บทที่ 3
กระบวนการสร้างและการทดลอง

3.1 กระบวนการเตรียมฐานรอง

ฟิล์มเพชรสามารถเกิดบนฐานรองที่ไม่ใช่เพชรหลายชนิดด้วยกัน ตัวอย่างของวัสดุที่สามารถนำมาใช้เป็นฐานรองในการสร้างฟิล์มเพชรได้ เช่น Si, SiC, WC, W, Mo, Cu และ Al_2O_3 เป็นต้น แต่สำหรับในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเลือกใช้ฐานรองเพียงอย่างเดียวคือ Si เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีใช้อยู่แล้วในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ก่อนที่จะนำแผ่นฐานรองซิลิคอนไปใช้ในการทดลอง จำเป็นต้องมีกระบวนการเตรียมแผ่นฐานรองดังกระบวนการต่อไปนี้

3.1.1 การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิคอนเริ่มต้น (Initial cleaning)

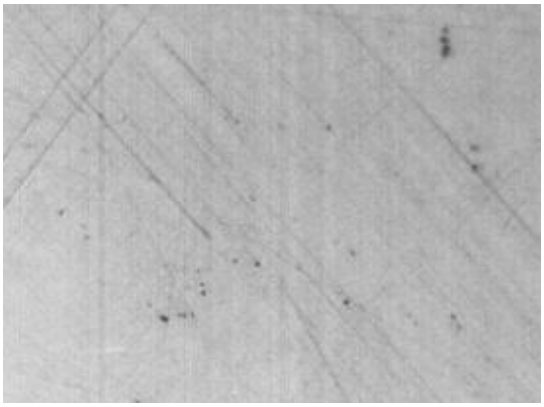
- ทำความสะอาดผิวหน้าซิลิคอนในน้ำ DI(Deionized-water) ด้วยเครื่องสั่นความถี่สูง (Ultrasonic cleaning)
- ลอกชั้นออกไซด์ที่ผิวหน้าซิลิคอนด้วย HF 5% แล้วล้างออกด้วยน้ำ DI
- กำจัดสิ่งสกปรกจำพวกไขมันบริเวณผิวหน้า โดยการต้มด้วยสารละลายไตรคลอโรเอธิลีน
- ล้างสารละลายไตรคลอโรเอธิลีนออกด้วยอะซีโตน(Acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูง และ ล้างออกด้วยน้ำ DI แล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซ N_2

3.1.2 การเตรียมพื้นผิวฐานรองโดยการขัดด้วยครีมเพชร[16]

ก่อนทำการสร้างฟิล์มเพชรจำเป็นต้องขัดผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนเพื่อเพิ่มอัตราการนิวคลีเอชั่น เพื่อให้ฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้มีความสมบูรณ์และมีอัตราการเกิดเร็วขึ้น โดยใช้ครีมเพชรขนาด 1 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 3.1 ขัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแผ่นซิลิคอนที่ผ่านการขัดมาทำความสะอาดอีกครั้งตามกระบวนการดังนี้

- ทำความสะอาดแผ่นซิลิคอนด้วย เอทิลแอลกอฮอล์ เพื่อกำจัดครีมเพชรที่ติดอยู่ให้หมดไป
- นำแผ่นซิลิคอนที่ผ่านการขัดมาต้มในสารละลายไตรคลอโรเอธิลีน เป็นเวลา 15 นาที
- ล้างสารละลายไตรคลอโรเอธิลีนออกด้วย อะซีโตนในเครื่องสั่นความถี่สูง และ ล้างด้วยน้ำ DI แล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซ N_2
- ลอกชั้นออกไซด์ออกด้วยสารละลาย HF 5% และล้างออกด้วยน้ำ DI แล้วเป่าแห้ง จะสังเกต เห็นรอยขีดบนแผ่นซิลิคอนที่เกิดจากการขัดด้วยครีมเพชร ดังรูปที่ 3.2

