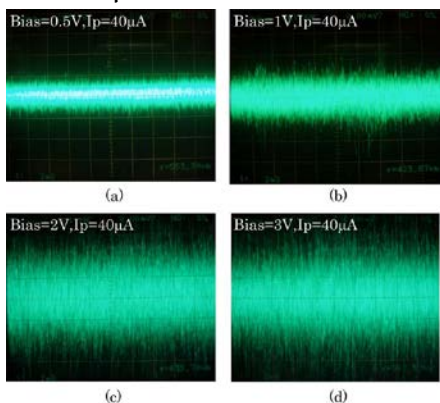
3.2 เงื่อนไขสัญญาณรบกวนที่ขึ้นกับแรงดันไบอัส

ระบบการวัดสัญญาณรบกวนในช่วงที่ศึกษา 10kHz - 200kHz ที่ความถี่ต่ำดังรูปที่ 8 พบว่าขนาดความหนาแน่นของสัญญาณรบกวนไม่ขึ้นกับความถี่ อีกทั้งเมื่อแรงดันไบอัสเพิ่มสูงขึ้นขนาดของสัญญาณรบกวนเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่าระดับ Full shot noise ตามสมการที่ (1) อีกทั้งเมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนของ Noise ratio ที่กำหนดให้ตามสมการที่ (2)



รูปที่ 8 ขนาดสัญญาณรบกวนของตัวอย่างที่มีความกว้างขั้วไฟฟ้า 20 μm ที่แรงดันไบอัส 5V, 8V และ 15V ระดับกระแสแสง 40 μA

ที่ระดับกระแสแสง 40 μA



รูปที่ 9 สัญญาณรบกวนตามคาบเวลาภายใต้แรงดันไบอัสต่างๆที่ระดับกระแสแสง 40 μA . Ver.: 2mV/div., Hor.: 200 $\mu\text{sec/div}$.

สัญญาณรบกวนมีการเพิ่มขึ้นตามแรงดันไบอัสสังเกตได้จากเส้นทึบในกราฟที่เป็นระดับอ้างอิงตามสมการที่ (2) ที่ระดับแรงดันไบอัส 5.0V

ขนาดของ noise ratio มีค่าต่ำกว่าระดับ Full shot noise ถึงสองอันดับซึ่งมีค่าต่ำมากของตัวตรวจจับโครงสร้างเชิงราบ MSM แสดงว่าลักษณะของประจุพาหะที่เกิดขึ้นมีรูปแบบตามโครงสร้างที่เหมาะสม จากผลการทดสอบวัดสัญญาณรบกวนเชิงความถี่สามารถยืนยันด้วยสัญญาณรบกวนเชิงเวลาที่ระดับกระแสแสงเดียวกันที่มีความแตกต่างของแรงดันดังรูปที่ 9(a)-(d) เป็นสิ่งที่สำคัญที่กล่าวได้ว่าสัญญาณรบกวนขึ้นกับแรงดันไบอัสและกระแสแสง

3. สรุป

ตัวตรวจจับแสงโครงสร้างเชิงราบที่ศึกษาสมบัติสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่ำในช่วง 10kHz - 200kHz พบว่าสัญญาณรบกวนไม่ขึ้นกับความถี่ ทั้งนี้ความหนาแน่นสัญญาณรบกวนไม่เพียงจะขึ้นกับระดับกระแสแสงแต่ยังขึ้นกับแรงดันไบอัส โดยมีพฤติกรรมอื่นเนื่องจากกลไกต่างๆ ดังนี้ (1) ไม่มีการเกิด crosscorrelation ระหว่างกระแสรีฟท์อันเนื่องมาจากพาหะกับระยะทางของการแพร่จากส่วนของเนื้อสารเข้าสู่บริเวณปลอดพาหะ (2) โครงสร้างการเกิดประจุพาหะที่เหมาะสมทั้งในบริเวณปลอดพาหะ และส่วนของเนื้อสาร (3) การเกิด autocorrelation ขนาดต่ำๆ อันเนื่องมาจากกระแสรีฟท์และกระแสจากการแพร่ภายใต้สนามไฟฟ้าในขนาดต่ำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.V.D. Ziel, Fluctuation phenomena in semiconductors, London, Butterworths scientific; 1959.
- [2] A.V.D. Ziel, Noise in solid state devices and circuits, New York, John Wiley; 1986.
- [3] P.O.Lauritzen, "Noise due to generation and recombination of carriers in p-n junction transition regions," IEEE ED., ED-15, 770; 1968.
- [4] R.J. McInyre, "Multiplication noise in uniform avalanche diodes," IEEE Trans. Electron. Dev., ED-13, 164; 1966.
- [5] S.M. Sze, Physics of semiconductor devices, 2nd ed. New York, John Wiley; 1981.
- [6] Y. Sato, H. Miyagi, S. Takano, T. Taguchi, T. Matsumoto, K. Sato, "Transit-time-limited shot noise due to carrier generation in Semiconductors," A new approach. Solid-State Electron., 42, 660; 1998.



Sanya Khunkhao received the B.S. degree in physics from Ramkhamhaeng University, in 1991, the M.Eng. degree in electrical engineering from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand in 1997 and D.Eng. degree in electronics engineering from Tokai University, Japan, in 2005. He is Rajamangala University of Technology Phra Nakhon currently lecturer with and his research interest in photodetectors base on silicon technology and electronics material applied switching power electronics drive.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology