

เทคนิคอาร์เอฟสปัตเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr ที่มีกระแสมืดต่ำ

Optimization of RF Sputtering Technique for Low Dark Current Cr/p-Si/Cr Photodiode

สุรศักดิ์ เนียมเจริญ ฤกษ์ฤกษ์ อังศเกษตร

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอกระแสมืดต่ำที่เหมาะสมของโฟโตไดโอดแบบเชิงราบ ชนิด Cr/p-Si/Cr โดยขั้วไฟฟ้า Cr สร้างจากเทคนิคอาร์เอฟสปัตเตอร์ ซึ่งกระแสมืดเป็นฟังก์ชันกับกำลังไฟฟ้าในการสปัตเตอร์ ความดันภายในห้องสปัตเตอร์ และอุณหภูมิของแผ่นซิลิคอน จากการทดลอง พบว่าภายหลังจากหาตัวแปรในการสร้างขั้วไฟฟ้า Cr ที่เหมาะสม โดยใช้กำลังไฟฟ้าในการสปัตเตอร์ 50 W ความดันก๊าซอาร์กอน 4.5×10^{-3} mbar โดยไม่ให้ความร้อนกับแผ่นซิลิคอน และใช้เวลาในการสปัตเตอร์ 30 นาที ได้กระแสมืดเท่ากับ $0.25 \mu\text{A}$ ที่แรงดันไบอัส 10 V สามารถลดกระแสมืดลงได้ถึง 428 เท่า

คำสำคัญ : โลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ; ตัวตรวจวัดแสงแบบสารกึ่งตัวนำ; ตัวตรวจวัดแสงราคาถูก; โครเมียม/พี-ซิลิคอน/โครเมียมโฟโตไดโอด; อุปกรณ์ทางแสงแบบเชิงราบ

Abstract

This report has been presented the optimization of the low dark current of the planar Cr/p-Si/Cr photodiodes which the Cr electrodes are deposited by RF sputtering technique. The dark current is as a function of RF sputter power, chamber pressure and silicon temperature. The experimental results are shown in improved the dark current, using RF sputter power = 50 W, Ar pressure in sputter chamber = 4.5×10^{-3} mbar, unheated silicon wafer and deposit time = 30 mins, that the dark current of photodiode is $0.25 \mu\text{A}$ around 10 V bias. This value is reduced about 428 times compared with before improved sputter parameters.

Key words : Metal-semiconductor-metal; Semiconductor photodetector; Low cost photodetector; Cr/p-Si/Cr photodiode; Planar optical device

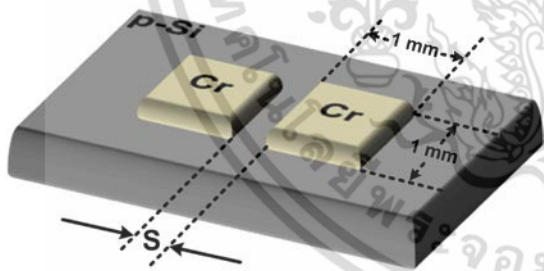
1. บทนำ

การสร้างตัวตรวจวัดแสงที่มีราคาถูก และนำไปใช้งานในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากและมีการพัฒนาอย่าง

ต่อเนื่อง [1-5] เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวันได้อย่างแพร่หลาย ดังเช่น นำไปประยุกต์ใช้งานในการถ่ายภาพ การวัดความเข้มแสง การวัดระยะทาง การเก็บข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์ และการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เป็นเว็บไซต์เป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

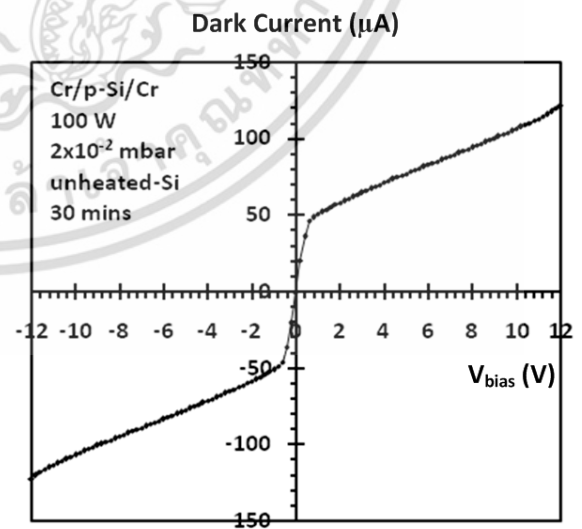
นำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น ซึ่งตัวตรวจวัดแสงที่สร้างจากซิลิคอนเป็นตัวตรวจวัดแสงที่เป็นคู่แข่งที่ดีที่สุดในขณะนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวตรวจวัดแสงที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ และด้วยการสร้างให้มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ หรือ MSM (metal-semiconductor-metal structure) ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำให้มีความเหมาะสมมากขึ้น เพราะเป็นอุปกรณ์แบบเชิงราบ และในกระบวนการสร้างใช้แผ่นต้นแบบเพียง 1-2 แผ่นเท่านั้น [1], [2] จึงสร้างได้ง่าย และทำให้มีราคาต่ำกว่าตัวตรวจวัดแสงชนิดอื่นๆ ประกอบกับการใช้เทคนิคการสเป็คเตอรด้วยคลื่นวิทยุ หรืออาร์เอฟสเป็คเตอร (radio frequency/RF sputtering) ซึ่งเป็นกุญแจทางเทคโนโลยี (key technology) ในการสร้างชั้นฟิล์มบางโลหะสำหรับวงจรรวมในยุคปัจจุบัน ด้วยเทคนิคการสเป็คเตอรนี้ทำให้สามารถสร้างฟิล์มบางโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูง (refractory metal) ได้ง่าย ดังเช่น โมลิบดีนัม (Mo), โครเมียม (Cr) และ แพลทินัม (Pt) เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมความหนา และความสม่ำเสมอของชั้นฟิล์มบางได้ดีอีกด้วย



รูปที่ 1 ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM แบบช่องเดี่ยว ชนิด Cr/p-Si/Cr โดยมีระยะ $S = 20 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า (Cr) ทั้งสองด้าน

ในบทความนี้เลือกใช้โครเมียมสร้างเป็นขั้วไฟฟ้าของโฟโตไดโอดบนฐานรองซิลิคอนชนิดพี จากเดิมที่สร้างด้วยอลูมิเนียม (Al) ซึ่งเป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สร้างขึ้นจากเทคนิคการระเหยโลหะในสุญญากาศ (vacuum evaporator) [1-3] สำหรับเหตุผลที่ไม่ใช่อลูมิ-

เนียมเป็นขั้วไฟฟ้า เนื่องจากรอยสัมผัสของ Al/p-Si เป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มิก จึงไม่สามารถสร้างเป็นโฟโตไดโอดแบบ MSM ได้ เพราะว่ารอยสัมผัสของโฟโตไดโอดแบบนี้จะต้องเป็นรอยสัมผัสแบบช็อคกีเยอร์-เออร์ ซึ่งสอดคล้องกับรอยสัมผัสของ Cr/p-Si อย่างไรก็ตามการใช้งานโฟโตไดโอดโดยทั่วๆ ไป กระแสมืด (I_{dark}) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญของโฟโตไดโอดควรมีค่าต่ำๆ ($< 1 \mu\text{A}$) แต่จากการสร้าง Cr/p-Si/Cr โฟโตไดโอดในช่วงแรก ขั้วโลหะโครเมียมที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิคอาร์เอฟสเป็คเตอรได้อ้างอิงกระบวนการสร้างมาจาก การสร้างชั้นโลหะโครเมียมบนแผ่นกระจก เพื่อสร้างเป็นต้นแบบสำหรับการสร้างวงจรรวม [6] ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าในการสเป็คเตอร 100 W, ความดันภายในห้องสเป็คเตอร 2×10^{-2} mbar และใช้เวลาในการสเป็คเตอร 30 นาที จากการวัดพบว่ากระแสมืดที่ได้มีค่าสูงมาก ($I_{\text{dark}} = 107 \mu\text{A}$ ที่ $V_{\text{bias}} = 10 \text{ V}$) ดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนั้นการลดกระแสมืดของโฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr ให้มีค่าต่ำที่สุด จึงได้ถูกนำเสนอในบทความนี้ โดยการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆ ในการสเป็คเตอรให้มีความเหมาะสมมากที่สุด ด้วยการปรับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสเป็คเตอร ความดันก๊าซอาร์กอน (Ar) ภายในห้องสเป็คเตอร และการให้อุณหภูมิกับแผ่นซิลิคอน



รูปที่ 2 ลักษณะสมบัติกระแสกับแรงดันของ Cr/p-Si/Cr ที่สร้างขึ้น พบว่ากระแสมืดที่ได้มีปริมาณที่สูงมาก โดยที่แรงดันไบอัส = 10 V, กระแสมืดมีค่า = 107 μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยละเอียดขึ้นตามการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเตรียมชิ้นงาน

การสร้างโฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr เริ่มต้นโดยนำแผ่นผลึกซิลิคอนชนิด p ที่มีสภาพต้านทานไฟฟ้า 1-10 Ω -cm ระบายที่ผิวหน้าผลึก (100) ความหนาของแผ่นผลึกประมาณ 380 μm มาทำความสะอาด จากนั้นนำมาเคลือบฟิล์มโลหะโครเมียมบริสุทธิ์ (99.95 % ของบริษัท Kurt J. Leskar) ความหนาประมาณ 100 nm ที่บริเวณด้านบนของแผ่นผลึกซิลิคอนด้วยวิธีอาร์เอฟสปีดเตอร์ (โดยเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการสปีดเตอร์ ดังนี้ คือใช้กำลังในการสปีดเตอร์ตั้งแต่ 50 ถึง 150 W ความดันภายในห้องสปีดเตอร์ อยู่ในช่วง 4.5×10^{-3} ถึง 1.0×10^{-2} mbar และอุณหภูมิของแผ่นซิลิคอนมีค่าระหว่าง 25 ถึง 200 $^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ) ขั้นตอนต่อมาใช้กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี เพื่อเปิดระยะห่างของขั้วไฟฟ้า (S) เท่ากับ 20 μm โดยการกัดให้เป็นลวดลายแบบช่องเดี่ยว (single slit) ซึ่งขั้วโลหะโครเมียมนี้มีขนาด $1 \times 1 \text{ mm}^2$ เท่ากันทั้งสองด้าน จากนั้นจึงนำโฟโตไดโอดที่สร้างเสร็จแล้วไปวัดสมบัติทางไฟฟ้า เพื่อหากระแสมืดต่อไป โดยทำการทดลองทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง

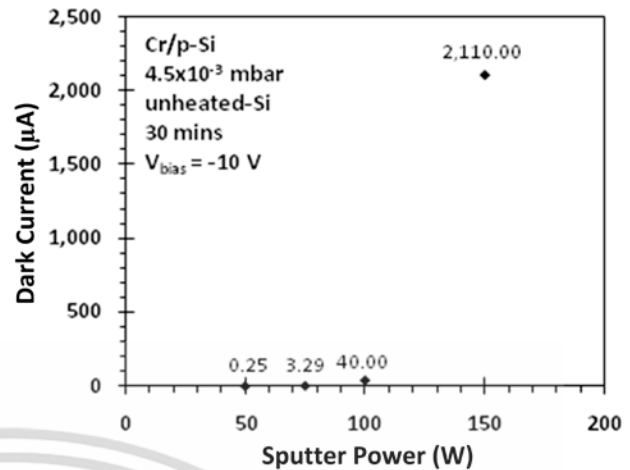
3. การทดลอง และผลการทดลอง

จากการศึกษาโฟโตไดโอดแบบโครงสร้าง MSM ที่ผ่านมา พบว่ากระแสมืดจะขึ้นกับรอยสัมผัสแบบช็อคกีแบร์เรียอร์ [1] ดังนั้นในบทความนี้จึงเริ่มต้นจากการศึกษากระแสรั่วไหล หรือกระแสมืดจากรอยสัมผัสแบบช็อคกีแบร์เรียอร์ระหว่าง Cr/p-Si ที่ให้แรงดันไบอัสย้อนกลับ โดยมีผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

3.1 กระแสมืดกับกำลังไฟฟ้าในการสปีดเตอร์

นำรอยสัมผัส Cr/p-Si ที่สร้างเสร็จแล้ว ที่ให้เงื่อนไขของกำลังไฟฟ้าค่าต่างๆ มาทำการวัดลักษณะสมบัติกระแสกับแรงดัน (I-V) เพื่อหากระแสมืดของรอยสัมผัสระหว่าง Cr/p-Si

ผลการทดลองในรูปที่ 3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมืดกับกำลังไฟฟ้าในการสปีดเตอร์ แสดงให้เห็นว่า เมื่อให้กำลังไฟฟ้าในการสปีดเตอร์ค่าสูงกระแสมืดจะ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมืดกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสปีดเตอร์ของรอยสัมผัสระหว่าง Cr/p-Si

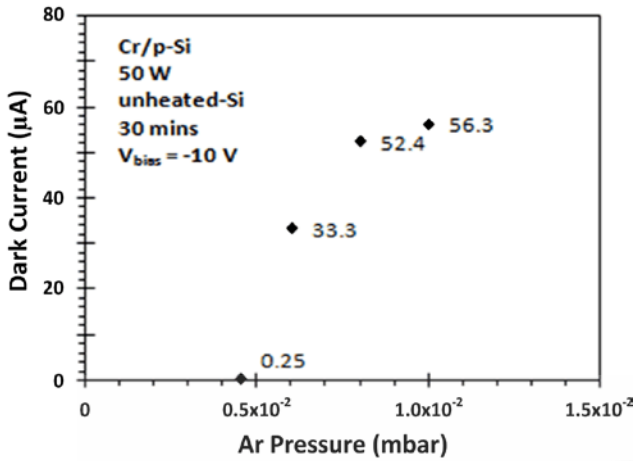
มีค่ามากขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อให้กำลังไฟฟ้าในการสปีดเตอร์มากขึ้น อิเล็กตรอนทุติยภูมิได้รับกำลังมากขึ้นในการวิ่งเข้าชนขั้วแอโนด ซึ่งเป็นที่วางแผ่นซิลิคอน จะเกิดการบอมบาร์ด (bombard) ที่ผิวหน้าซิลิคอนมากขึ้น [7] ส่งผลให้มีสถานะผิว (surface state) เกิดมากขึ้น โดยที่กำลังไฟฟ้าที่ 50 W กระแสมืดมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.25 μA ที่แรงดันไบอัส -10 V และถ้าให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่านี้จะเกิดปัญหากับพลาสติกของเครื่องสปีดเตอร์ โดยพบว่าพลาสติกมีเสถียรภาพที่ไม่ดี กล่าวคือพลาสติกเกิดการกระพริบ ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกกำลังไฟฟ้าในการสปีดเตอร์ที่ 50 W ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด

3.2 กระแสมืดกับความดันก๊าซอาร์กอนในห้องสปีดเตอร์

หลังจากได้กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมแล้ว (50 W) จากนั้นจึงได้ศึกษาผลของกระแสมืด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความดันภายในห้องสปีดเตอร์ ซึ่งในการทดลองก่อนการแก้ไขกระแสมืดได้ให้ความดันภายในห้องสปีดเตอร์ = 2×10^{-2} mbar พบว่ากระแสมืดมีค่าสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความดันภายในห้องสปีดเตอร์ แสดงในรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 แสดงว่า เมื่อความดันก๊าซอาร์กอนมีค่าต่ำลงส่งผลให้กระแสมืดมีค่าน้อยลง สาเหตุเนื่องมาจากปริมาณก๊าซอาร์กอนที่น้อยลงทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



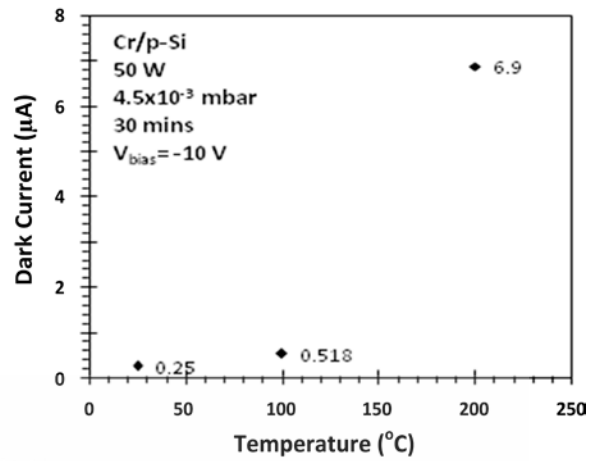
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมืดกับความดันภายในห้องสปีดเตอร์ของรอยสัมผัสระหว่าง Cr/p-Si

ทุกขุมที่วิ่งเข้าชนข้ออาร์กหรือผิวหน้าแผ่นซิลิคอนน้อยลงตามไปด้วย [8] ทำให้ปริมาณสถานะที่ผิวมีค่าน้อยลงด้วย จึงส่งผลให้กระแสมืดมีค่าน้อยลง โดยที่ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 4.5×10^{-3} mbar จะได้กระแสมืดน้อยที่สุดเท่ากับ 0.25 µA ที่แรงดันไบอัส -10 V และถ้าให้ความดันต่ำกว่านี้ พบว่าเกิดผลกระทบกับพลาสมา เช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกความดันก๊าซอาร์กอนภายในห้องสปีดเตอร์เท่ากับ 4.5×10^{-3} mbar ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

3.3 กระแสมืดกับการให้อุณหภูมิกับแผ่นซิลิคอน

เมื่อทราบว่าการกำลังไฟฟ้า และความดันที่เหมาะสมในการสปีดเตอร์ คือ 50 W และ 4.5×10^{-3} mbar ตามลำดับ จึงได้ทำการหาค่าการให้อุณหภูมิกับแผ่นซิลิคอนที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า การเลือกค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสปีดเตอร์ควรมีค่าน้อยที่สุด [9] เพื่อลดการเกิดออกไซด์ที่ผิวหน้าของแผ่นซิลิคอน และอุณหภูมิการสร้างที่มีค่าน้อยสามารถช่วยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ตกค้างอยู่ในระบบหรือการเกิดเอาท์ก๊าซภายในห้องสปีดเตอร์ที่สามารถออกมาเกิดเป็นออกไซด์ได้เช่นกัน [10] รอยสัมผัสที่ได้จะมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงเลือกไม่ให้ความร้อนแก่แผ่นซิลิคอน (อุณหภูมิห้อง) โดยมีกระแสมืดน้อยที่สุดเท่ากับ 0.25 µA ที่แรงดันไบอัส -10 V



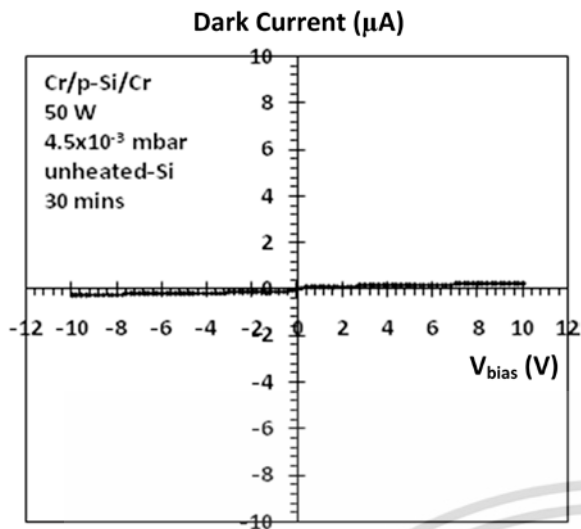
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมืดกับอุณหภูมิแผ่นซิลิคอนของรอยสัมผัสระหว่าง Cr/p-Si

จากการศึกษาการลดกระแสมืด โดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ในการสปีดเตอร์ ซึ่งข้อมูลที่ได้ตัวแปรที่มีผลกระทบกับกระแสมืดอย่างมาก ได้แก่ กำลังไฟฟ้า และความดันภายในห้องสปีดเตอร์ ซึ่งต้องควบคุมตัวแปรทั้งสองนี้เป็นอันดับต้นๆ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองสามารถสรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมในการนำไปสร้างเป็นขั้วโลหะโครเมียมของโฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr ได้ดังนี้ คือ ใช้กำลังไฟฟ้าในการสปีดเตอร์ 50 W, ความดันก๊าซอาร์กอน 4.5×10^{-3} mbar, โดยไม่ต้องให้ความร้อนกับแผ่นซิลิคอน และใช้เวลาในการสปีดเตอร์ 30 นาที จากการทดลองกับรอยสัมผัสชนิดซีดกี้อ์เบริเออร์ของ Cr/p-Si ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว พบว่ากระแสมืดที่ได้มีค่าลดลงเป็น 0.25 µA และเมื่อนำผลการทดลองไปคำนวณหาความสูงกำแพงศักย์ ($q\phi_{bp}$) ดังที่เคยได้นำเสนอไว้แล้วนั้น [1] เมื่อ q คือประจุอิเล็กตรอนิกส์ พบว่า $q\phi_{bp}$ มีค่าสูงประมาณ 0.70 eV

3.4 กระแสมืดกับ Cr/p-Si/Cr โฟโตไดโอด

หลังจากได้เงื่อนไขตัวแปรต่างๆ แล้ว จึงนำไปสร้างโฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr จากนั้นจึงนำมาหากระแสมืด ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 ซึ่งเป็นรูปความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดันของโฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr ในขณะไม่ได้รับแสง แสดงให้เห็นว่าค่ากระแสมืดของ Cr/p-Si/Cr ที่ผ่านการปรับปรุงเทคนิคในการสปีดเตอร์มีค่าประมาณ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมืดกับ โฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr ที่สร้างขึ้นหลังจากได้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดจากผลการศึกษาในหัวข้อที่ 3.1-3.3

0.25 μA ที่แรงดันไบอัส 10 V ในขณะที่ผลการทดลองของโฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr ที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงเงื่อนไขในการสปีดเตอร์ที่แสดงในรูปที่ 2 กระแสมืดเท่ากับ 107 μA ที่แรงดันไบอัส 10 โวลต์ พบว่าหลังจากปรับปรุงเทคนิคในการสปีดเตอร์สามารถลดกระแสมืดลงประมาณ 428 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่ากระแสมืดมีค่าลดลงเป็นที่น่าพอใจ ($< 1 \mu\text{A}$) และจากรูปที่ 6 ยังแสดงให้เห็นว่ากระแสมืดมีความสมมาตรกันดี ซึ่งจะส่งผลกับโฟโตไดโอดที่สร้างขึ้นนี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานเป็นตัวตรวจวัดแสงได้ต่อไป

4. สรุป

สิ่งที่ทราบกันแล้วว่าการสปีดที่มีค่าสูงจะมีผลกระทบต่อการทำงานของสัญญาณทางแสงที่มีความเข้มแสงต่ำๆ ซึ่งทำให้ไม่สามารถแยกแยะสัญญาณแสงนี้จากสัญญาณทางไฟฟ้าที่วัดได้ นอกจากนี้กระแสมืดที่มีค่าสูงยังทำให้เกิดสัญญาณรบกวน แบบช็อต (shot noise) สูง [11] ดังนั้นการสร้างตัวตรวจวัดแสงให้มีกระแสมืดค่าต่ำๆ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

การสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง MSM หรือ โฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr แบบเชิงราบ ซึ่งใช้โลหะโครเมียม สร้างขึ้นจากเทคนิคสปีดเตอร์ โดยการศึกษาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรต่างๆ ของการสปีดเตอร์ เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าในการสปีดเตอร์ 50 W, ความดันก๊าซซอร์บอน 4.5×10^{-3} mbar, โดยไม่ต้องให้ความร้อนกับแผ่นซิลิคอน และใช้เวลาในการสปีดเตอร์ 30 นาที (เพื่อให้โลหะโครเมียมมีความหนาประมาณ 100 nm) พบว่าสามารถลดกระแสมืดจากเดิมที่เคยสร้างในตอนแรกที่มีกระแสมืดมากถึง 107 μA ที่แรงดันไบอัสเท่ากับ 10 V และทำให้ลดลงเหลือ 0.25 μA หรือลดลงได้ประมาณ 428 เท่า

จากข้อมูลที่ได้เหล่านี้จะเป็นตัวช่วยให้การพัฒนาโฟโตไดโอด ชนิด Cr/p-Si/Cr ที่สร้างขึ้นที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพ และเสถียรภาพในการทำงานที่ดียิ่งขึ้น ในโอกาสต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณสุรชาติ เมืองอ่ำ คุณชุตินพธ์ วัชรพัทพิบูล คุณนริศรา ลิ้มวานิชรัตน์ และคุณนิชิธร ชาญนำสิน ที่ช่วยเตรียมชิ้นงาน และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อบทความนี้ และขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวัดความหนาของฟิล์มบาง เพื่อวัดความหนาฟิล์มโลหะโครเมียมในบทความนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธเนศ โชะเหม, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ สรายุทธ์ วิศวรแสงสุข, “ผลกระทบของอุณหภูมิซินเตอร์ที่มีผลต่อลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของโฟโตไดโอด ชนิด Al/n-Si/Al แบบพลาสมา”, วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 21 ฉบับที่ 3, หน้า 14-19, 2547
- [2] ธเนศ โชะเหม, มานิตา ดั่งแสง และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, “การเกิดกระแสแสงของโฟโตไดโอด ชนิด Al/n-Si/Al แบบพลาสมาที่ระยะห่างขั้วไฟฟ้ามีขนาดกว้าง”, วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 22 ฉบับที่ 1, หน้า 13-18, 2548
- [3] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, “ลักษณะสมบัติของซีดคีย์เบอร์เออร์โฟโตไดโอดแบบเชิงราบบนซิลิคอนชนิดเอ็นที่

- ขึ้นกับความเข้มข้นสารเจือของฐานรอง”, วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 25 ฉบับที่ 4, หน้า 41-46, 2551
- [4] M. Seto, C. Rochefort, S. de Jager, R. F. M. Hendriks, G. W. “t Hooft and M. B. van der Mark, “Low-Leakage-Current Metal-Insulator-Semiconductor-Metal Photodetector on Silicon with a SiO₂ Barrier-Enhancement Layer”, Applied Physics Letters, Vol. 75, No. 13 pp. 1976-1978, 1999
- [5] Elena Budianu, Munizer Purica, Elena Manea and Mihai Kusko, “Analysis and Optimization of MSM Photodetector Based on Thin Polysilicon Layer”, The International Conference on Microelectronics, ICM 2004, pp. 105-108, 2004
- [6] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ คณะผู้ร่วมวิจัย, การพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอสระดับ 5 ไมครอน, รายงานการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์ รหัสโครงการ NT-B-06-4A-22-510, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, หน้า 72-80, 2545
- [7] E.H. Rhoderick and R.H. Williams, Metal Semiconductor Contacts, 2nd ed., Chapter 5, Clarendon, Oxford, 1988
- [8] S. L. Liang, K. W. Wang and Y.C. Liu, “Argon Concentration of RF Sputtered Silicon Films”, Chinese journal of physics, Vol. 17, No. 2, pp. 102-106, 1979
- [9] L. He, J.E. Siewenie, “Cryogenic processing of thin metal films”, Surface and Coatings Technology, Vol. 150, pp. 76-79, 2002
- [10] J. Musil, “Low-pressure magnetron sputtering”, Vacuum, Vol. 50, pp. 363-372, 1998
- [11] S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, 2nd Ed., Chapter 13, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้