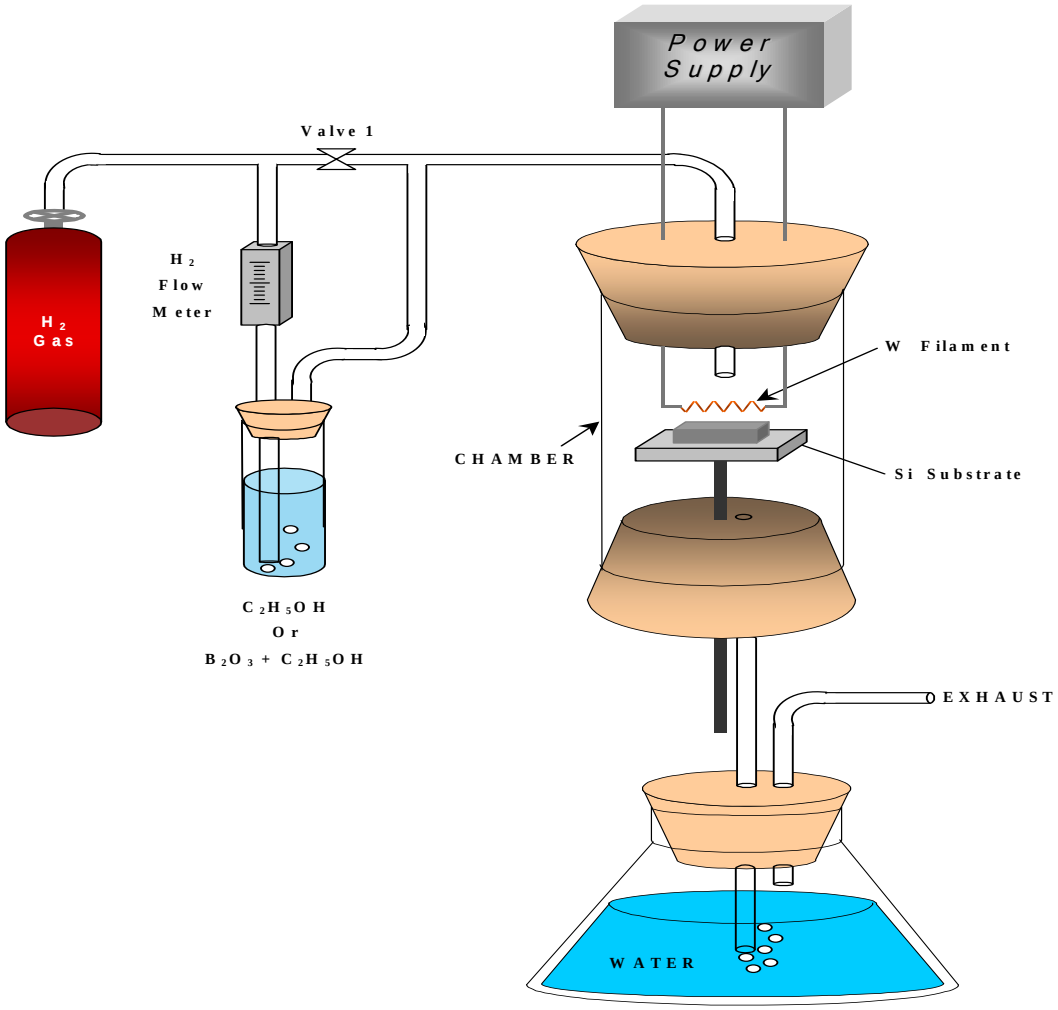
รูปที่ 3.1 ครีมเพชรที่ใช้ขัดแผ่นซิลิคอน



รูปที่ 3.2 ลักษณะรอยขัดที่เกิดจากการขัดด้วยครีมเพชรขนาด 1 μm

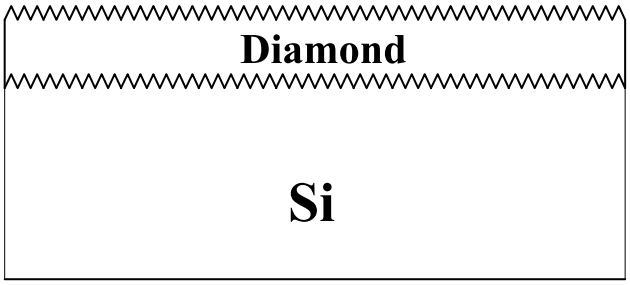
3.2 กระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มเพชร [17]

การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรทั้งชนิดพีและฟิล์มเพชรชนิดเอ็น ในการวิจัยนี้จะอาศัยวิธี CVD แบบ Hot-Filament CVD(HFCVD) โดยจะมีไดอะแกรมของระบบ CVD ที่ใช้อย่างง่าย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งมีขั้นตอนในการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรดังต่อไปนี้

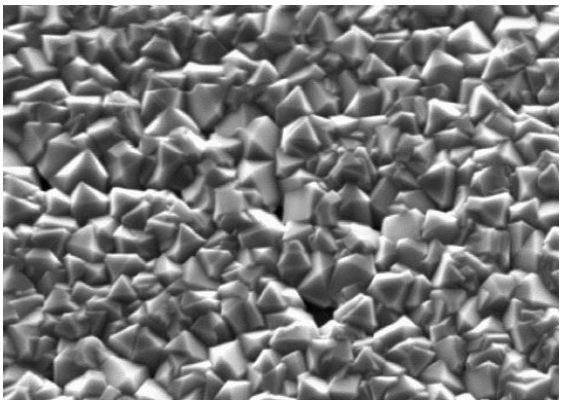


รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมระบบ CVD อย่างง่ายที่ใช้สังเคราะห์ฟิล์มเพชร

- ปล่อยก๊าซไฮโดรเจนจากถังผ่านวาล์ว 1 เข้าไปใน Chamber ประมาณ 15 นาที เพื่อให้ใน chamber เป็นบรรยากาศของก๊าซไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียว
- ปิดวาล์ว 1 เพื่อให้ก๊าซไฮโดรเจนไหลผ่านแหล่งจ่ายเป็นตัวพาไอระเหยแอลกอฮอล์เข้า Chamber เป็นเวลา 15 นาที ด้วยอัตราการไหลคงที่ควบคุมโดย Flow meter
- ค่อยจ่ายกระแสอย่างช้า ๆ ให้กับไส้หลอดทังสเตนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของไส้หลอดจนมีอุณหภูมิประมาณ 2000°C
- ปรับระยะห่างระหว่างฐานรองซิลิคอนกับไส้หลอดทังสเตนให้ได้ระยะที่เหมาะสม
- สร้างฟิล์มเพชรตามระยะเวลาที่ต้องการ
- เมื่อครบระยะเวลาที่ต้องการสร้างแล้วจึงค่อย ๆ ลดระยะของฐานรองซิลิคอนให้ต่ำลงจากไส้หลอดมาก ๆ พร้อมกับลดการจ่ายกระแสลงอย่างช้า ๆ
- ปิดถังก๊าซไฮโดรเจน และรอจนกระทั่งก๊าซไฮโดรเจนในระบบที่ยังค้างอยู่ออกจนหมด
- นำชิ้นงานที่ได้มาผ่านกระบวนการ Anneal ในบรรยากาศของก๊าซไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 900˚ C เป็นเวลา 9 นาทีรูปตัดขวางของชิ้นงาน และ ภาพถ่ายลักษณะของฟิล์มเพชร แสดงดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 แสดงแผ่นซิลิคอนหลังจากที่สังเคราะห์ฟิล์มเพชร



รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายลักษณะของฟิล์มเพชร

3.2 กระบวนการสร้างรอยสัมผัสโลหะกับฟิล์มเพชร

ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการสร้างรอยสัมผัสโลหะที่เป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มมิค(Ohmic) ซึ่งใช้โลหะทองคำ และกาวเงิน เป็นตัวเคลือบบนฟิล์มเพชร โดยกระบวรการเคลือบโลหะทองคำจาก เครื่อง Vacuum Evaporator ซึ่งต้องผ่านกระบวนการต่างๆ ดังนี้ การออกแบบลวดลายของรอยสัมผัส และ กระบวนการโฟโตลิโทกราฟฟี โดยอธิบายทีละส่วนดังต่อไปนี้

3.3.1 การออกแบบลวดลายโลหะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม CroralDraw 10 เป็นโปรแกรมในการออกแบบ เมื่อออกแบบแล้วนำไปพิมพ์ลวดลายลงแผ่นใส แล้วติดลงกระจกนำไปใช้เป็นมาร์กต้นแบบ โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือลวดลายโลหะสำหรับศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร และ ลวดลายโลหะของโฟโตไดโอด

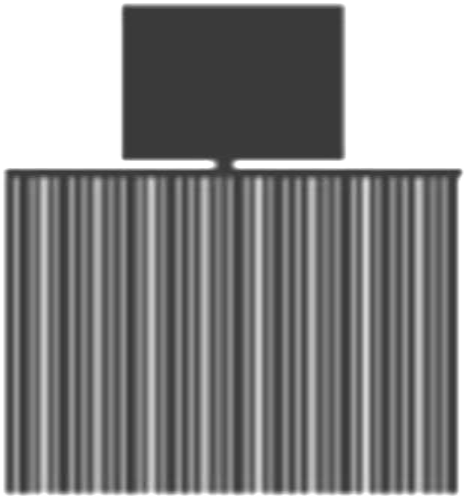
3.3.1.1 การออกแบบลวดลายโลหะเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร

รูปที่ 3.6 ลักษณะลวดลายโลหะเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร

ในหัวข้อนี้จะศึกษาถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร โดยออกแบบขั้วโลหะให้มีขนาด 1 mm * 1 mm โดยมีระยะห่าง 40 μm เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร

3.3.1.2 การออกแบบลวดลายโลหะของโฟโตไดโอด

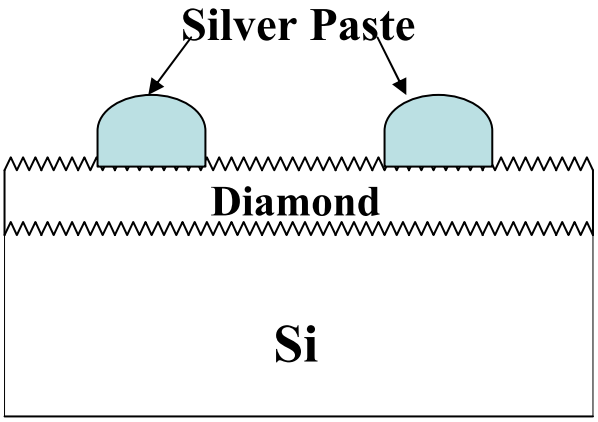
ทำการออกแบบลวดลายโลหะของโฟโตไอดให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.7 โดยกำหนดขนาดเส้นโลหะซึ่งในรูปจะเป็นสีดำมีขนาดคงที่ 40 μm โดยมีระยะห่างระหว่างลวดลาย 40 μm ซึ่งจะให้ปริมาณกระแสที่เกิดเนื่องมาจากแสงนั้นมีค่ามากสุด เนื่องจากแสงตกกระทบที่บริเวณสารกึ่งตัวนำจะเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น ถ้าบริเวณสารกึ่งตัวนำไม่มีสนามไฟฟ้าตกคร่อมประจุพาหะที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่อย่างอิสระก่อนที่จะเกิดการรวมตัวกันหมด แต่ถ้ามีนามไฟฟ้าตกคร่อมอยู่ประจุพาหะก็จะเคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของสนามไฟฟ้าและจะเกิดการรวมตัวเหมือนกัน แต่การรวมตัวนี้จะน้อยลงเมื่อระยะห่างระหว่างโลหะมีค่าน้อยๆ กล่าวคือประจุพาหะจะเคลื่อนที่เข้าสู่โลหะก่อนที่จะเกิดการรวมตัว ซึ่งเป็นผลให้ปริมาณกระแสที่เกิดเนื่องมาจากแสงมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.7 รูปลวดลายโลหะของโฟโตไดโอด

3.3.2 การสร้างรอยสัมผัสระหว่าง ฟิล์มเพชรกับกาวเงิน

ภายหลังจากสร้างฟิล์มเพชรได้จากกระบวนการ ดังหัวข้อที่ 3.2 แล้วในหัวข้อนี้จะเป็นกระบวนการสร้างรอยสัมผัสจากกาวเงิน โดยสามารถทำได้โดยนำกาวเงินหยดลงบนฟิล์มเพชร จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง เพื่อให้ชั้นกาวเงินแห้งสนิท ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9 แสดงภาพถ่ายของชิ้นงานที่มีรอยสัมผัสจากกาวเงิน



รูปที่ 3.8 ภาพตัดขวางรอยสัมผัสระหว่าง ฟิล์มเพชรกับกาวเงิน

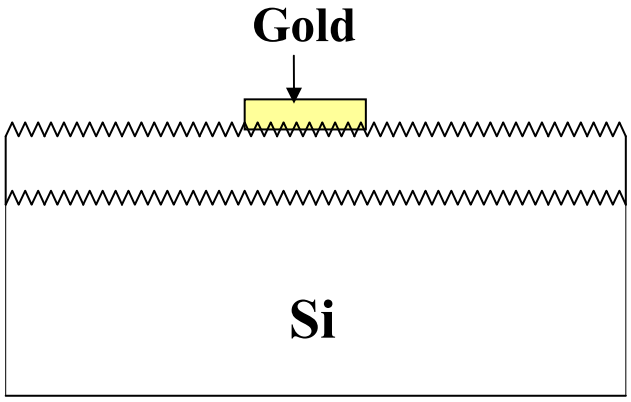
รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายชิ้นงานที่สร้างรอยสัมผัสระหว่าง ฟิล์มเพชรกับกาวเงิน

3.3.3 การสร้างรอยสัมผัสระหว่างโลหะทองคำกับฟิล์มเพชร

ในขั้นตอนนี้ใช้โลหะทองคำสร้างรอยสัมผัสแบบโอห์มมิค เพื่อใช้วัดข้อมูลต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

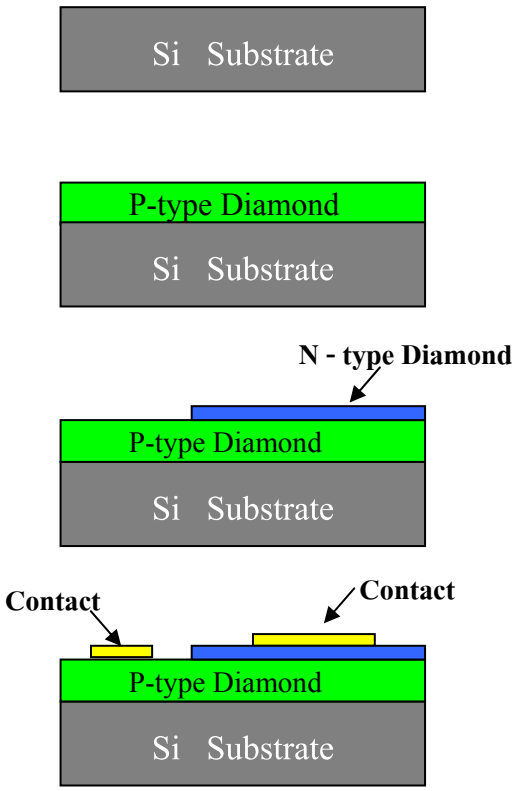
- เคลือบทองคำโดยใช้เทคนิค Vacuum Thermal Evaporation ที่ความดัน 3×10^{-6}
- นำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 90˚ C เป็นเวลา 30 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวกเบอร์ AZ 1350 ด้วยเครื่องสปินเนอร์ ที่ 3000 rpm เป็นเวลา 20 วินาที แล้วอบชิ้นงานทีอุณหภูมิ 90˚ C เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้น้ำยาไวแสงแห้ง
- ฉายแสงอัลตร้าไวโอเล็ตผ่านกระจกลวดลาย ด้วยเครื่อง Mask Aligner

- จุ่มชิ้นงานลงในสารละลาย AZ developer ประมาณ 30 วินาที
- ล้างด้วยน้ำ DI ให้สะอาดแล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- อบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 90˚ C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ชิ้นงานแห้งสนิท
- สกัด(etching) ทองคำออกบางส่วนด้วยสารละลาย Au-etching (HCL : HNO_3 = 3 : 1 vol./vol.) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที
- ล้างด้วยน้ำ DI ให้สะอาด แล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ล้างน้ำยาไวแสงด้วย Acetone(C_3H_6O) เป็นเวลา 10 นาทีจะทำให้ได้ลวดลายรอยสัมผัสทองคำบนฟิล์มเพชรดังรูปที่ 3.10 และ 3.11
- ทำการ Sintering ที่อุณหภูมิ 500˚ C ในบรรยากาศของก๊าซ ไนโตรเจน เป็นเวลา 12 นาที โดยกระบวนการทั้งหมดสามารถแสดงได้ด้วยแผนภาพในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.10 โครงสร้างรอยสัมผัสระหว่าง ฟิล์มเพชรกับทองคำ

รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายชิ้นงานที่สร้างรอยสัมผัสระหว่างฟิล์มเพชรกับทองคำ



ฐานรองซิลิคอน ระนาบ (111) ที่ผ่านการเตรียม

สังเคราะห์ฟิล์มเพชรชนิดพี โดยใช้แหล่งจ่ายคาร์บอน เป็นสารละลาย $C_2H_5OH + B_2O_3$

สังเคราะห์ฟิล์มเพชรชนิดเอ็น โดยใช้แหล่งจ่ายคาร์บอน เป็นสารละลาย $C_2H_5OH + P_2O_5$

สร้างรอยสัมผัสโลหะทองคำ ให้ได้ลวดลายตามที่ออกแบบไว้

รูปที่ 3.12 ลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้างโฟโตไดโอดจากฟิล์มเพชร

3.4 การตรวจสอบฟิล์มเพชรด้วยภาพถ่าย SEM และ เทคนิค Raman Spectroscope

3.4.1 การตรวจสอบฟิล์มเพชรด้วยภาพถ่าย SEM

ในงานวิจัยครั้งนี้มีเงื่อนไขที่ต้องตรวจสอบพื้นผิวหน้า และ ความหนาของฟิล์มเพชรที่สร้างได้ เบื้องต้นทำการสังเคราะห์เพชรชนิดพี เวลา 30 นาที ได้ความหนาประมาณ 3 μm จากนั้นจึงทำการทดลองสร้างฟิล์มเพชรชนิดเอ็นมีความหนาแตกต่างกันออกไป โดยใช้เงื่อนไขของเวลาเป็นตัวกำหนด คือ 30 นาที 40 นาทีและ 50 นาที แล้วจึงตรวจสอบด้วยภาพถ่าย SEM ซึ่งเครื่อง SEM แสดงไว้ในภาคผนวก ก-1

3.4.2 การตรวจฟิล์มเพชรด้วยเทคนิค Raman Spectroscopy

เทคนิคนี้จะเป็นการยืนยันว่าสิ่งที่สร้างได้นั้นเป็นเพชรจริงซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเพชรธรรมชาติ และจะมีปริมาณของเพชรอยู่มากน้อยเพียงไรเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกราไฟต์ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรเสมอ โดยเครื่อง Raman Spectroscopy แสดงในภาคผนวก ก-2

3.5 กระบวนการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงของฟิล์มเพชร

ในการศึกษาเกี่ยวกับโฟโตไดโอดจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติต่างๆของฟิล์มเพชรก่อน เช่น คุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสง เป็นต้น

3.5.1 การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มเพชร

ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความต้านทาน(R) สภาพต้านทานไฟฟ้า(ρ) ปริมาณอะตอมสารเจือ โดยทำการสร้างฟิล์มเพชรที่มีความหนาแน่นอะตอมสารเจือค่าต่างๆ ซึ่งอยู่ในรูป (B:C) และ (P:C) ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

– ทำการเตรียมแผ่นซิลิคอน ตามหัวข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 ตามลำดับ

– ทำการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรชนิดพีและเอ็น ที่ความหนาแน่นอะตอมสารเจือ 10 ppm, 100 ppm, 1000 ppm และ 500 ppm, 5000 ppm, 10000 ppm ตามลำดับ โดยทำตามวิธีสร้างในหัวข้อที่ 3.2

– นำชิ้นงานที่ได้มาทำความสะอาดแล้วผ่านขบวนการโฟโตลิโธกราฟฟี โดยใช้ลวดลายโลหะ ตามที่ออกแบบไว้ ตามหัวข้อที่ 3.3.1.1

– ทำการเคลือบโลหะทองคำด้วยเครื่อง Vacumm Evaporator และ Sintering ที่อุณหภูมิ 500 $^{\circ}$C ในบรรยากาศของก๊าซ N_2 เป็นเวลา 12 นาที

– นำชิ้นงานที่ได้ทำการวัดคุณสมบัติ กระแสและแรงดัน(I-V) แล้วหาค่าความต้านทานของฟิล์มเพชรจากนั้นคำนวณหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆต่อไป

3.5.2 การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของฟิล์มเพชร

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของฟิล์มเพชร เช่น สภาพนำไฟฟ้ามืด สภาพนำไฟฟ้าแสง และ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสภาพนำไฟฟ้ามืดต่อสภาพนำไฟฟ้าแสง โดยใช้ชิ้นงานจากหัวข้อ 3.5 มาทำการวัดกับแสง UV โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นอะตอมสารเจือ ฟอสฟอรัส ที่ค่าต่างๆ

3.5.3 การศึกษาอัตราการเกิดของฟิล์มเพชร

การศึกษาอัตราการเกิดของฟิล์มเพชร โดยเครื่อง CVD แบบขดลวดความร้อน ใช้เวลาในการสังเคราะห์ 30, 40 และ 50 นาที ตามลำดับ จากนั้นจึงนำฟิล์มเพชรที่ได้ไปตรวจสอบความหนาของฟิล์มเพชรด้วยเครื่อง SEM

3.6 การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆของโฟโตไดโอด

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆของโฟโตไดโอดโครงสร้าง n-diamond / p-diamond โดยศึกษาคุณสมบัติของกระแสและแรงดัน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นอะตอมสารเจือ รวมทั้งความหนาของฟิล์มเพชรที่ทำการสร้าง โดยจะกล่าวถึงต่อไป

3.6.1 การศึกษาคุณสมบัติ ความสัมพันธ์กระแส-แรงดันไฟฟ้าของโฟโตไดโอดในสภาวะมืด

นำชิ้นงานที่ได้จากหัวข้อ 3.6.3 มาวัดลักษณะสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันในสภาวะมืด

3.6.2 การศึกษาคุณสมบัติ ความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า ของโฟโตไดโอด

นำชิ้นงานที่ได้จากหัวข้อ 3.6.3 มาวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้า โดยให้แรงดันไบอัสย้อนกลับ 0-5โวลต์

3.6.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นของ P:C ที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแส และแรงดันไฟฟ้าของโฟโตไดโอด

ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของอะตอมสารเจือฟอสฟอรัสตามเงื่อนไขในตารางที่ 3.1 เพื่อทดลองว่ามีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของโฟโตไดโอดอย่างไร เช่น ปริมาณกระแสที่ไหล กระแสรั่วไหลย้อนกลับ ค่าความต้านทาน โดยการศึกษาทั้งหมดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

– ทำการเตรียมแผ่นซิลิคอน ตามหัวข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 ตามลำดับ

– ทำการสังเคราะห์ชั้นฟิล์มเพชรชนิดพี โดยใช้ความหนาแน่นอะตอมสารเจือ 1000 ppm ใช้เวลาในการสร้าง 30 นาที

– ทำการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรชนิดเอ็น ใช้เวลาการสร้าง 30 นาทีโดยเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอะตอมสารเจือดังนี้ 500 ppm, 5000 ppm, 10000 ppm

– ทำการสร้างรอยสัมผัส ตามวิธีในหัวข้อ 3.3.3

– จากนั้นทำการวัดผลของความเข้มข้น P:C ที่มีต่อกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดที่ความเข้มแสง 1000 , 3000 , 5000 , 7000 , 9000 , 10000 Lux

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการศึกษาผลของความเข้มข้นอะตอมสารเจือฟอสฟอรัส

	ความหนาแน่นอะตอมสารเจือ (ppm)	เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ (min)
B/C	1000	30
P/C	**500** **5000** **10000**	30

3.7 การศึกษาผลของความเข้มแสงที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของโฟโตไดโอด

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาเพื่อจะดูว่าลักษณะของกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยใช้ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 3.6.3 และใช้ความเข้มแสง 1000, 3000, 5000, 7000, 9000, 10000 Lux จากหลอด UV

3.8 การศึกษาผลของความหนาของฟิล์มเพชรชนิดเอ็น ที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของโฟโตไดโอด

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของความหนาของฟิล์มเพชรชนิดเอ็นที่มีต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดอย่างไร โดยขั้นตอนทั้งหมดเหมือนกับการทดลองในหัวข้อที่ 3.6.3 เพียงแต่มีเงื่อนไขการทดลองดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการศึกษาผลของความหนาของฟิล์มเพชรชนิดเอ็นที่มีต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดัน

	ความหนาแน่นอะตอมสารเจือ (ppm)	เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ (min)
B/C	1000	30
P/C	500	**30** **40** **50**

3.9 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้าของโฟโตไดโอด

การศึกษาในหัวข้อนี้จะทำการเพิ่มอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมให้กับโฟโตไดโอด มีค่าต่อไปนี้ คือ 30, 50, 75 และ 90 ˚C โดยจะดูผลว่าอุณหภูมิมีผลอย่างไร ต่อคุณสมบัติกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอด