

ข้าวไฟฟ้าชนิดฟิล์มเพชร

DIAMOND FILM ELECTRODE

จัดทำโดย

นาย ธีรนนท์ แก้วประดิษฐ์ เลขประจำตัว 47012208

นาย ปิติวัฒน์ เชียร์ศิริกุล เลขประจำตัว 47012218

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อเรื่อง

ขั้วไฟฟ้าชนิดฟิล์มเพชร

DIAMOND FILM ELECTRODE

จัดทำโดย นาย ฉัฐนนท์ แก้วประดิษฐ์ เลขประจำตัว 47102208

นาย ปิติวัฒน์ เชียร์ศิริกุล เลขประจำตัว 47012218

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ปีการศึกษา 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วไฟฟ้าชนิดฟิล์มเพชร

นาย ปิติวัฒน์ เชียร์ศิริกุล เลขประจำตัว 47012218
นาย ฉัฐนนท์ แก้วประดิษฐ์ เลขประจำตัว 47102208
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการสร้างฟิล์มเพชร เพื่อประยุกต์ใช้งานสำหรับขั้วไฟฟ้าเคมี ซึ่งขั้วไฟฟ้าเคมีที่ดีจะมีความเหมาะสมใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ หรือความเข้มข้นของสารที่ต้องการ ขั้วไฟฟ้าเคมีใช้เป็นขั้วไฟวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารนั้น ฟิล์มเพชรเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทนกรดและทนด่าง จึงมีความเหมาะสมเป็นขั้วไฟฟ้าเคมีโดยฟิล์มเพชรของโครงการนี้ได้จากการสังเคราะห์ในกระบวนการ CVD แบบลดความร้อนที่ความดัน 50 ทอร์ ควบคุมเงื่อนไขให้ได้ฟิล์มเพชรหนา 10 μm บนฐานรองซิลิคอนที่มีการควบคุมพื้นที่ฟิล์มเพชร โดยเทคนิคใช้ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์เป็นหน้ากักป้องกันการเกิดฟิล์มเพชร สำหรับการวัดและทดสอบตรวจสอบ ลักษณะพื้นผิว รูปร่าง เมื่อทดสอบในสารละลาย H_2SO_4 10% ที่ศักดาไฟฟ้า 10v จะให้ความหนาแน่นกระแส 0.2 A/cm^2

DIAMOND FILM ELECTRODE

Mr. Nuttanon Kaewpradit student ID. 47102208

Mr. Pitiwat Cheersirikul student ID. 47012218

Associate Prof. Somsak Cheersirikul

Year 2007

ABSTRACT

This report has studied and developed diamond film electrode for fabrication chemical electrode. Which chemical electrode has should be the stable uses in the analysis the quantity or concentration of chemical solution. Electrode uses to measurement electrical response from chemical reaction in solution. Diamond film is the semiconductor material and has chemical resistance property. Then have the suitability is chemical electrode. Diamond film was synthesized on a silicon by hot - filament CVD on silicon substance with the optimization condition for 10 μ m. This diamond film has the active area of electrode control dimensions by technique uses SiO₂ be a mask then testing , study surface and shape and measurement in solution H₂SO₄ 10% at electrical bias 10v current density flow 0.2A/cm²

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	2
2.1 फिल्मเพชร	2
2.2 รอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ	7
2.3 เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า	12
2.4 ขั้วไฟฟ้าฟิล์มบางเพชรเจือโบรอน	19
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	21
3.1 การออกแบบขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชร	21
3.2 การออกแบบไดอะแฟรม	24
3.3 ขั้นตอนกระบวนการสร้าง	25
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	31
4.1 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร	31
4.2 ผลการศึกษาการสร้างฟิล์มเพชรตามลวดลายที่กำหนด	35
4.3 การทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้า	41
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ ผลการทดลอง	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก ก	46
ภาคผนวก ข	47
ภาคผนวก ค	48
ภาคผนวก ง	49

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แบบจำลองโครงสร้างผลึกเพชร	2
รูปที่ 2.2 ระนาบต่างๆ ของเพชร	3
รูปที่ 2.3 ภาพโคอะแกรมระบบ CVD แบบลดความร้อน	6
รูปที่ 2.4 ภาพจำลองการก่อตัวของฟิล์มเพชรที่มีลักษณะเป็นแบบ โพลีคริสตัลไลน์	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น(N)	8
รูปที่ 2.6 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P)	8
รูปที่ 2.7 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น(N)	9
รูปที่ 2.8 โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสแรงดันไปข้างหน้า (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์บวกและโลหะให้ศักย์ลบ)	11
รูปที่ 2.9 โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสแรงดันไปข้างหน้า (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์ลบและโลหะให้ศักย์บวก)	11
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของเซตสี่เล็กโทรไลต์ในการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า	13
รูปที่ 2.11 โวลเทจโปรแกรมของไซคลิกโวลแทมเมตรี	15
รูปที่ 2.12 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของไซคลิก โวลแทมโมแกรมคือ ขนาดของ กระแสฟีด	15
รูปที่ 2.13 ลักษณะไซคลิกโวลแทมโมแกรม ของปฏิกิริยารีดอกซ์ประเภทต่างๆ	17
รูปที่ 2.14 เมื่อขั้วไฟฟ้าเพชรวางอยู่ในสารละลาย H_2SO_4	20
รูปที่ 3.1 มาร์คกำหนดพื้นที่ฟิล์มเพชร	22
รูปที่ 3.2 มาร์คกำหนดพื้นที่การกัดสำหรับขั้วไฟฟ้า	23
รูปที่ 3.3 ภาพตัดขวางแสดงลักษณะการกัดแบบแอนไอโซโทรปิก	24
รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มเพชร	25
รูปที่ 3.5 แผ่นซิลิคอนเริ่มต้นระนาบ 100	26

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.6 แผ่นซิลิคอนที่ขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชรขนาด 0.25 ไมครอน	26
รูปที่ 3.7 สร้าง ชั้น Nitride บนแผ่น ซิลิคอน	26
รูปที่ 3.8 Etch Si_3N_4 ออก ด้วยกรด Buffer 180 °	27
รูปที่ 3.9 สร้างชั้น Nitride	27
รูปที่ 3.10 Etch N_4 ด้านหลัง	28
รูปที่ 3.11 สร้างชั้นออกไซด์	28
รูปที่ 3.12 Etch Si_3N_4 ด้วยกรด ฟอสฟอริก	29
รูปที่ 3.13 สร้างฟิล์มเพชร	29
รูปที่ 3.14 กัด EPD	30
รูปที่ 3.15 ขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชรที่เสร็จสมบูรณ์	30
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่าของผิวหน้า	31
รูปที่ 4.2 แผนภาพไดอะแกรมของระบบเครื่องสร้างฟิล์มเพชร	32
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายฟิล์มที่สังเคราะห์ได้ระยะเวลาสังเคราะห์ฟิล์ม 8 ชั่วโมง ความหนาฟิล์ม 8 ไมครอน พื้นที่ขนาด $2.3 \times 23 \text{ c.m}^2$	35
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างลวดลายที่ใช้ในการทดลอง (กำลังขยาย 100 เท่า)	36
รูปที่ 4.5 แผนภาพผลความหนาของชั้น SiO_2 ที่มีต่อการเกิดลวดลายของฟิล์มเพชร (a) กรณี SiO_2 บางๆ (b) กรณี SiO_2 หนา	37
รูปที่ 4.6 รายละเอียดขนาด 20 ไมครอน	38
รูปที่ 4.7 ภาพมุมฉากของการเกิดพื้นที่เพชร	38
รูปที่ 4.8 ภาพมุมฉากของการเกิดพื้นที่เพชร	39
รูปที่ 4.9 ช่องว่างระหว่างเพชร Error เนื่องจากเพชรเกิดล้าเข้าไปในออกไซด์	40
รูปที่ 4.10 ข้อผิดพลาดเกิดจากกระบวนการลอก Si_3N_4 ไม่สมบูรณ์	40
รูปที่ 4.11 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	41
กราฟที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage (v) กับ Current density (A/cm^2)	42
กราฟที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Time t(s) กับ Current density (A/cm^2)	43

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage (v) กับ Current density (A/cm^2)

42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
ϵ	ค่าเพอิมิตติวิตี (permittivity)
ϵ_0	ค่าเพอิมิตติวิตีของสุญญากาศ (permittivity of vacuum)
ϵ_s	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสารกึ่งตัวนำ (dielectric constant of semiconductor)
θ	มุม(angle)
χ	อิเล็กตรอนเอฟฟินิตี (electron affinity)
λ	ความยาวคลื่นของแสง (wavelength of light)
μ	ความคล่องตัวของพาหะ (mobility)
μ_e	ความคล่องตัวของอิเล็กตรอน (electron mobility)
μ_h	ความคล่องตัวของโฮล (hole mobility)
ν	ความถี่ของแสง (frequency of light)
ρ	สภาพความต้านทาน ไฟฟ้า (electrical resistivity)
σ_o	สภาพนำไฟฟ้า (conductivity)
σ_D	สภาพนำไฟฟ้ามืด (dark conductivity)
σ_p	สภาพนำไฟฟ้าด้วยแสง (photoconductivity)
τ	เวลาอายุพาหะ (lifetime)
ϕ	ฟังก์ชันงาน (work function)
ω	ความถี่เชิงมุม (angular frequency)
B	แบนด์วิดท์ (band width)
C	ความจุไฟฟ้า (capacitance)
C_j	ความจุไฟฟ้าที่รอยต่อ (junction capacitance)
E_A	ระดับพลังงานแอกเซปเตอร์ (acceptor level)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
E_C	ระดับคอนดักชัน (conduction level)
E_D	ระดับพลังงาน โดเนอร์ (donor level)
E_f	ระดับพลังงานเฟอร์มี (fermi level)
E_g	ช่องว่างแถบพลังงาน (energy band gap)
E_V	ระดับเวเลนซ์ (valence level)
f	ความถี่ (frequency)
I	กระแสไฟฟ้า (current)
I_d	กระแสไฟฟ้ามืด (dark current)
I_p	กระแสไฟฟ้าโฟโต (photocurrent)
I_s	สัญญาณรบกวนชนิดช็อต (shot noise)
I_{sc}	กระแสไฟฟ้าเอาต์พุตลัดวงจร (short circuit output current)
m^*	มวลประสิทธิผล (effective mass)
N_A	ความหนาแน่นของแอกเซ็ปเตอร์ (acceptor density)
N_V	ความหนาแน่นประสิทธิผลของสล็อตของโฮล (effective density of holes)
q	ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน (electronic charge)
V_{bi}	ศักย์ไฟฟ้าภายใน (built-in voltage)
V_{oc}	แรงดันเอาต์พุตวงจรมเปิด (open circuit voltage)

บทที่ 1

บทนำ

ฟิล์มเพชรเป็นรูปแบบหนึ่งของคาร์บอนซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำอยู่ในหมู่ 4 ของตารางธาตุเช่นเดียวกับซิลิคอน ดังนั้นฟิล์มเพชรจึงมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้เช่นเดียวกับซิลิคอนเช่นกัน นอกจากนี้ฟิล์มเพชรยังมีคุณสมบัติบางด้านที่พิเศษกว่าซิลิคอน เช่นมีความแข็ง มีลักษณะโปร่งใสแสงความต้านทานไฟฟ้าสูง(10^7 V/cm) ค่าความคล่องตัวของพาหะอิเล็กตรอนและโฮลสูง(2000 และ $1,800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) มีเสถียรภาพของอุณหภูมิพื้นผิวสูง $500-600$ °C ในอากาศ และ $1,400-1,700$ °C ในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย) มีค่าความนำความร้อนสูงมาก (20 W/cmK) โดยธรรมชาติแล้วเพชรเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีที่สุด แต่เมื่อทำการเจือโบรอนแล้วเพชรจะมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำไฟฟ้า และนำมาใช้งานในการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าได้

วัสดุที่นิยมใช้เป็นขั้วไฟฟ้าทางเคมี ไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น carbon fiber, glassy carbon และ graphite เป็นต้น เมื่อพิจารณาโครงสร้างในระดับ 10^{-6} เมตร แล้วจะเห็นได้ว่าการรวมตัวกันเป็นลักษณะแบบ six-membered aromatic rings ซึ่งโครงสร้างคาร์บอนสร้างพันธะแบบ sp^3 ส่งผลทำให้อิเล็กตรอนภายในโมเลกุล หรือระหว่างโมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้ การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาใช้ในทางเคมีไฟฟ้านั้น ได้มีการศึกษามานานกว่า 30 ปี โดยมีการศึกษาในโครงสร้างลักษณะต่างๆ โดยพิจารณาจากความสามารถการนำไฟฟ้าและในลักษณะของสารกึ่งตัวนำ โดยเฉพาะฟิล์มบางเพชรเจือโบรอนมีผู้สนใจอย่างมากที่จะนำมาเป็นวัสดุทางเคมีไฟฟ้า โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีทางฟิสิกส์ และทางอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสมมาเป็นขั้วไฟฟ้าทำงานจะต้องมีปริมาณของโบรอนที่เจืออยู่มากกว่าหรือเท่ากับ $10^{19} / \text{cm}^{-3}$

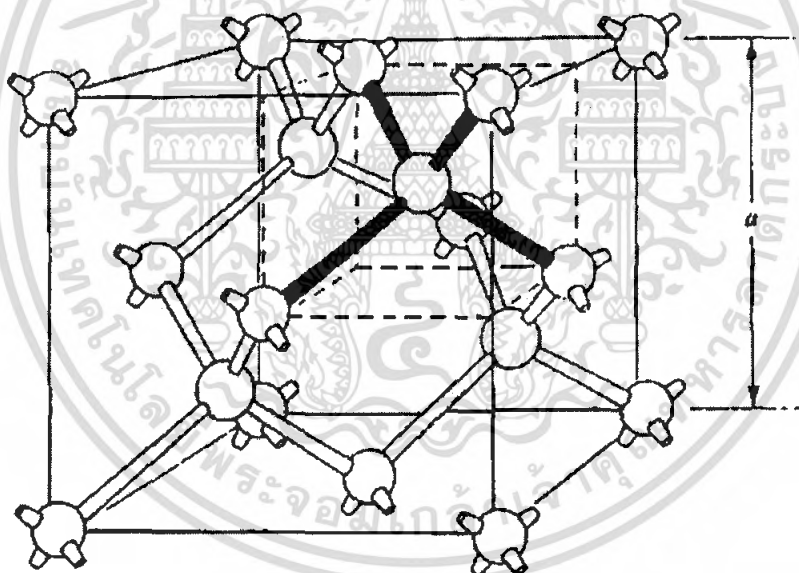
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ฟิสิกส์เพชร

2.1.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกเพชร

โครงสร้างของผลึกเพชรมีลักษณะเป็นแบบ face center cubic โดยที่อะตอมคาร์บอนยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโควาเลนต์ โดยในหนึ่งยูนิตเซลล์ (unit cell) จะประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 8 อะตอม ซึ่งมีลักษณะการยึดเหนี่ยวกันในรูปที่ 2.1 คือ 1/8 ของอะตอม อยู่บริเวณมุมทั้งแปด อีก 1/2 อะตอมอยู่ที่แต่ละหน้าของยูนิตเซลล์

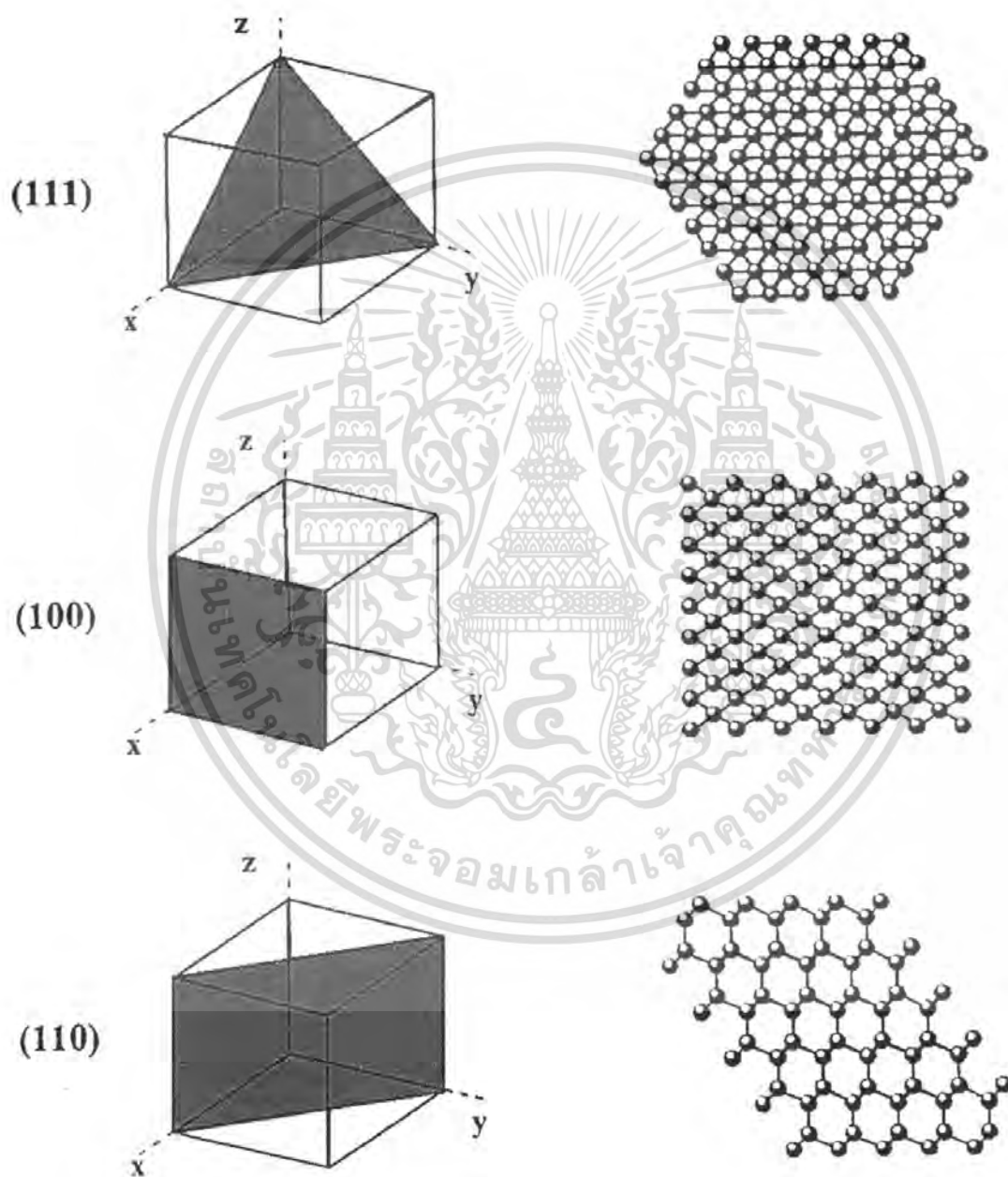


รูปที่ 2.1 แบบจำลอง โครงสร้างผลึกเพชร

เมื่อพิจารณาระนาบของผลึกเพชรสามารถเกิดการเรียงตัวได้หลายระนาบ เช่น ระนาบ (111) จะมีลักษณะเหมือนอะตอมคาร์บอนในระนาบเดียวกันเรียงตัวเป็นสามเหลี่ยมซ้อนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาบ(100) จะมีลักษณะเหมือนอะตอมคาร์บอนในระนาบเดียวกันเรียงตัวเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสและระนาบ(110) จะมีลักษณะเหมือนอะตอมคาร์บอนในระนาบเดียวกันเรียงตัวเป็น สี่เหลี่ยมผืนผ้าตัวอย่างระนาบของเพชรแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระนาบต่างๆ ของเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 คุณสมบัติต่างๆ ของเพชร

เพชรมีคุณสมบัติที่พิเศษกว่าสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ อยู่หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ทางไฟฟ้า และทางแสงเป็นต้น โดยถ้าพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ เนื่องจากเพชรมีการยึดเหนี่ยวของอะตอมเป็นแบบพันธะโควาเลนต์ซึ่งเป็นพันธะเคมีที่มีความแข็งแรงจึงทำให้เพชรมีความแข็งสูง นอกจากนี้ยังมีความทนต่อการกัดของสารเคมีและมีความนำความร้อนสูง ในด้านคุณสมบัติทางไฟฟ้า พบว่าค่าความคล่องตัวของประจุพาหะ โฮลและอิเล็กตรอน มีค่าสูง และเพชรยังมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำทำให้สามารถทำงานได้ที่มีความถี่สูง ส่วนคุณสมบัติทางแสงนั้นเพชรมีความกว้างช่องว่างแถบพลังงานสูงจึงมีความเหมาะสมในการนำมาสร้างเป็น อุปกรณ์ตรวจวัดแสงความยาวคลื่นสั้น ซึ่งจะทำให้การรบกวนจากแสงช่วงตามองเห็นต่ำ

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพชรกับสารกึ่งตัวนำอื่นๆ [3]

คุณสมบัติ	เพชร	ซิลิคอน	แกเลียมอาร์เซไนด์	เยอรมันเนียม
Thermal conductivity (W/cm-k)	20	1.5	0.455	0.28
Electron mobility (cm ² /V-s)	2,000	1,500	8,800	3,900
Hole mobility (cm ² /V-s)	1,800	600	400	1,900
Electron saturated velocity (cm/s)	2.7x10 ⁷	1x10 ⁷	1.2x10 ⁷	5x10 ⁶
Hole saturated velocity (cm/s)	1.05x10 ⁷	9x10 ⁶	1x10 ⁷	4x10 ⁶
Density of states effective mass				
Electron	0.57	1.1	0.068	0.55
Hole	1.2	0.8	0.5	0.37
Effective density of states				
Conduction band (cm ⁻³)	1x10 ¹⁹	2.8x10 ¹⁹	4.7x10 ¹⁷	1.04x10 ¹⁹
Valence band (cm ⁻³)	3x10 ¹⁹	1x10 ¹⁹	7x10 ¹⁸	6.0x10 ¹⁸
Breakdown field (V/cm)	10 ⁷	5x10 ⁶	3x10 ⁵	10 ⁴
Resistivity (Ω.cm)	10 ¹⁶	10 ³	10 ⁸	10
Dielectric constant (ε)	5.7	11	12.5	15.8
Energy gap (eV)	5.45	1.1	1.42	0.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

ปัจจุบันการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรสามารถทำได้หลายวิธี เช่นสังเคราะห์ด้วยระบบ CVD แบบหลอดความร้อน(Hot-Filament CVD), แบบคลื่นไมโครเวฟ(Micro wave Plasma CVD), แบบดีซีพลาสมา(DC Plasma CVD) และแบบคลื่นความถี่(RF Plasma CVD) เป็นต้น

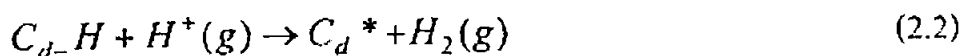
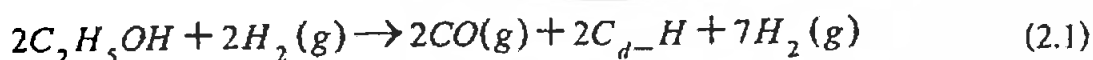
โดยในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดเฉพาะ วิธีการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธีการ CVD แบบหลอดความร้อนซึ่งไดอะแกรมระบบCVD แสดงในรูปที่2.3 หลักการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรมีดังนี้

1. ในระบบต้องมีอะตอมคาร์บอน

เนื่องจากการสังเคราะห์ฟิล์มเพชร จะใช้อะตอมคาร์บอนเป็นปัจจัยในการเกิดผลึกเพชร โดยสามารถใช้ก๊าซไฮโดรคาร์บอน หรือแอลกอฮอล์เป็นแหล่งจ่ายคาร์บอน ซึ่งนอกจากจะได้อะตอมคาร์บอนแล้ว ในส่วนก๊าซไฮโดรเจนยังมีส่วนสำคัญในการกำจัดกราไฟต์ ซึ่งปริมาณของก๊าซไฮโดรเจน และอนุมูลคาร์บอนที่เหมาะสมจะทำให้การเกิดของเพชรมีคุณภาพที่ดี

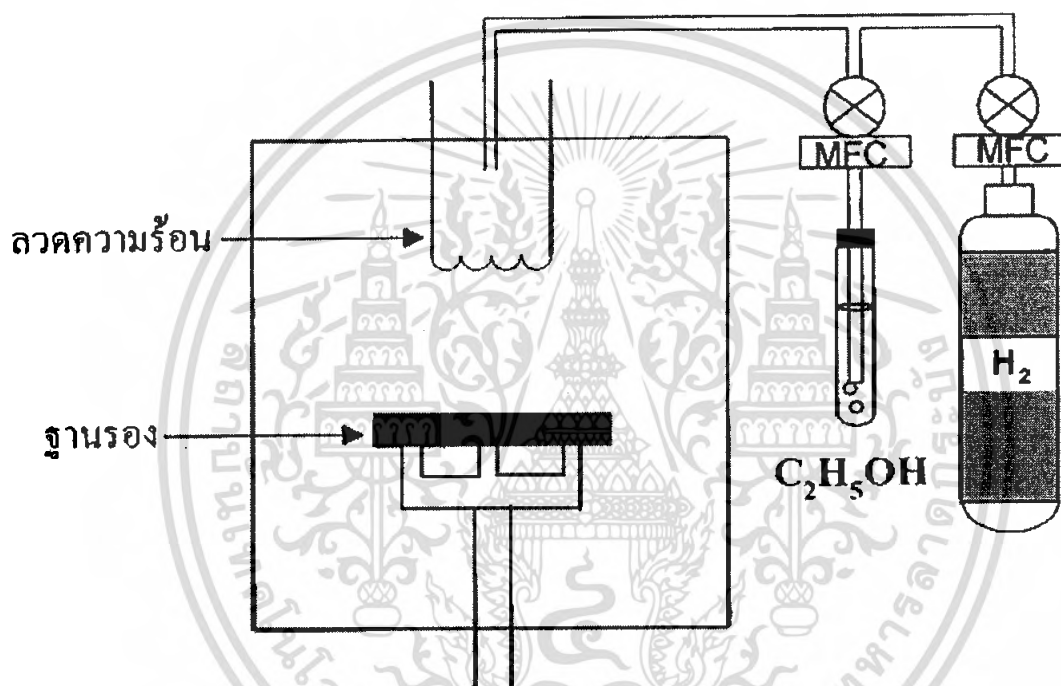
2. การกระตุ้นก๊าซให้เกิดอนุมูลคาร์บอน

ในการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยระบบ CVD แบบหลอดความร้อน การกระตุ้นก๊าซเพื่อให้อะตอมของคาร์บอนออกมา นับว่าเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสังเคราะห์ฟิล์ม โดยเราจะใช้ความร้อนจากหลอดความร้อนทั้งสแตนเป็นตัวกระตุ้นให้อะตอมคาร์บอนแยกตัวออกจากอะตอมอื่นแล้วก่อตัวเป็นฟิล์มเพชรบนฐานรองที่เตรียมไว้ สมการเคมีแสดงการแตกตัวของก๊าซแสดงในสมการที่ดังนี้



3. อุณหภูมิของฐานรองที่เหมาะสม

พิจารณาจากรูปที่ 2.3 อุณหภูมิของฐานรอง นั้นเกิดจากการถ่ายเทความร้อน จากหลอดความร้อนไปยังฐานรอง ดังนั้นระยะห่างระหว่างไส้หลอดความร้อนกับฐานรองจะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของฐานรอง ซึ่งอุณหภูมิของฐานรองจะมีส่วนสำคัญในการกำหนดรูปผลึกของฟิล์มเพชร



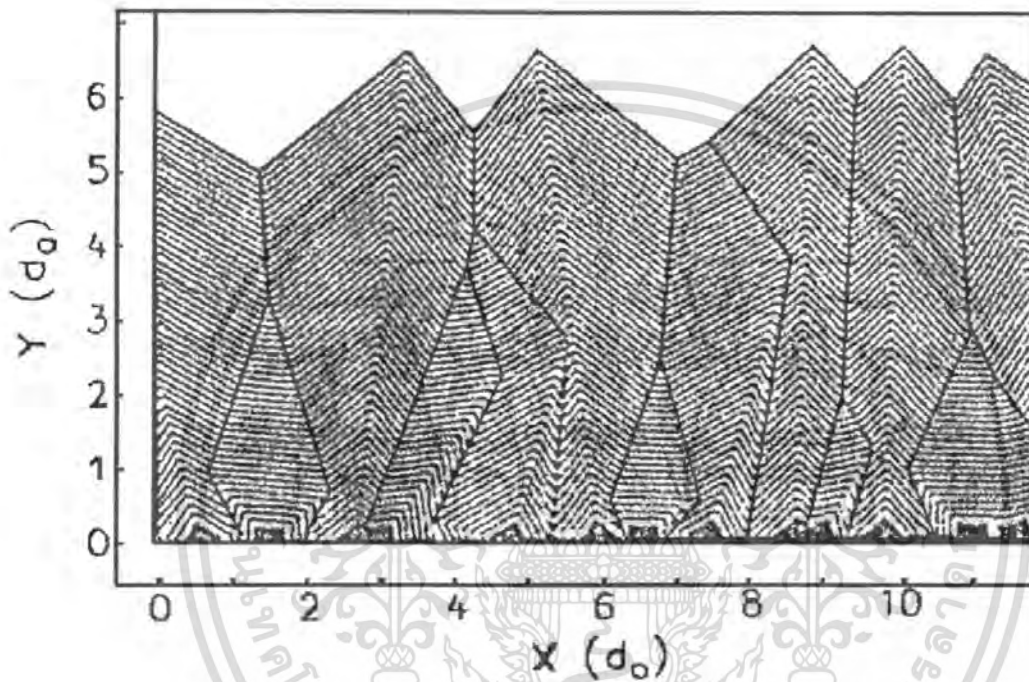
รูปที่ 2.3 ภาพไออะแกรมระบบ CVD แบบหลอดความร้อน

4. การเตรียมพื้นผิวของฐานรอง

ฐานรอง (Substrate) มีความสำคัญมากต่อการเกิดนิวเคลียสของเพชร โดยสามารถเลือกฐานรองได้หลายชนิด เช่น ซิลิคอน อลูมินา โมลิบดีนัม เป็นต้น โดยทั่วไปมักใช้ ซิลิคอน นำมาขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชรให้มีลักษณะเป็นเส้นรอยขีดข่วนทั้งนี้เพื่อง่ายต่อการเกิดนิวเคลียสของผลึกเพชร ฟิล์มเพชรจะเริ่มต้นเกิดที่รอยขีดข่วนก่อนจากนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มขยายขึ้นเรื่อยๆ รูปที่ 2.4 แสดงภาพจำลองการก่อตัวของฟิล์มเพชรที่มีลักษณะเป็นแบบ โพลีคริสตัลไลน์



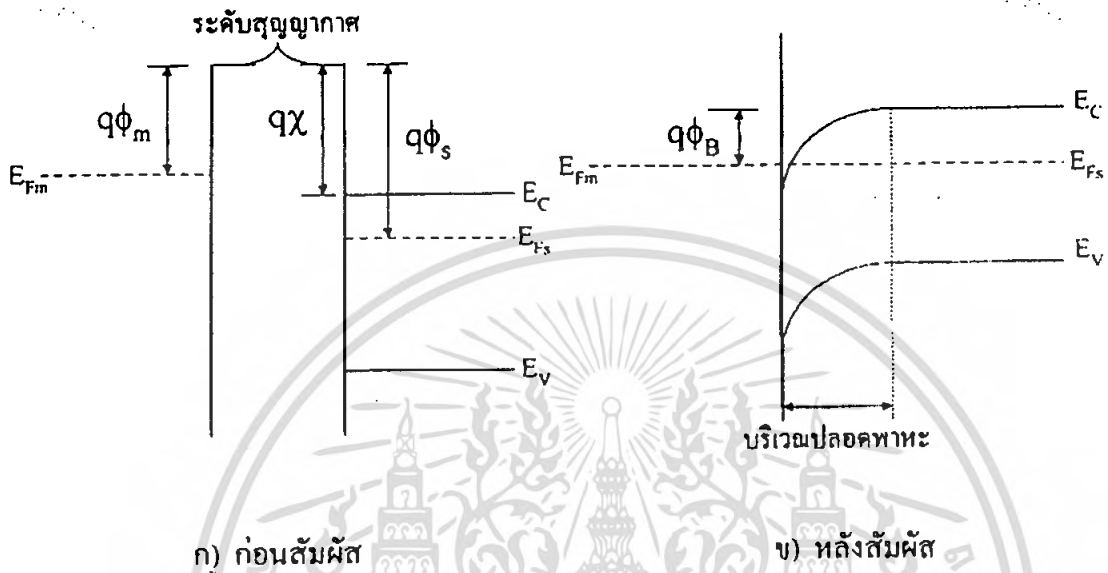
รูปที่ 2.4 ภาพจำลองการก่อตัวของฟิล์มเพชรที่มีลักษณะเป็นแบบ โพลีคริสตัลไลน์

2.2 รอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ

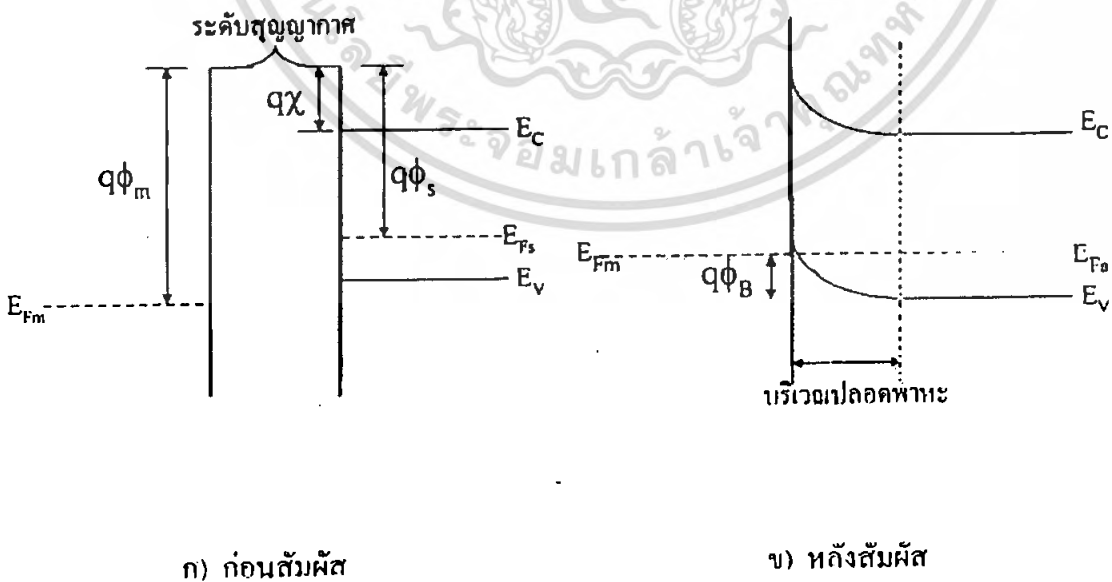
ในการนำอุปกรณ์ประเภทโซลิดสเตต ไปใช้งานการสร้างรอยต่อระหว่างโลหะ และสารกึ่งตัวนำ นับว่ามีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์โซลิด สเตตสู่โลกภายนอก ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของรอยต่อระหว่างโลหะ กับสารกึ่งตัวนำ ซึ่งแบ่งได้เป็นสองชนิด คือแบบเรกติไฟร์และแบบโอห์มโดยจะอธิบาย โดยใช้โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะ และสารกึ่งตัวนำทั้งก่อนและหลังนำมาสัมผัส กัน ซึ่งการรอยสัมผัสจะมีลักษณะเป็นแบบ เรกติไฟร์ และแบบโอห์มมีกนั้นจะขึ้นอยู่กับ ค่าฟังก์ชันงาน(work function)ของโลหะและ อิเล็กตรอนแอฟฟินิตี(electron affinity)ของ

อีกทั้งยังมีผลต่อการที่สิ่งอื่นจะเข้ามาเกี่ยวข้องในการศึกษาเหล่านี้ เมื่อผู้สนใจได้ศึกษาไปเรื่อยๆ จะเห็นว่าการคำนวณค่า ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกึ่งตัวนำ และในหัวข้อถัดไปจะอธิบายถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการไหลของกระแสไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าในรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N)



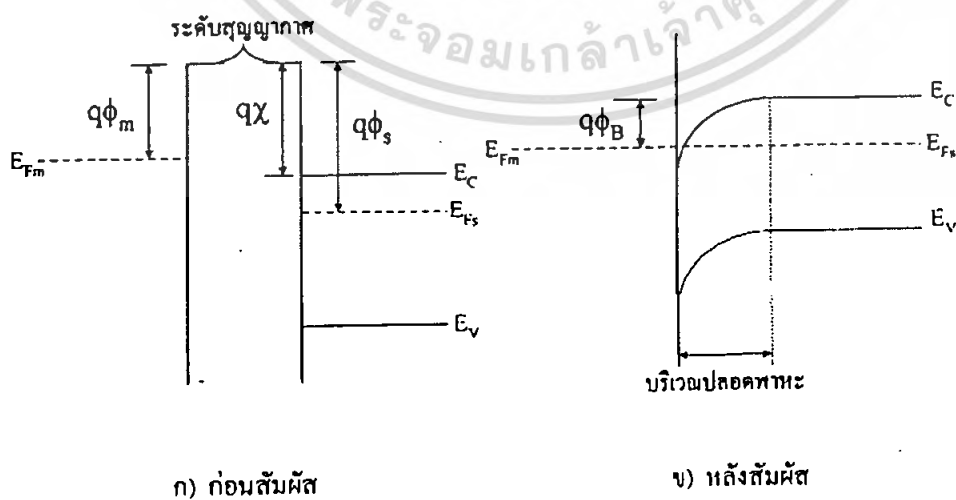
รูปที่ 2.6 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 รอยต่อแบบโอห์มมิก

เมื่อนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำแล้วรอยต่อมีคุณสมบัติมีค่าความนำสูงโดยสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ทั้ง 2 ทิศทาง เราเรียกรอยต่อแบบนี้ว่ารอยต่อแบบโอห์มมิก (ohmic contact) โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำทั้งก่อนนำมาสัมผัสและหลังนำมาสัมผัสแสดงในรูปที่ 2.5 สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น(N) และในรูปที่ 2.6 สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพี(P)

พิจารณารูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงโครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น โดยค่าฟังก์ชันงานของโลหะ ϕ_m มีค่าน้อยกว่าค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ϕ_s เมื่อนำโลหะและสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกันจะเกิดการถ่ายเทประจุพาหะระหว่างสารทั้งสองชนิดจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยระดับเฟอร์มิ (fermi level) ของสารทั้งสองชนิดจะอยู่ระดับเดียวกัน เนื่องจากอิเล็กตรอนจากโลหะจะไหลผ่านรอยต่อเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดอ็อกซิเดชันทางด้านโลหะและทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในรอยต่อขึ้น โดยการไหลอิเล็กตรอนจะหยุดลงเมื่อสนามไฟฟ้าภายใน มีค่าสูงพอที่จะสามารถต้านการแพร่ของอิเล็กตรอนได้และเป็นสภาวะสมดุล ดังนั้นทำให้เกิดการสะสมของอิเล็กตรอนทางด้านสารกึ่งตัวนำบริเวณรอยต่อ โดยถ้าสังเกตจากรูปที่ 2.5 จะไม่มีกำแพงศักย์กั้นอิเล็กตรอนที่จะเคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ กล่าวคือ อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อได้ทั้งสองทิศทาง และในสารกึ่งตัวนำชนิดพีที่มี $\phi_s < \phi_m$ ก็เกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกันกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น



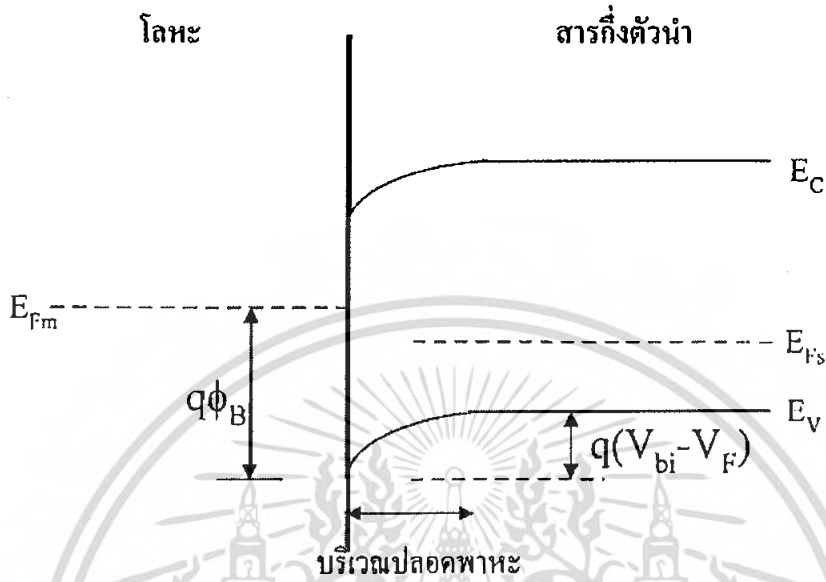
รูปที่ 2.7 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น(N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

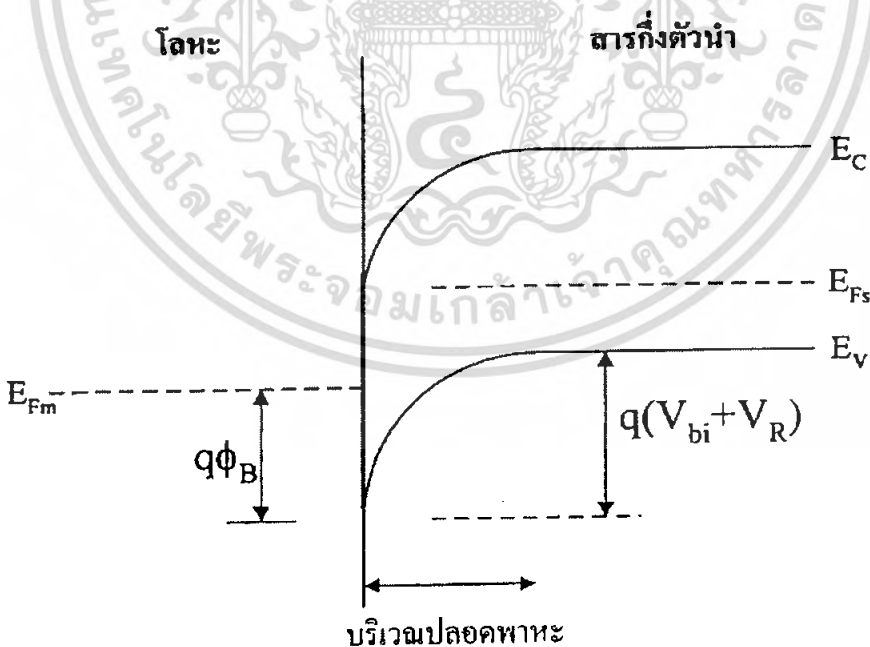
2.2.2 รอยต่อชนิดชอตต์กี

เมื่อนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำ แล้วรอยต่อมีคุณสมบัติยอมให้กระแสไหลผ่านในทิศทางเดียวเราเรียก รอยต่อแบบนี้ว่ารอยต่อชอตต์กี (schottky contact) พิจารณาสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่ฟังก์ชันงานของโลหะ ϕ_m มีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ϕ_s เมื่อนำโลหะและสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกันจะเกิดการถ่ายเทประจุพาหะระหว่างสารทั้งสองชนิดจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยระดับเฟอร์มี (fermi level) ของสารทั้งสองชนิดจะอยู่ระดับเดียวกัน เนื่องจากอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อเข้าไปด้านโลหะ จึงทำให้เกิดอ็อนบวกเกิดขึ้นที่สารกึ่งตัวนำและเกิดมีประจุลบขึ้นที่ทางด้านโลหะ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยต่อ ซึ่งสนามไฟฟ้านี้จะต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเกิดเป็นกำแพงศักย์กั้น จนไม่มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน คืออยู่ในสภาวะสมดุล ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพีก็อธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์เดียวกัน และเมื่อนำโลหะกับสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกันจะมีการถ่ายเทประจุพาหะ จนกระทั่งอยู่ในสภาวะสมดุล คือไม่มีการเคลื่อนที่ของประจุพาหะ ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลแต่เมื่อให้ไบอัสแรงดันให้แก่รอยต่อ จะมีผลให้โวลที่เคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น แต่สำหรับกำแพงศักย์ที่กั้นอิเล็กตรอนที่ไหลจากด้านโลหะไปสารกึ่งตัวนำ $q\phi_b$ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อ ให้ไบอัสไปข้างหน้า (forward bias) กับรอยต่อจะทำให้ค่า V_{bi} ศักย์ไฟฟ้าภายใน (built in voltage) ลดต่ำลงและถ้าแรงดันไบอัสมีค่ามากพอ ($V_F \geq V_{bi}$) ก็จะทำให้ประจุพาหะโวลสามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ ไปยังโลหะได้ ในทางตรงข้ามถ้าให้ไบอัสย้อนกลับ (reverse bias) แก่รอยต่อก็จะทำให้ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำมีค่าสูงขึ้นดังนั้น โวลซึ่งเป็นประจุพาหะส่วนใหญ่ในสารกึ่งตัวนำจะถูกขัดขวางด้วยกำแพงศักย์ที่มากขึ้น ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านรอยต่อไปยังด้านโลหะได้

แบบจำลองโครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อโลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสไปข้างหน้าและไบอัสย้อนกลับแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ



รูปที่ 2.8 โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสแรงดันไปข้างหน้า (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์บวกและโลหะให้ศักย์ลบ)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสแรงดันไปข้างหลัง (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์ลบและโลหะให้ศักย์บวก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

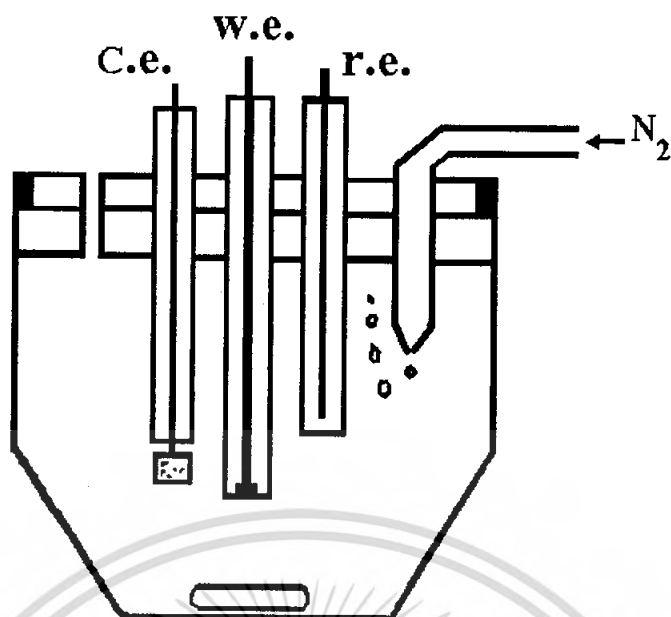
2.3 เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า

เทคนิคโวลแทมเมทรี (Voltammetry) เป็นกลุ่มวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าที่อาศัยหลักการอิเล็กโทรไลซิสที่เกิดขึ้นในเซลล์อิเล็กโทรไลซิสขนาดเล็ก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าใช้งานที่มีขนาดเล็ก จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับศักย์ไฟฟ้า โดยจะมีการให้ศักย์ไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมแล้วทำการบันทึกค่ากระแสที่ให้ออกมาจากปฏิกิริยา สัญญาณที่บันทึกระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า และค่ากระแส นี้เรียกว่า โวลแทมโมแกรม (Voltammograms)

ในการนำเซลล์ไฟฟ้าไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโวลแทมเมทรี จะต้องจัดเซลล์แบบอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะทำการวัดความเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการให้ศักย์ไฟฟ้า เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนของอิเล็กตรอนภายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยการวัดความแตกต่างของกระแส ประกอบด้วยสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ผสมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย โดยมีขั้วไฟฟ้าใช้งาน ขั้วไฟฟ้าช่วย และขั้วไฟฟ้าอ้างอิงอยู่ในเซลล์ และมีระบบกำจัดแก๊สออกซิเจน ดังรูปที่ 2.9

ขั้วไฟฟ้า(Electrode) ประกอบด้วย

- ขั้วไฟฟ้าใช้งาน(Working electrode ; WE) ต้องเป็นขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก เพื่อให้พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าในการสัมผัสกับสารตัวอย่างมีน้อย เกิดสถานะของโพลาไรเซชันตลอดการวิเคราะห์
- ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode ; RE) เป็นขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าแน่นอน และคงที่ไม่แปรเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงของกระแสในวงจร เช่น ขั้วไฟฟ้าคาโลเมล (SCE) ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl)
- ขั้วไฟฟ้าร่วม หรือขั้วไฟฟ้าช่วย (Counter electrode ; CE) ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าแต่ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของเซลล์อิเล็กโทรไลต์ในการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย จะต้องมามีปริมาณมากกว่าสารละลายตัวอย่าง 50-100 เท่า เพื่อให้เกิดกระบวนการแพร่ของไอออนตรงผิวหน้าขั้วไฟฟ้ามากที่สุดและให้เกิดกระบวนการไมเกรชันของไอออนตรงผิวหน้าขั้วไฟฟ้าน้อยที่สุด หรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย ความเข้มข้นสารละลายอยู่ในช่วง 0.1 – 1.0 M มีหน้าที่ช่วยลดความต้านทานของสารละลาย ช่วยนำไฟฟ้าในกรณีสารตัวอย่างนำไฟฟ้าได้น้อยช่วยขจัดโลหะไอออนแทรก ซ้อนที่ปนมาในสารตัวอย่าง ช่วยป้องกันการเกิดไมเกรชัน ช่วยทำหน้าที่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ (ช่วยปรับหรือรักษา pH ของสารละลายให้คงที่)

ระบบกำจัดแก๊สออกซิเจนจากสารละลาย

ในการวิเคราะห์สารโดยวิธีโวลแทมเมตรี จำเป็นที่จะต้องกำจัดแก๊สออกซิเจนออกจากสารละลายตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ โดยเฉพาะในสารละลายที่เป็นกรด เพราะว่าแก๊สออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดส์ สามารถถูกรีดิวซ์ได้ นอกจากนี้แก๊สออกซิเจนและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการถูกรีดิวซ์อาจจะทำปฏิกิริยากับสารละลายตัวอย่างได้

แก๊สออกซิเจนถูกรีดิวซ์ได้ 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง O_2 ถูกรีดิวซ์เป็น H_2O_2 ที่ศักย์ไฟฟ้า $-0.10V$ เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง SCE (ใช้ขั้วไฟฟ้าหอคปรอทเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งาน โดยมี $0.1 M KCl$ เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ช่วย)



ขั้นตอนที่สอง H_2O_2 จะถูกรีดิวซ์ต่อไปเป็น H_2O ที่ศักย์ไฟฟ้า $-0.90V$ เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง SCE (ใช้ขั้วไฟฟ้าหอคปรอทเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งาน โดยมี $0.1M KCl$ เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ช่วย)

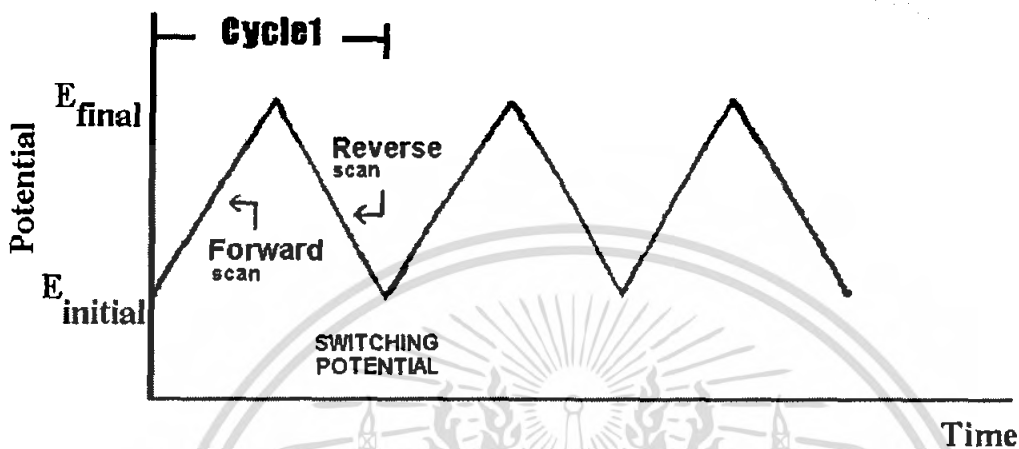


ผลของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของแก๊สออกซิเจน ทำให้เกิดกระแสแคโทดิกไม่น้อยกว่า $5 \mu A$ ดังนั้นภายในเซลล์โวลแทมเมตรีจะมีระบบกำจัดแก๊สออกซิเจนจากสารละลายโดยการผ่านแก๊สไนโตรเจน หรือแก๊สอาร์กอนลงไปในสารละลายตัวอย่างประมาณ 5 - 20 นาที ก่อนทำการวิเคราะห์โดยทำในภาชนะปิดไม่ให้สัมผัสกับบรรยากาศภายนอกเพื่อให้สารละลายตัวอย่างอิ่มตัวด้วยบรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน หรือแก๊สอาร์กอน

2.3.1 ไชคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry ; CV)

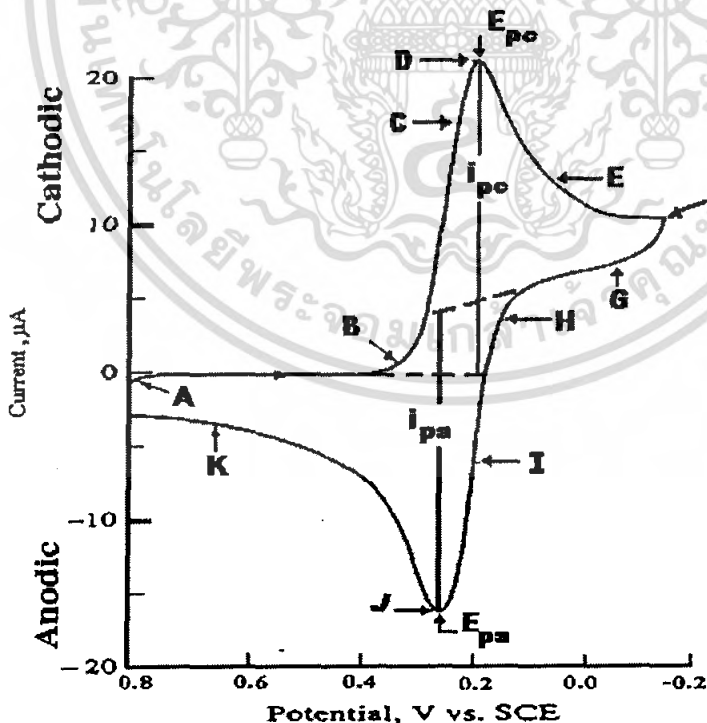
ไชคลิกโวลแทมเมตรีเป็น เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับศักย์ไฟฟ้า โดยการให้ศักย์ไฟฟ้าจากภายนอกแก่ขั้วไฟฟ้าและปราศจากการคนสารละลายทำให้เกิดกระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ระหว่างผิวหน้าขั้วไฟฟ้ากับตัวรีดิวซ์ หรือตัวออกซิไดส์ในสารละลายเป็นผลให้มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น สัญญาณที่เกิดจากการกระตุ้น โดยอาศัยศักย์ไฟฟ้าที่ให้จะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม (Triangular) โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเวลาเพื่อขึ้นศักย์ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นจนถึงมากที่สุด จากนั้นจะค่อยๆ ลดต่ำลงด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบ สามารถเขียนได้ในลักษณะของกราฟเส้นตรงที่มีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 โวลเทจโปรแกรมของไซคลิกโวลแทมเมตรี

การให้ศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนกลับไปกลับมา จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้า เรียกว่า ไซคลิกโวลแทมโมแกรม ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.12 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของไซคลิกโวลแทมโมแกรมคือ ขนาดของกระแสฟีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

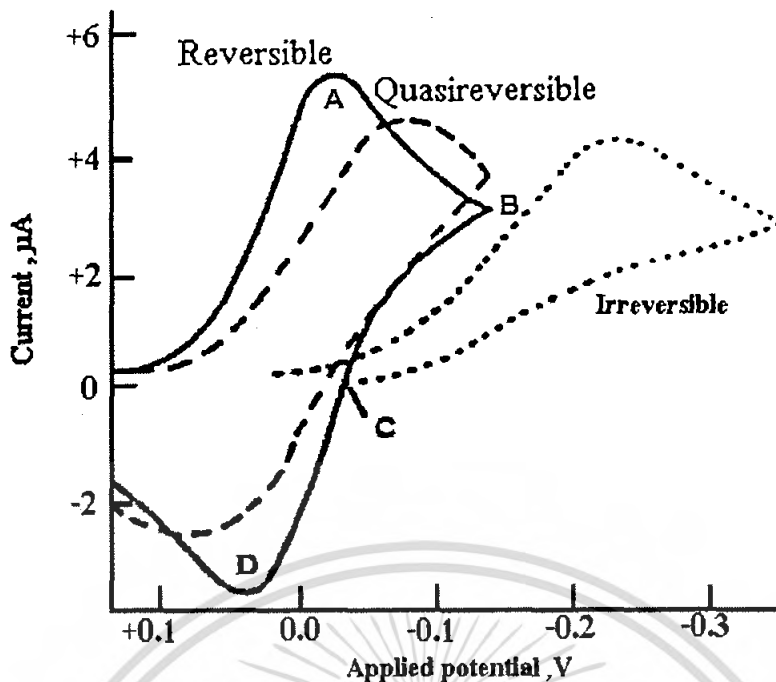
(i_{pa} และ i_{pc}) และศักย์ไฟฟ้าพิกที่เพิ่มขึ้น (E_{pa} และ E_{pc}) โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆนี้จะแสดงในรูปไซคลิกโวลแทมโมแกรมวิธีการวัดค่ากระแสพิก (i_p) ทำได้โดยการลากต่อเส้นของกระแสพิกออกไป แล้วทำการวัดจากจุดยอดลงมาถึงกระแสพิก จีดจำกัดของความถูกต้องของกระแสพิก เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับความถูกต้องแม่นยำ ในการวัดกระแสพิกกระแสพิกที่วัดได้ (i_p) คำนวณได้จากสมการของ Randles- Sevcik

$$i_p = 2.69 \times 10^5 n^{3/2} ACD^{1/2} V^{1/2} \quad (2.5)$$

เมื่อ i_p แทน กระแสพิก มีหน่วยเป็น A
 n แทน จำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา
 A แทน พื้นที่ผิวขั้วไฟฟ้ามีหน่วยเป็น cm^2
 C แทน ความเข้มข้นของสารในสารละลายบัลค์ มีหน่วยเป็น mol/dm^3
 D แทน สัมประสิทธิ์ของการแพร่ มีหน่วยเป็น cm^2/s
 V แทน อัตราการสแกน มีหน่วยเป็น V/s

การศึกษาเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี นี้จะทำให้ทราบถึงประเภทของปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งมี 3 ประเภท ดังรูปที่ 2.12 ได้แก่

1. Reversible คือ มีค่า E_{pa} และ E_{pc} ต่างไม่เกิน 0.059 V
2. Quasi-reversible คือ มีค่า E_{pa} และ E_{pc} ต่างกันมากกว่า 0.059 V
3. Irreversible คือ มีเพียง peak ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือรีดักชันอย่างใดอย่างหนึ่ง



รูปที่ 2.13 ลักษณะไซคลิกโวลแทมโมแกรม ของปฏิกิริยารีดอกซ์ประเภทต่างๆ

ลักษณะของพีคที่ผันกลับได้ (Reversible) กระแสของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (i_{pa}) ต่อกระแสของปฏิกิริยารีดักชัน (i_{pc}) จะมีค่าเป็น 1 หน่วย ดังสมการที่ 2.6

$$i_{pa} / i_{pc} \approx 1 \quad (2.6)$$

ความต่างของตำแหน่งศักย์ไฟฟ้า (ΔE_p) จะอยู่ที่ 0.059 V (เมื่อ $n = 1$) แสดงให้เห็นว่าพีค Reversible เช่นเดียวกัน โดยจะเป็นไปตามสมการที่ 2.7

$$\Delta E_p = E_{pa} - E_{pc} \approx \frac{0.059}{n} \quad (2.7)$$

เมื่อ n แทน จำนวนของอิเล็กตรอนที่เกิดการถ่ายเทในปฏิกิริยา

E_{pa} แทน ตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

E_{pc} แทน ตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

สำหรับปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ไม่สมบูรณ์ และปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ สามารถทำการวิเคราะห์ได้จากค่ากระแส i_{pc} เท่านั้น เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีผลต่อโวลแทมโมแกรม จึงทำให้วิธีของไซคลิกโวลแทมเมทรี กลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษากลไกของปฏิกิริยา และอัตราเร็วในขบวนการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน-รีดักชัน

2.3.2 แอมเปอโรเมทรี (Amperometry)

แอมเปอโรเมทรีเป็นเทคนิคที่ควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่ (Constant potential) และบันทึกกระแส โดยเป็นฟังก์ชันกับเวลา โดยสาละลายจะถูกกวาดตลอดเวลา ดังนั้นที่ผิวสัมผัสจะมีแต่สารรีดอกซ์ กระแสนี้จะเป็นฟังก์ชันโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร การใช้เทคนิคแอมเปอโรเมทรีเหมาะกับการวัดเชิงปริมาณวิเคราะห์มากกว่า เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับเวลา โดยใช้เทคนิคแอมเปอโรเมทรี ดังสมการ

$$i = \frac{nFA D_A C_A}{\delta} \quad (2.8)$$

เมื่อ i แทน กระแสสูงสุดที่วัดได้ของสาร (A)

n แทน จำนวน โมลของอิเล็กตรอนต่อจำนวน โมลของสารที่วัดได้

F แทน ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (C/mol)

D_A แทน สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (cm^2)

A แทน พื้นที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า (cm^2)

C_A แทน ความเข้มข้นของสาร A ที่ต้องการในสารละลายทั้งหมด (mol/dm^3)

δ แทน ความยาวของ Nernts diffusion layer (cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

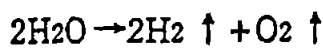
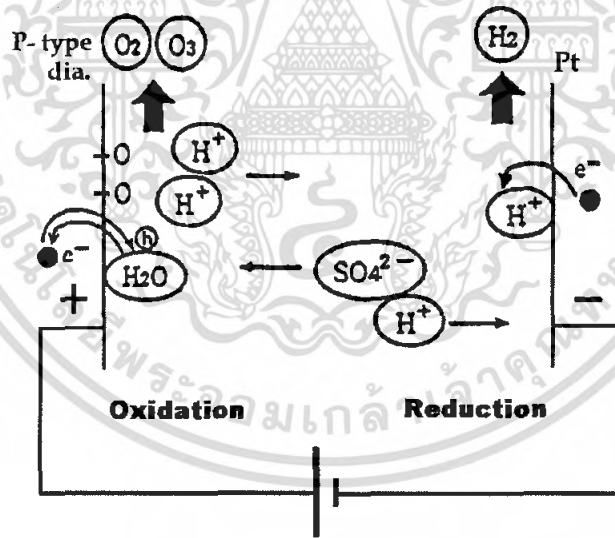
2.4 ขั้วไฟฟ้าฟิล์มบางเพชรเจือโบรอน

การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาใช้ ในทางเคมีไฟฟ้านั้นได้มีการศึกษามานานกว่า 30 ปี โดยมีการศึกษาในโครงสร้างลักษณะต่างๆ เช่น carbon fiber glassy carbon และ graphite เป็นต้น โดยพิจารณาจากความสามารถการนำไฟฟ้า และลักษณะของสารกึ่งตัวนำ โดยเฉพาะในฟิล์มบางเพชรเจือโบรอนมีผู้สนใจอย่างมากที่จะนำมาเป็นวัสดุทางเคมีไฟฟ้า โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีทางฟิสิกส์ และทางอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความเหมาะสมมาเป็นขั้วไฟฟ้าเคมี

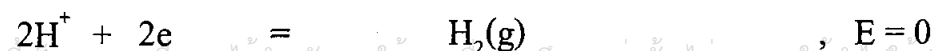
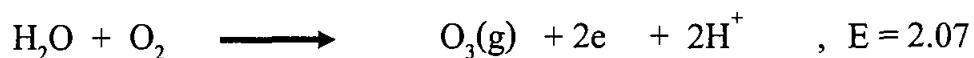
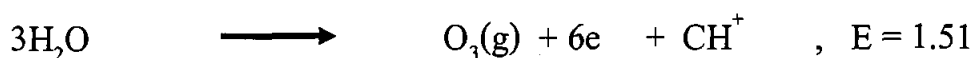
นักวิจัยหลายกลุ่มทำการพัฒนาฟิล์มบางเพชรเจือโบรอนมาใช้ ในทางเคมีไฟฟ้านั้น ได้สมบัติที่ดีหลายประการของฟิล์มบางเพชรเจือโบรอน ได้แก่ มีความแข็งแรง ความต้านทานต่ำไม่ทำปฏิกิริยาเคมี ความสามารถนำความร้อนได้ดีมีความสามารถให้แสงผ่านได้ตลอดจนมีค่า $E_g = 5.5\text{eV}$ ซึ่งเป็นค่ากว้างมากเป็นต้น และโครงสร้างของคาร์บอนในโมเลกุลของเพชรนั้นมีการจัดเรียงตัวเป็นแบบ six-member ring และสร้างพันธะแบบ sp^3 โดยแต่ละวงจะมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน ส่วนการเจือโบรอนในเพชรนั้น โบรอนจะอยู่ระหว่างอะตอมภายในโมเลกุล โดยไม่สร้างพันธะกับโมเลกุลของคาร์บอน ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะของ electron hole ขึ้นทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ภายในโมเลกุลได้ และระหว่างโมเลกุลติดกัน การเจือโบรอนจะทำในขั้นตอนการสร้างเพชรเพื่อให้มีสมบัติการนำไฟฟ้า ในปัจจุบันขั้วไฟฟ้าเพชรได้มีการใช้งานในการแยกสารละลายด้วยไฟฟ้า โดยทั่วไปการแยกสารละลายด้วยไฟฟ้าจะใช้เวลาความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำ เพื่อให้ background current มีค่าน้อย ซึ่งเหมาะสมกับการใช้เป็นเซ็นเซอร์ แต่ในทางอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการแยกสารละลายด้วยไฟฟ้า เช่น การชุบด้วยไฟฟ้า การบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า และการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าเป็นต้น ขั้วไฟฟ้าเพชรจะต้องมีความหนาแน่นกระแสสูง เป็นขั้วไฟฟ้าที่มีพื้นที่มาก ขนาดใหญ่ และในการสร้างขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชรที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ นิยมใช้ระบบการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรแบบ Hot-filament CVD

2.4.1 หลักการแยกสารละลายด้วยไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าเพชร

ขั้วไฟฟ้าเพชรชนิด P จะให้อนุภาคอิสระชนิดบวกที่เรียกว่า โฮล เมื่อขั้วไฟฟ้าเพชรวางอยู่ในสารละลาย H_2SO_4 เมื่อได้รับการไบอัสศักดาบวก ทำให้โฮลในขั้วเพชรเคลื่อนที่ยังรอยสัมผัสระหว่างพื้นผิวเพชรกับสารละลาย ในกระบวนการนี้จะทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าบวก ดังรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นว่าอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของน้ำมีการถ่ายเทไปยังขั้วไฟฟ้าเพชร อาโนด หรือกระบวนการนี้พิจารณาในทางสมมูลได้ว่าโฮลในขั้วไฟฟ้าเพชรชนิด P ได้มีการถ่ายเทไปยังโมเลกุลของน้ำ เมื่อโมเลกุลของน้ำได้รับประจุบวกจากเพชรโมเลกุลน้ำจะมีการแตกตัวเปลี่ยนแปลงเป็นไฮโดรเจนไอออน (2H^+) C และการยึดเกาะของ C-O ที่พื้นผิวเพชร ไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะมีการเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้า Pt ที่ป้อนศักดาลบ และขั้วไฟฟ้า Pt จะถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับ H^+ ทำให้เกิดก๊าซ H_2 ที่บริเวณขั้วไฟฟ้า Pt ที่ขั้วไฟฟ้าเพชรศักดาบวก โมเลกุลของ H_2O ที่กระจายไปเกิดเข่นการยึดเหนี่ยว C-O ร่วมกับอะตอมคาร์บอนทำให้ออกซิเจนอะตอมเหล่านั้นกลายเป็นก๊าซ O_2 และก๊าซ O_3 ซึ่งเป็นผลจากเพชร ดังสมการ



รูปที่ 2.14 เมื่อขั้วไฟฟ้าเพชรวางอยู่ในสารละลาย H_2SO_4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

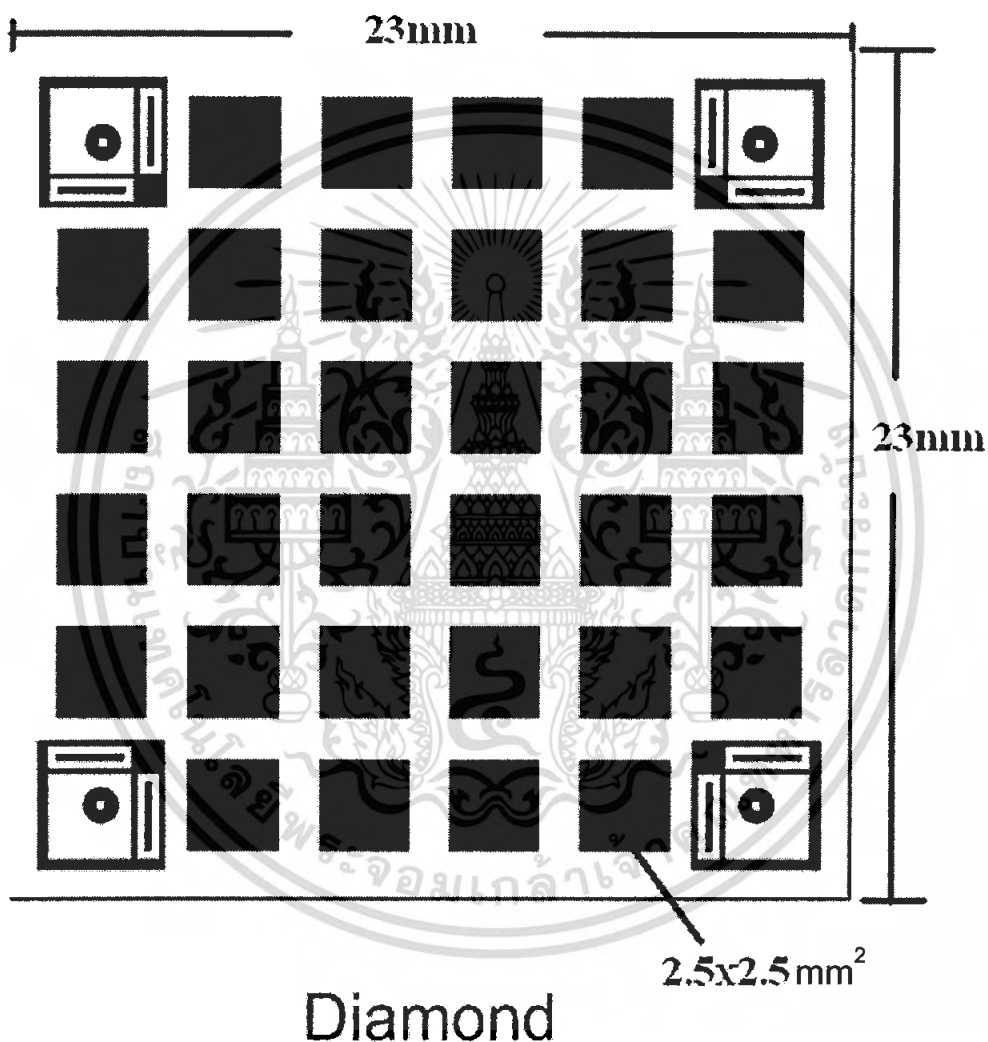
การที่อุปกรณ์ขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชรจะมีประสิทธิภาพการทำงานสูง นั้นนอกจากจะขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์แล้ว การออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ก็เป็นส่วนที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการออกแบบโครงสร้างแล้ววิธีการสร้างอุปกรณ์ขั้วไฟฟ้าเพชร ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การออกแบบขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชร

ขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชรเกิดจากรอยสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำเพชรชนิด P ที่มีรอยต่อแบบโอมิกห์ เพื่อไม่ให้เกิดศักดาตกคร่อมระหว่างรอยสัมผัส การสร้างขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชรได้ใช้เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ซิลิคอนเป็นฐานรองสำหรับการสังเคราะห์เพชร ทำให้ฟิล์มเพชรที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องมีความหนาเนื่องจากใช้ฐานรองซิลิคอนทำให้เกิดความแข็งแรงของโครงสร้างขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชร ในการออกแบบนี้ได้กำหนดใช้ขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชรสำหรับการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า โดยน้ำจะมีการไหลผ่านขั้วไฟฟ้าเพชรตลอดเวลา ดังนั้นในการทดลองนี้ได้ใช้มาร์คในการสร้างทั้งหมด 2 มาร์ค ประกอบด้วย มาร์คกำหนดพื้นที่ฟิล์มเพชร และ มาร์คกำหนดพื้นที่การกัดสำหรับขั้วไฟฟ้า

3.1.1 มาร์คกำหนดพื้นที่ฟิล์มเพชร

การทดลองได้ออกแบบพื้นที่ฐานรองซิลิกอนขนาด 23x23 ตารางมิลลิเมตร โดยให้พื้นที่เกิดฟิล์มเพชรมีขนาด 2.5x2.5 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.1

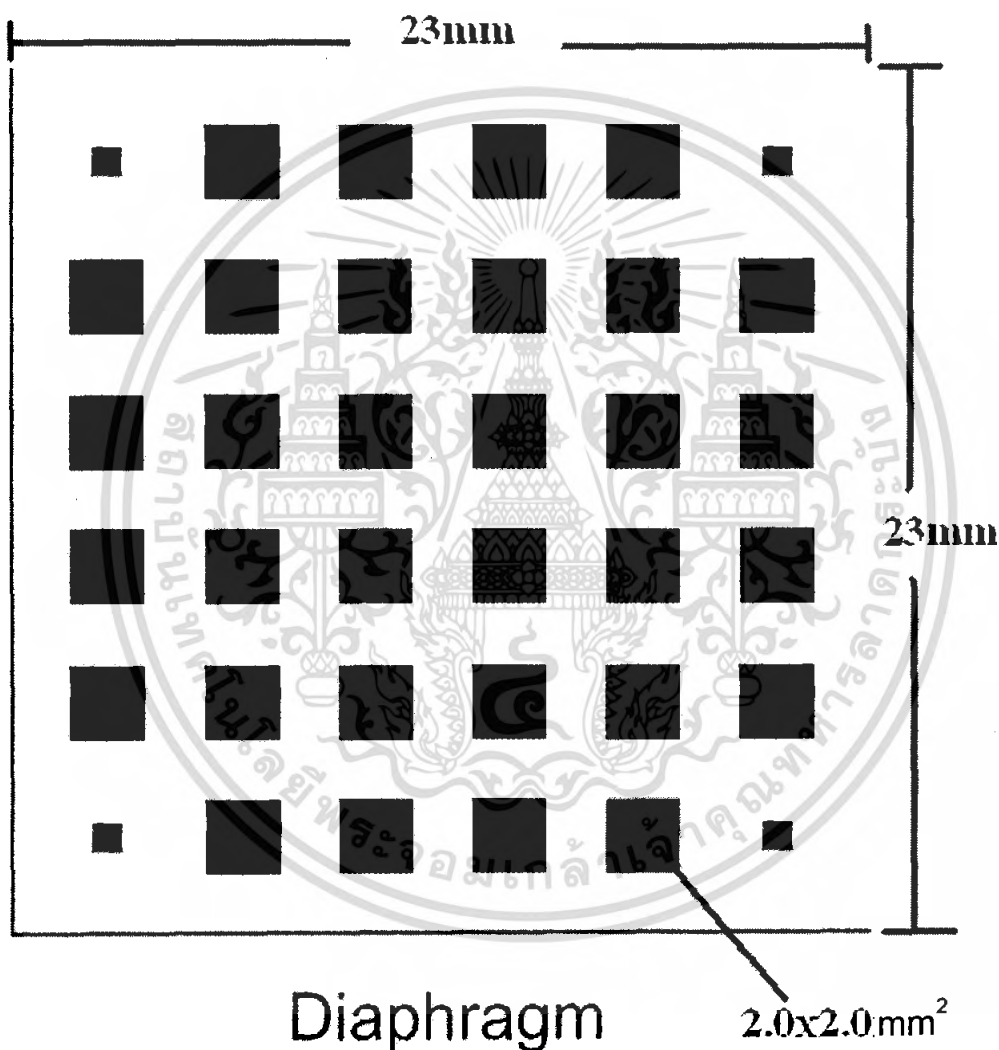


รูปที่ 3.1 มาร์คกำหนดพื้นที่ฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 มาร์คกำหนดพื้นที่การกัดสำหรับขั้วไฟฟ้า

การทดลองได้ออกแบบมาร์คสร้างช่องขั้วไฟฟ้าโลหะขนาด 2x2 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 32 ช่อง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 มาร์คกำหนดพื้นที่การกัดสำหรับขั้วไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบไดอะแฟรม

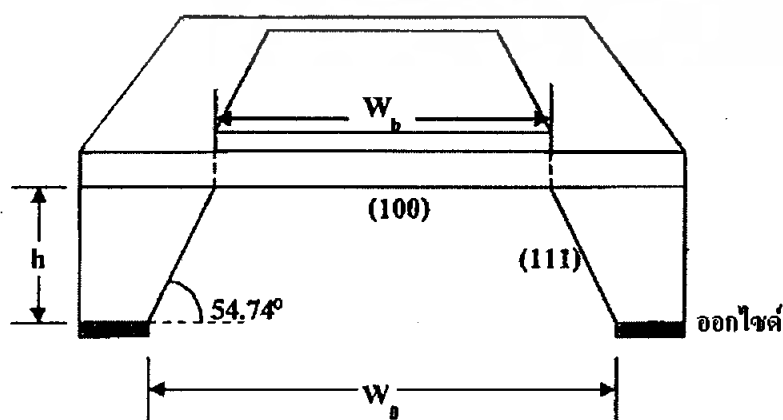
โครงสร้างของอุปกรณ์ขั้วไฟฟ้าเพชร ประกอบด้วยไดอะแฟรมบางของฟิล์มเพชรเป็นส่วนสำคัญ ด้วยเหตุนี้การกัดซิลิคอนบางส่วนออกเพื่อให้เหลือเป็นไดอะแฟรมของฟิล์มเพชรจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้างอุปกรณ์ ไดอะแฟรมของฟิล์มเพชรเกิดจากการกัดฐานรองซิลิคอนระนาบ (100) ออกโดยสารละลายที่มีลักษณะการกัดเป็นแบบแอนไอโซโทรปิก(anisotropic) คือการกัดที่ตัวกัด(etchant) ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายจะกัดเนื้อสารในทิศทางหรือระนาบต่างๆของผลึกไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ดังนั้นการออกแบบปากหลุมจึงมีความสัมพันธ์กับความกว้างของก้นหลุม ถ้าเปิดปากหลุมกว้างเท่ากับ W_0 และทำการกัดได้ลึกเท่ากับ h จะได้ขนาดความกว้างก้นหลุม W_b ดังสมการ

$$W_b = W_0 - \frac{2h}{\tan(54.74^\circ)} \cong W_0 - \sqrt{2}h \quad (3.1)$$

ถ้าต้องการความกว้างก้น 2000 μm และแผ่นซิลิคอนมีความหนา 430 μm ดังนั้นต้องเปิดปากหลุมเท่ากับ $W_0 = 2000 + \sqrt{2}(430) = 2391 \mu\text{m}$

ในการทดลองเราใช้สารละลายที่เกิดจากการผสมระหว่างเอซีทีนไดอะมีน(Ethylene diamine) กับไพโรแคทีคอล(Pyrocatechol) และน้ำบริสุทธิ์(DI water) หรือที่นิยมเรียกว่า EPD โดยมีอัตราส่วน E 50 ml : P 8 กรัม : DI 16 ml ทำการกัดที่อุณหภูมิ 100°C กวนสารละลายด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที มีอัตราการกัดซิลิคอนประมาณ 1.50 μm ต่อนาที ใช้ชั้นออกไซด์หนาประมาณ 7000 \AA เป็นชั้นป้องกันการกัดซิลิคอนโดยสารละลาย EPD จะไม่กัดฟิล์มเพชร



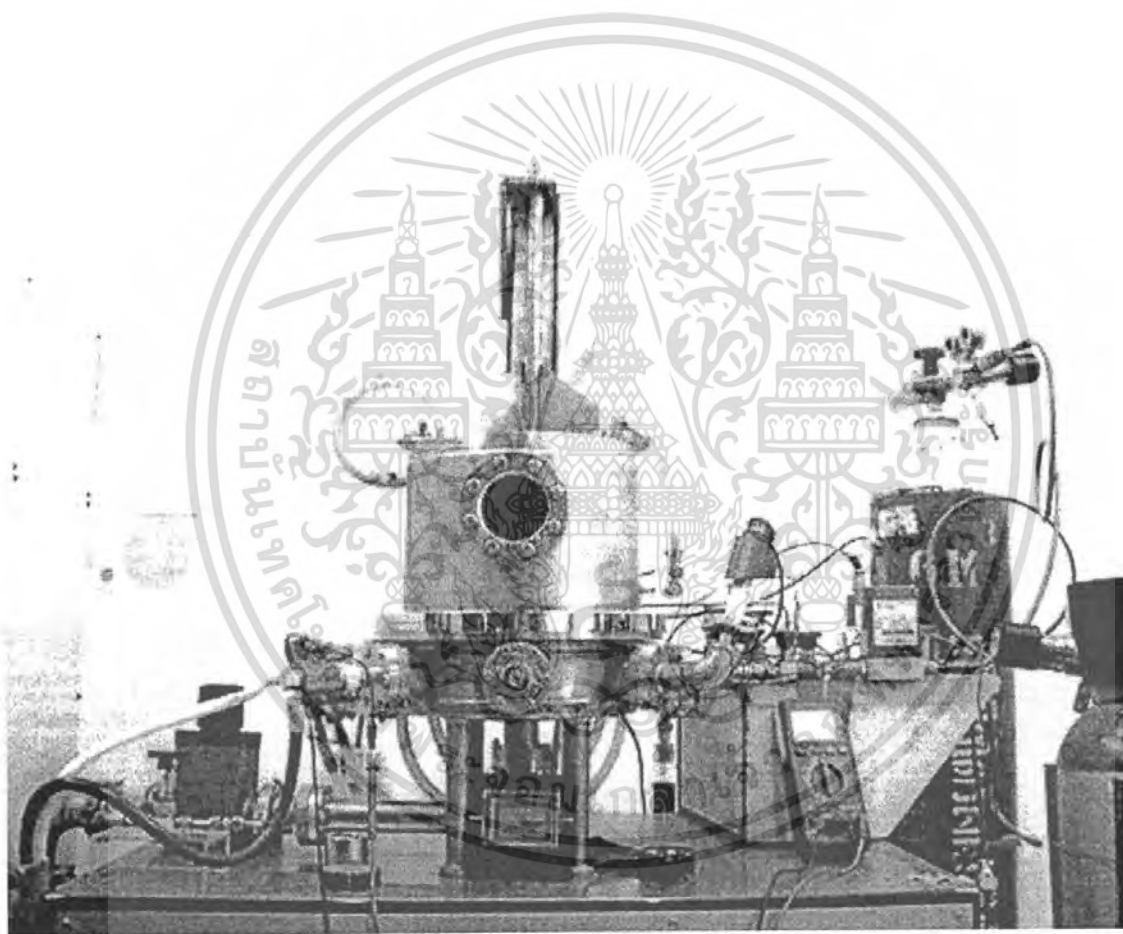
รูปที่ 3.3 ภาพตัดขวางแสดงลักษณะการกัดแบบแอนไอโซโทรปิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในชื่อและภาพลักษณ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยผู้จัดทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนกระบวนการสร้าง

3.3.1 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

ฟิล์มเพชรถูกสังเคราะห์บนฐานรองซิลิคอนด้วยวิธีการ CVD แบบลวดความร้อนที่ความดันต่ำ รูปที่ 3.4แสดงภาพถ่ายเครื่องสร้างฟิล์มเพชร ฟิล์มเพชรสร้างบนฐานรองซิลิคอน



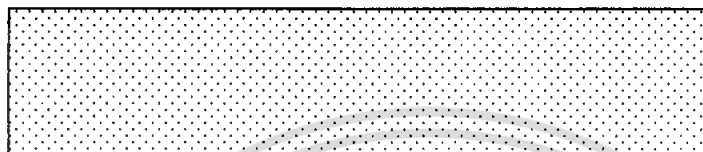
รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 กระบวนการสร้าง

3.3.2.1 แผ่นซิลิกอนเริ่มต้น

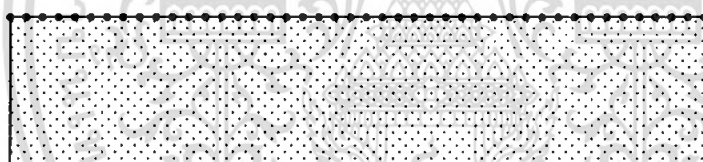
นำแผ่นซิลิกอนระนาบ 100 ตัดให้ได้ขนาดกว้าง 1.2 เซนติเมตร และยาว 1.5 เซนติเมตร และทำความสะอาดพื้นผิว



รูปที่ 3.5 แผ่นซิลิกอนเริ่มต้นระนาบ 100

3.3.2.2 ขัดครีมเพชร

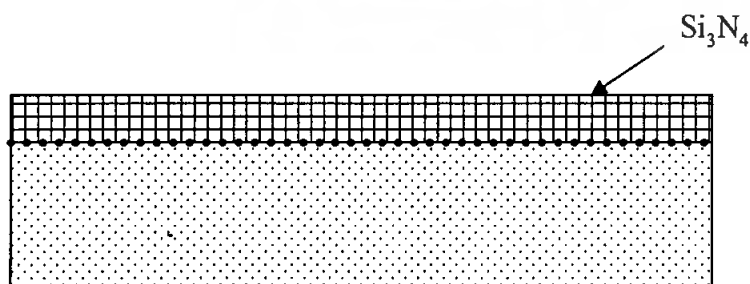
นำแผ่นซิลิกอนไปขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชรขนาด 0.25 ไมครอน



รูปที่ 3.6 แผ่นซิลิกอนที่ขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชรขนาด 0.25 ไมครอน

3.3.2.3 Silicon Nitride (Si_3N_4)

ทำความสะอาดแผ่นซิลิกอนแล้วสร้าง ชั้น Nitride บนแผ่น ซิลิกอน

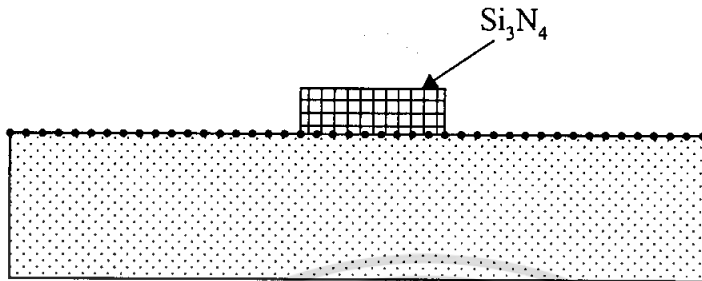


รูปที่ 3.7 สร้าง ชั้น Nitride บนแผ่น ซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.4 Pattern and Plasma Etch Si_3N_4

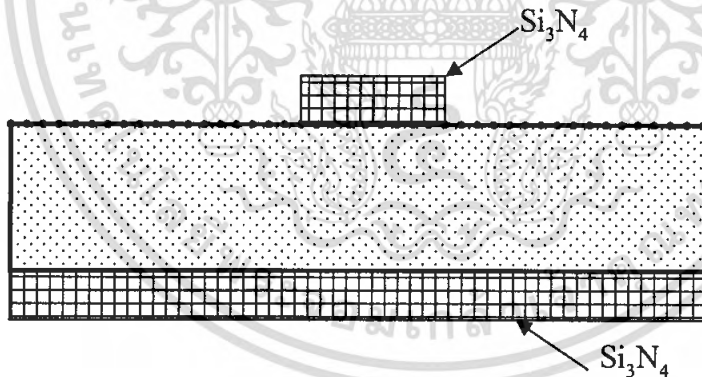
Etch Si_3N_4 ออก ด้วย Buffer 180° โดยให้ ชั้น Si_3N_4 เหลือเพียง ๒ ไมครอนตามที่เรากำหนดไว้



รูปที่ 3.8 Etch Si_3N_4 ออก ด้วยกรด Buffer 180°

3.3.2.5 Silicon Nitride (Si_3N_4)

สร้างชั้น Nitride ด้านหลังแผ่นซิลิคอน

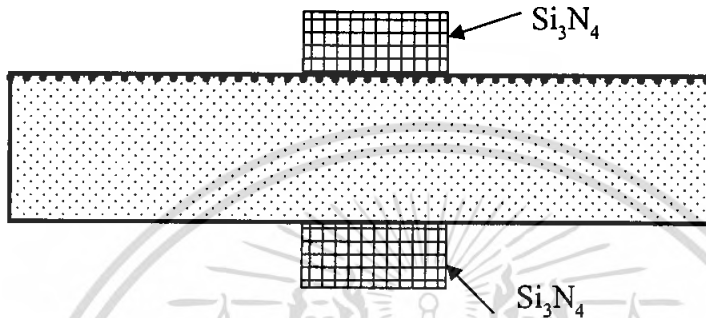


รูปที่ 3.9 สร้างชั้น Nitride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.6 Pattern and Plasma Etch Si_3N_4

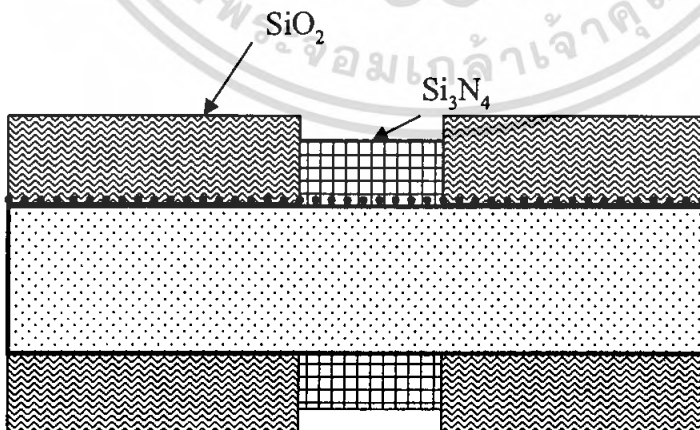
Etch Si_3N_4 ด้านหลังออก ด้วย Buffer 180° โดยให้ ชั้น Si_3N_4 เหลือเพียง ไคอะแฟรมตามที่เรากออกแบบไว้



รูปที่ 3.10 Etch N_4 ด้านหลัง

3.3.2.7 Oxide Thermally to Form SiO_2

สร้างชั้นออกไซด์ด้วยกระบวนการออกซิเดชัน ขนาด 1.2 ไมครอน ทั้งด้านหน้า และด้านหลังของแผ่นซิลิคอน

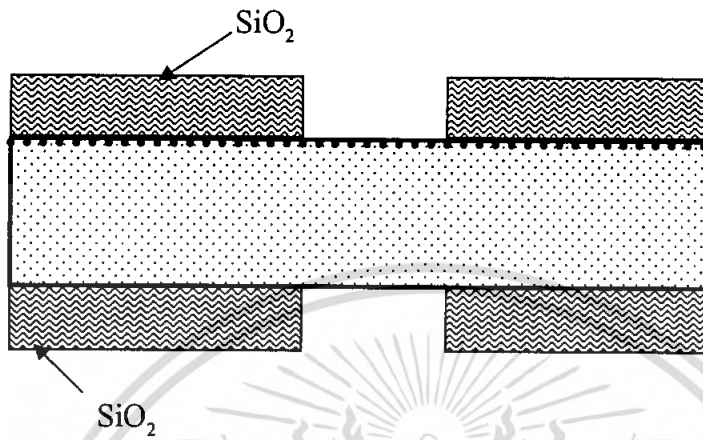


รูปที่ 3.11 สร้างชั้นออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.8 Etch Si_3N_4

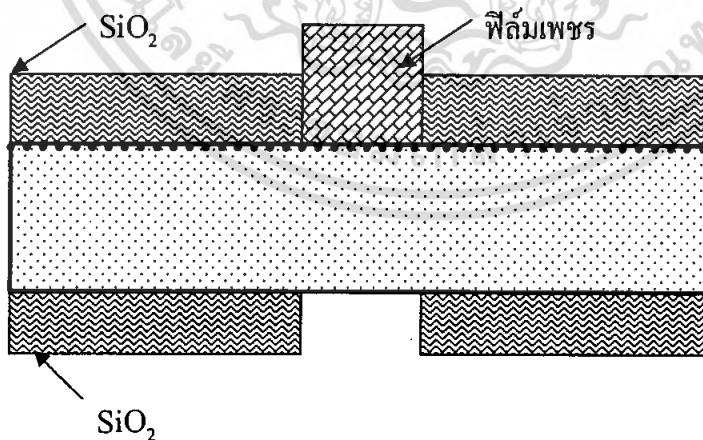
Etch Si_3N_4 ด้วยกรด ฟอสฟอริก ที่อุณหภูมิ 180 องศา



รูปที่ 3.12 Etch Si_3N_4 ด้วยกรด ฟอสฟอริก

3.3.2.9 Selectively Deposit Polycrystalline Diamond SiO_2 Etch During Deposition

สร้างฟิล์มเพชรบนฐานรองซิลิคอนขนาด 8 ไมครอน

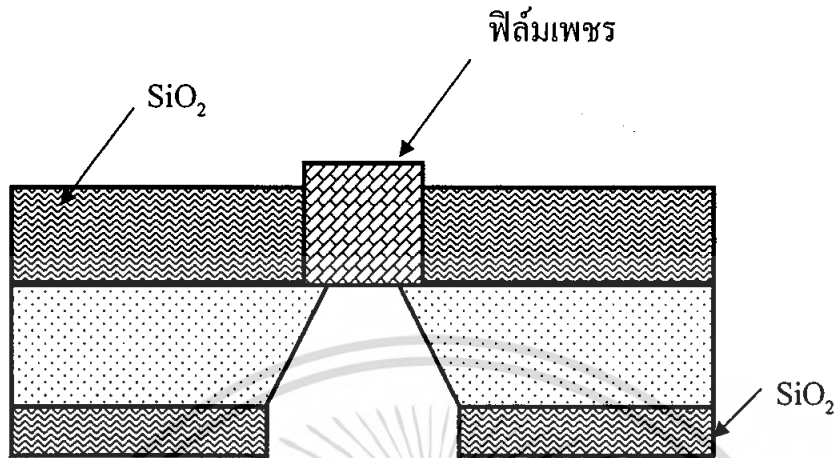


รูปที่ 3.13 สร้างฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.10 Chemical Etch Si to diamond

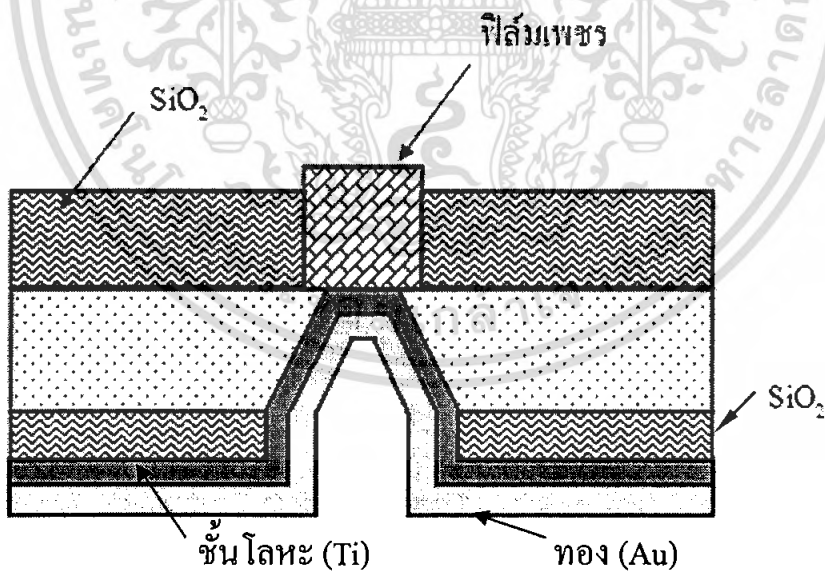
กัด Si ด้วยสารละลาย EPD



รูปที่ 3.14 กัด EPD

3.3.2.11 Sputtering Ti and Cu

เคลือบชั้น Ti (150 A°) และ Au (1500 A°) ด้านหลัง ด้วยวิธี Sputtering



รูปที่ 3.15 ชั้นไฟฟ้าฟิล์มเพชรที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรในการทดลองนี้ใช้วิธีการCVD แบบลดความร้อนที่ความดันต่ำ ฟิล์มเพชรถูกสร้างบนฐานรองซิลิคอน โดยรายละเอียดวิธีการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

4.1.1 การเตรียมฐานรองซิลิคอน

ฟิล์มเพชรถูกสร้างลงบนฐานรองซิลิคอนที่ทำการขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชร สาเหตุที่ต้องขัดผิวหน้า เพื่อให้ง่ายต่อการเกิดนิวเคลียสของผลึกเพชร โดยการเกิดเพชรจะเริ่มต้นเกิดที่รอยขัดก่อนจากนั้นจึงเริ่มขยายขึ้นเรื่อยๆ การสร้างฟิล์มเพชรในการทดลองนี้เราใช้ฐานรองเป็นซิลิคอนระนาบ (100) ขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชรขนาด 0.25 ไมครอน ภาพซิลิคอนที่ขัดผิวหน้าแล้วแสดงในรูปที่ 4.1 จากนั้นจึงนำซิลิคอนที่ขัดผิวหน้าเรียบร้อยแล้วไปเข้าเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

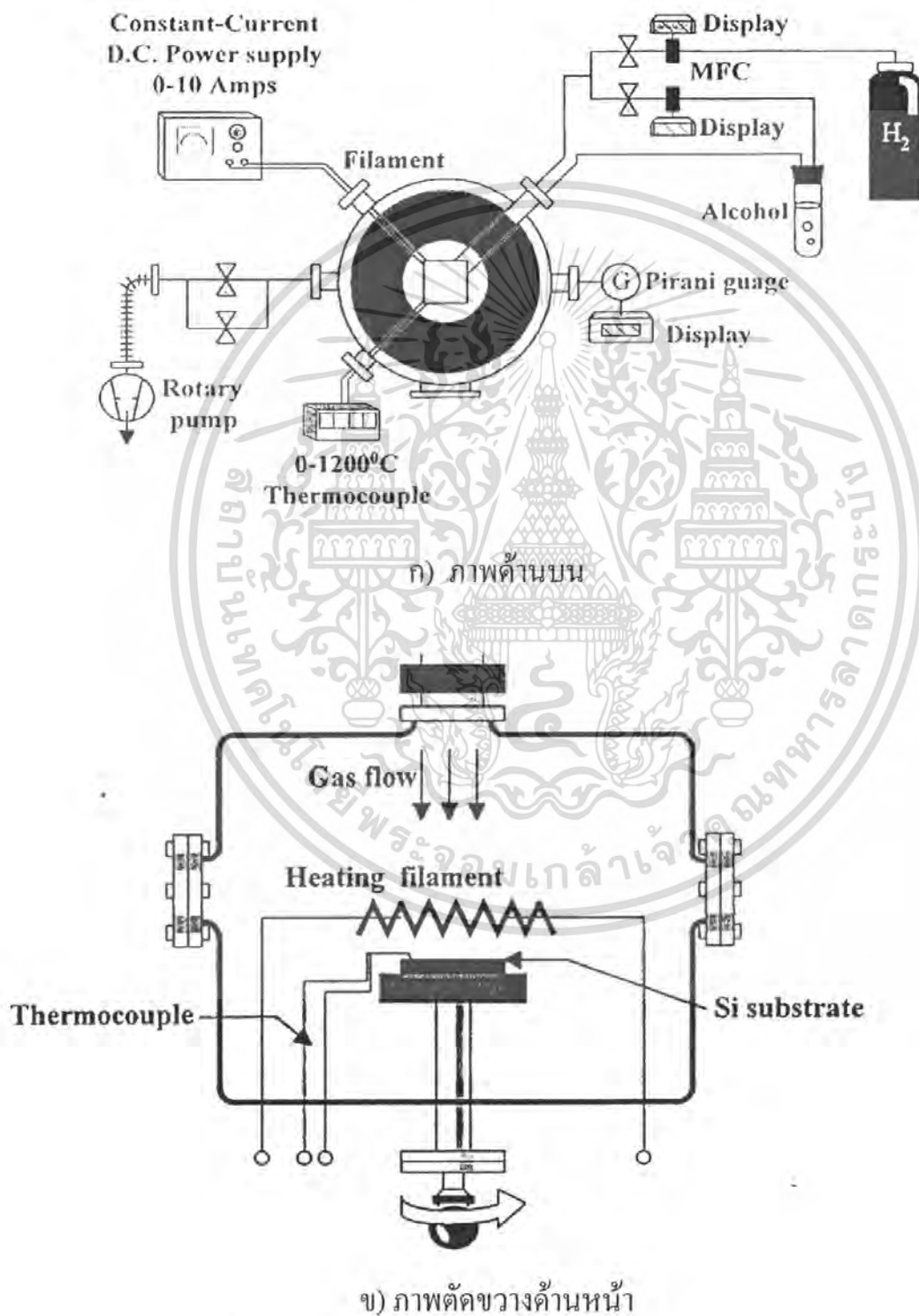


รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่าของผิวหน้าแผ่นซิลิคอนที่ขัดด้วยครีมเพชร 0.25 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

แผนภาพไดอะแกรมของระบบเครื่องสร้างฟิล์มเพชร ด้วยวิธีการCVD แบบ
ลดความร้อนที่ความดันต่ำแสดงในรูปที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.2 แผนภาพไดอะแกรมของระบบเครื่องสร้างฟิล์มเพชร หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

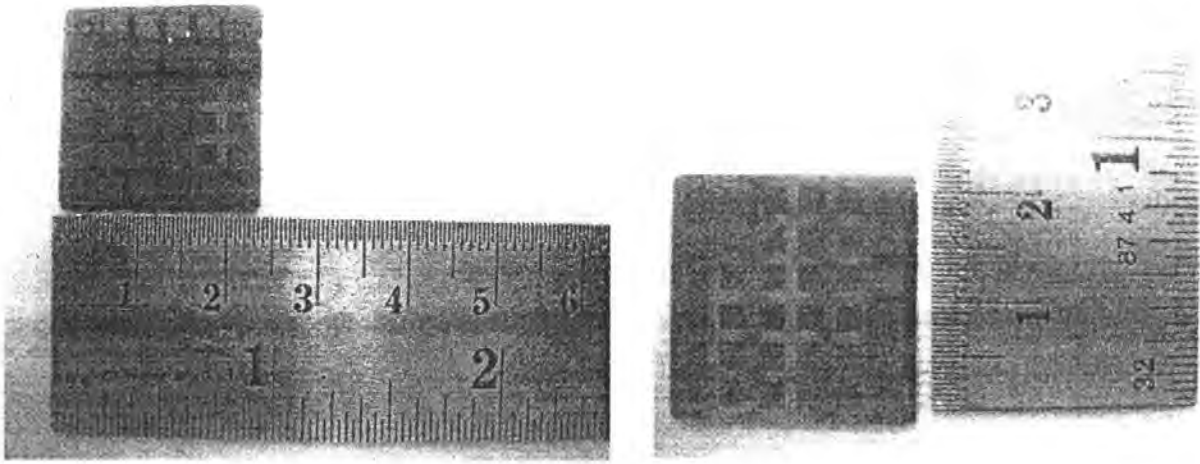
ในการทดลองสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธีการ CVD แบบลดความร้อนที่ความดันต่ำระยะห่างระหว่างไส้ทั้งสแตนกับฐานรองซิลิคอน จะมีผลต่อขนาดของเม็ดผลึกเพชร โดยที่ระยะเวลาในการสังเคราะห์เท่ากัน จากการทดลองพบว่าถ้าลดระยะห่างระหว่างไส้ทั้งสแตนกับฐานรองซิลิคอนลง จะทำให้ขนาดของเม็ดผลึกเพชรมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยในการทดลองระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสังเคราะห์ฟิล์มด้วยระบบนี้คือ 4 มิลลิเมตร เนื่องจากฐานรองซิลิคอนจะอยู่ใกล้กับลวดทั้งสแตนมาก โดยบริเวณนี้จะมีความหนาแน่นของก๊าซที่แตกตัวมากทำให้การก่อตัวเป็นผลึกเพชรเกิดขึ้นได้เร็ว ในขณะที่ระยะห่างจากไส้ทั้งสแตนมากขึ้นความหนาแน่นของก๊าซที่แตกตัวจะลดลง ทำให้การก่อตัวของผลึกเพชรช้าลงด้วย สำหรับระยะห่างต่ำกว่า 3 มิลลิเมตรลงมา จะเกิดการแพร่กระจายของอุณหภูมิของไส้ลวดทั้งสแตนมายังฐานรองซิลิคอนมาก ทำให้อุณหภูมิฐานรองสูงมากกว่า 1000 องศาเซลเซียส อีกทั้งความหนาแน่นของก๊าซที่แตกตัวมีปริมาณมากทำให้ได้ผลึกเพชรรูปร่างเป็นแบบบอล (ball shape)

นอกจากนี้ในการทดลอง พบว่าความดันที่ใช้ในขณะที่ทำการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรจะมีผลต่อขนาดพื้นของฟิล์มเพชรบนฐานรองซิลิคอน ผลการทดลองพบว่าที่ความดันต่ำการกระจายตัวของฟิล์มเพชร จะได้พื้นที่มากกว่าที่ความดันสูงทั้งนี้ เนื่องจากสังเคราะห์ฟิล์มเพชรที่ความดันต่ำช่วงอายุ (lift time) ของก๊าซที่แตกตัวจะมีค่ามากกว่าช่วงอายุของก๊าซแตกตัวที่ความดันสูง ดังนั้นที่ความดันต่ำจะทำให้การเกิดนิวเคลียสสามารถกระจายตัวได้บริเวณกว้าง ทำให้ได้พื้นที่ฟิล์มเพชรบนฐานรองซิลิคอนมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ในขณะเดียวกันถ้าความดันต่ำเกินไป ก็จะทำให้อัตราการเกิดผลึกเพชรลดลงเนื่องจากปริมาณก๊าซที่จะเกิดปฏิกิริยาลดลงทำให้ต้องใช้เวลาในการสังเคราะห์นานขึ้น ในการทดลองพบว่าความดันที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 50 ทอร์ สำหรับอัตราส่วนปริมาณก๊าซไฮโดรเจนต่อไอระเหย C_2H_5OH จะเป็นตัวแปรสำคัญในการสังเคราะห์เพชร จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมคือ 1 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จะได้ฟิล์มเพชรที่มีปริมาณของคาร์บอนกราฟไฟท์และอะมอร์ฟัสคาร์บอนน้อยลง

ฟิล์มเพชรที่ใช้นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ต่างๆ ในการทดลองนี้จะสังเคราะห์บนฐานรองซิลิคอน

โดยมีเงื่อนไขการสังเคราะห์ฟิล์มดังนี้

1. อุณหภูมิฐานรอง 900 องศาเซลเซียส วัดด้วยthermocouple ที่สัมผัสอยู่บนผิวของฐานรองซิลิกอน
 2. อุณหภูมิไส้ทั้งสแตน 2000 องศาเซลเซียส
 3. ระยะห่างระหว่างไส้ลวดทั้งสแตนกับฐานรองซิลิกอน 4 มิลลิเมตร
 4. อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ควบคุมโดย mass flow controller (MFC)
 5. อัตราการไหลของแอลกอฮอล์ 1เปอร์เซ็นต์ ควบคุมโดย mass flow controller (MFC)
 6. ควบคุมความดันที่ 50 ทอร์ วัดด้วย pirani guage
 7. เวลาในการสร้างฟิล์ม 8 ชั่วโมง ได้ฟิล์มเพชรพื้นที่ขนาด 2.5x2.5 ตารางเซนติเมตรความหนาประมาณ 8 ไมโครเมตร
- อัตราการก่อตัวของผลึกเพชรประมาณ 1 ไมครอนต่อชั่วโมง สำหรับภาพถ่ายฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้แสดงในรูปที่ 4.3 เป็นการสังเคราะห์ฟิล์มบนฐานรองซิลิกอนพื้นที่ขนาด 23 x 23 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายฟิล์มที่สังเคราะห์ได้ระยะเวลาสังเคราะห์ฟิล์ม 8 ชั่วโมง ความหนาฟิล์ม 8 ไมครอน พื้นที่ขนาด $2.3 \times 2.3 \text{ cm}^2$

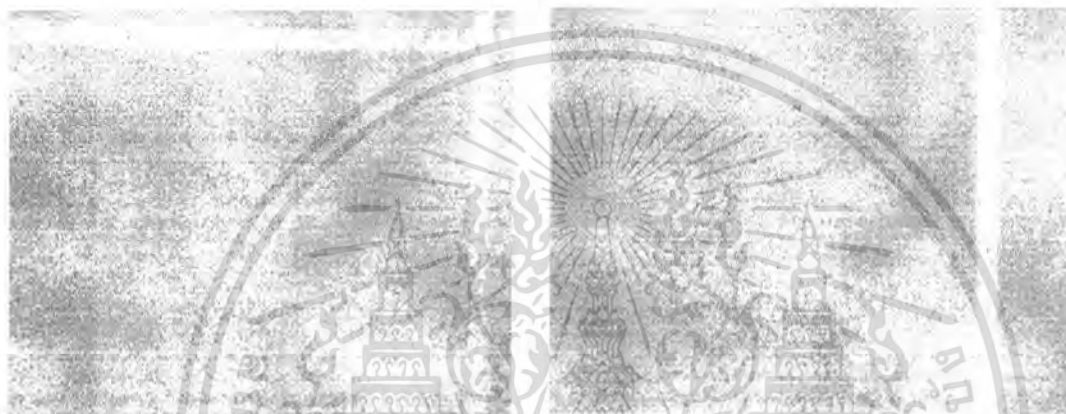
4.2 ผลการศึกษาการสร้างฟิล์มเพชรตามลวดลายที่กำหนด

ฟิล์มเพชรจะถูกสร้างให้เกิดลวดลายตามที่ถูกออกแบบไว้ด้วยวิธีตามที่กล่าวมาแล้ว ในบทที่ 3 เพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบวงจรต่อไป โดยในการทดลองมีการเตรียมพื้นฐานรองโดยการขัดแผ่นซิลิคอนด้วยครีมเพชรขนาด $0.25 \mu\text{m}$

ภายหลังจากการสร้างฟิล์มเพชรเสร็จแล้ว ชิ้นงานจะถูกนำมาวิเคราะห์ถึงผลที่ได้ ว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด เช่น การเกิดฟิล์มเพชรหรือผลึกเพชรบนพื้นที่ที่ไม่ต้องการให้เกิด ลักษณะฟิล์มเพชรที่เกิดขึ้น ความผิดพลาดของระยะห่างที่ใกล้ที่สุดระหว่างลวดลายของฟิล์มเพชร รวมไปถึงค่าความกว้างน้อยที่สุดของลวดลายฟิล์มเพชรที่เกิดขึ้น เมื่อเทียบกับค่าที่ออกแบบไว้

4.2.1 ผลจากการสร้างลวดลายฟิล์มเพชรโดยใช้วิธีซิลิคอนไดออกไซด์เป็นหน้ากปกป้องกัน

การสร้างลวดลายของฟิล์มเพชรจะใช้ชิ้นงานในกระบวนการสร้างในบทที่ 3 โดยทำการสร้างฟิล์มเพชรในเงื่อนไขของบทที่ 4.1.2 ตัวอย่างลวดลายก่อนทำการสร้างฟิล์มเพชรแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างลวดลายที่ใช้ในการทดลอง (กำลังขยาย 100เท่า)

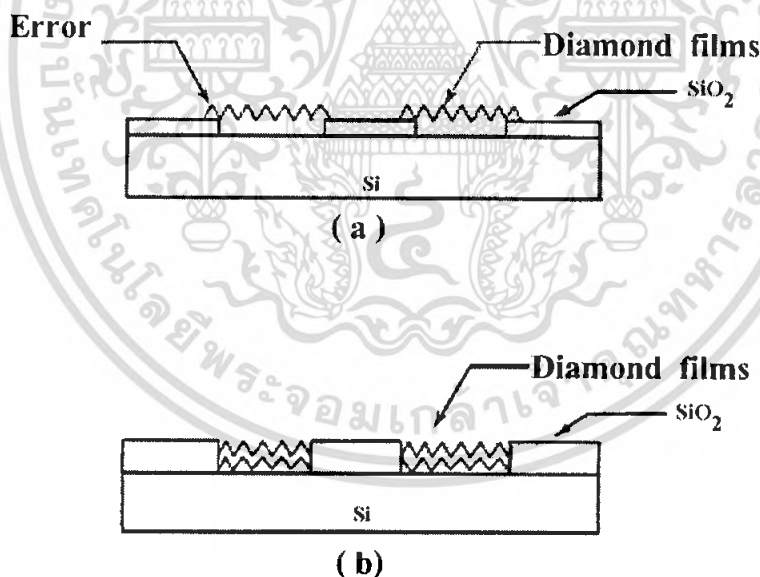
ซึ่งผลการตรวจสอบพบว่าการเกิดลวดลายฟิล์มเพชร จะขึ้นอยู่กับกระบวนการสร้างชั้น SiO_2 ด้วยวิธีออกซิเดชันแบบความร้อน ภายหลังจากการสร้างเสร็จสิ้นจะพบว่าจะไม่เกิดฟิล์มเพชรตามลวดลายที่ต้องการ แต่จะเป็นผลึกเดี่ยวๆกระจายบางๆทั่วไปทั้งผิวหน้าของแผ่นซิลิคอน และผิวหน้าของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

สาเหตุที่ไม่เกิดฟิล์มเพชรตามลวดลายที่ต้องการ แต่เกิดผลึกกระจายทั่วไปหมดสันนิษฐานได้ว่า กระบวนการสร้างชั้น SiO_2 แบบออกซิเดชันแบบความร้อนเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น เกิดชั้น SiO_2 ลึกลงไปในแผ่นซิลิคอน เมื่อลอก SiO_2 ออก SiO_2 ที่ถูกลอกออกไปจะมีผลต่อรอยขีดที่เกิดจากการขัดครีမ်เพชร คือไปลดให้รอยขีดลดลง ทำให้เกิดนิวมลึเอชันของเพชรน้อยลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าความหนาชั้นซิลิคอนมีผลต่อการเกิดลวดลายฟิล์มเพชรด้วย หากความหนา SiO_2 มีค่าน้อยเกินไป ลวดลายของฟิล์มจะไม่ค่อยชัดและข้อผิดพลาดสูงเนื่องจากการเกิดผลึกเพชรขึ้นบนชั้น SiO_2 ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างลวดลายของฟิล์มเพชร ถ้าหากความหนาของ SiO_2 มีค่าน้อย ลวดลายของฟิล์มเพชรจะไม่คมชัดและเกิดข้อผิดพลาดสูง แต่ถ้าความหนาชั้น SiO_2 มีค่าเพิ่มขึ้น ความผิดพลาดของลวดลายก็จะมีค่าลดลง

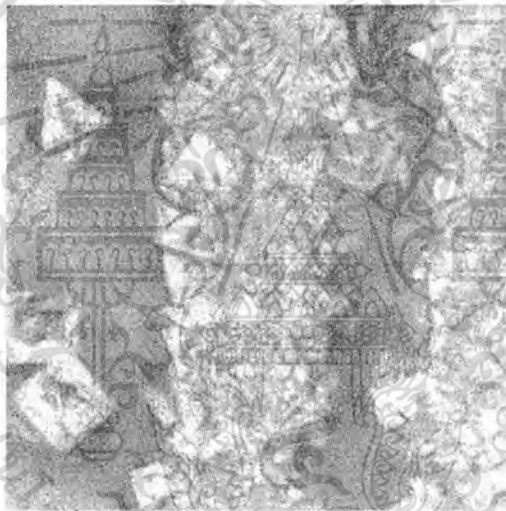
สาเหตุที่เกิดข้อผิดพลาดระหว่างลวดลายฟิล์มเพชรมากในกรณีที่มี SiO_2 มีความหนาน้อย สันนิษฐานได้ว่า อาจเกิดจากที่ผลึกเพชรบริเวณขอบของลวดลายเกินออกมาบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ แต่หาก SiO_2 มีความหนามากพอ โอกาสที่ผลึกเพชรบริเวณขอบของลวดลายเกินออกมาที่ SiO_2 จะลดลง



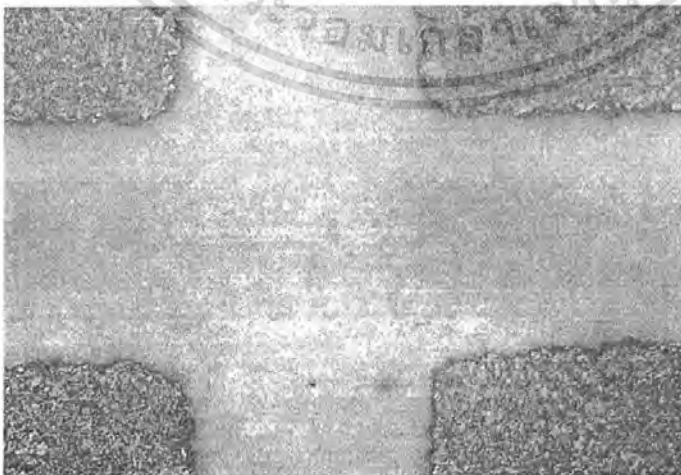
รูปที่ 4.5 แผนภาพผลความหนาของชั้น SiO_2 ที่มีต่อการเกิดลวดลายของฟิล์มเพชร

(a) กรณี SiO_2 บางๆ (b) กรณี SiO_2 หนา

โดยจากการสร้างฟิล์มเพชรระยะห่างและ ขนาดความกว้างของลวดลายมีผลต่อความ ผิดพลาดของการเกิดฟิล์มเพชรคือ บริเวณขอบด้านนอกของลวดลายจะเกิดฟิล์มเพชรเกิน ออกมาจากลวดลายที่ออกแบบไว้ โดยที่ขนาดความกว้างของลวดลายฟิล์มเพชรต่างๆ จะมีความ ผิดพลาดเกิดขึ้นสูง แต่หากความกว้างเพิ่มขึ้น ความผิดพลาดจะมีค่าต่ำลง เนื่องจาก ขนาดของผลึกที่เกิดขึ้นมายังขอบนอกลวดลายมีค่าคงที่ เช่นเดียวกับระยะห่างใกล้ที่สุด ระหว่างลวดลาย คือที่ระยะห่างใกล้ที่สุดระหว่างลวดลายมีค่าน้อยความผิดพลาดก็จะ เกิดขึ้นสูง และที่ระยะห่างใกล้ที่สุดระหว่างลวดลายมีค่ามากความผิดพลาดก็จะเกิดลดลง ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้น จะเกิดขึ้นเท่าๆกันทุกทิศทางของ พื้นที่ที่ออกแบบไว้

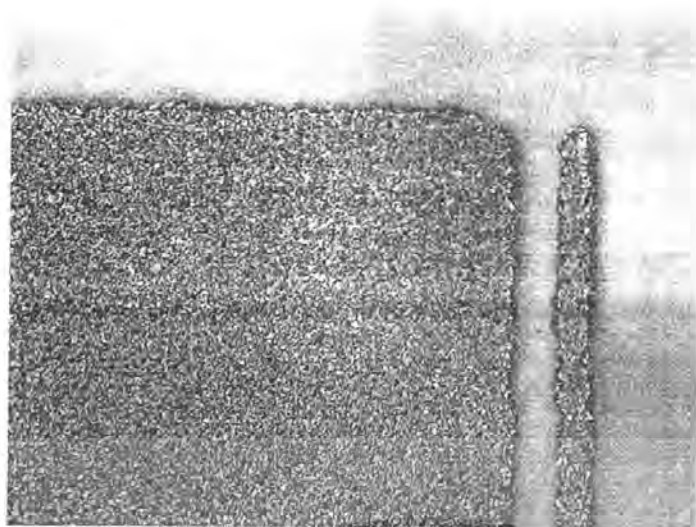


รูปที่ 4.6 รายละเอียดฟิล์มเพชรขนาด 20 ไมครอน



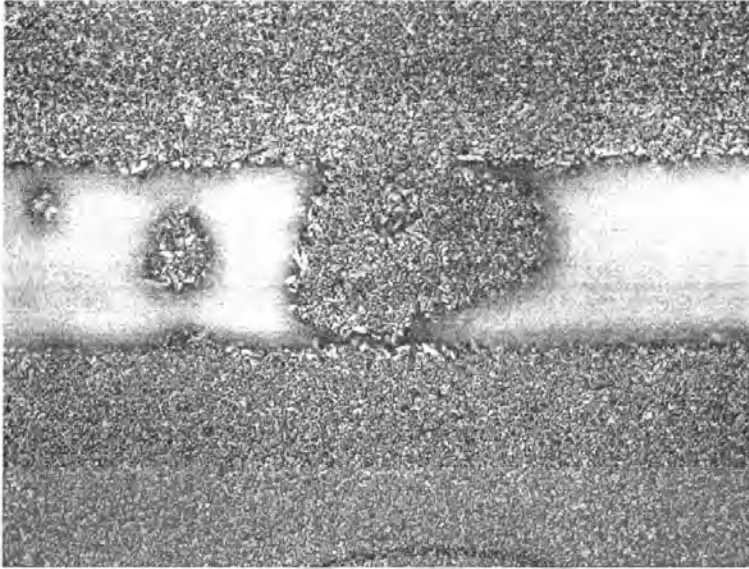
รูปที่ 4.7 ภาพมูรภาคของการเกิดพื้นที่เพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

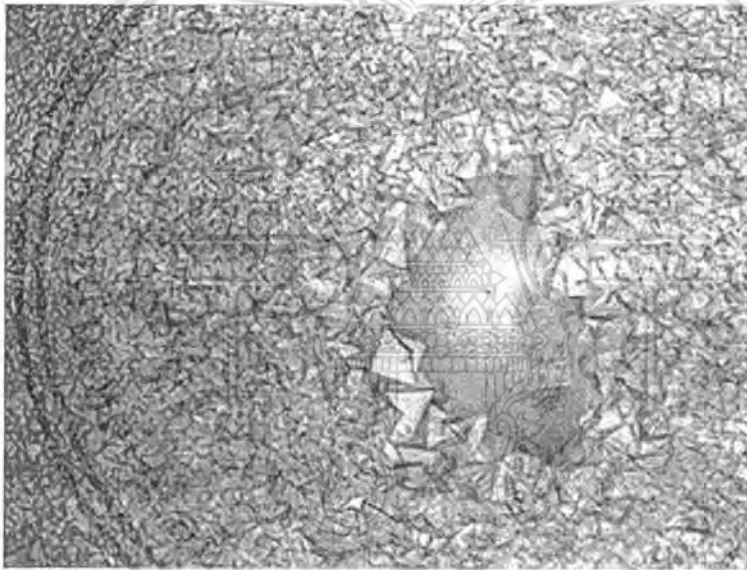


รูปที่ 4.8 ภาพจุลทรรศน์ของการเกิดฟิล์มที่เพชร

จากการทดลองสร้างฟิล์มเพชรตามลวดลายจะพบว่า ในบางครั้งจะมีข้อผิดพลาดทำให้ลวดลายของฟิล์มเพชรเสียหาย เช่น อุณหภูมิฐานรองไม่เหมาะสม คือถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะเป็นการไปเพิ่มความหนาแน่นการเกิดนิวเคลียสขึ้นให้มากขึ้น ทำให้เกิดฟิล์มเพชรบนชั้น SiO_2 ขึ้นมา ซึ่งบางครั้งไม่สามารถกำจัดออกได้ กระบวนการเตรียมพื้นผิวฐานรองมีข้อผิดพลาด คือในการขัดผิวหน้าแผ่นซิลิคอนหากมีวัสดุอื่นที่ไม่ใช่ครีမ်เพชรเจอปน เช่นเศษแผ่นซิลิคอนที่แตกระหว่างขัด ทำให้ผิวหน้าแผ่นซิลิคอนมีรอยที่ไม่ได้เกิดจากการขัดครีမ်เพชรขึ้นมา ซึ่งเมื่อนำไปสร้างฟิล์มเพชรแล้ว บางครั้งจะเกิดผลึกเกาะตัวตามรอยเสียหายนี้ และไม่สามารถลอกเอาออกได้ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างลวดลาย ดังนั้นจึงควรระมัดระวังอย่าให้มีรอยนี้เกิดขึ้น กระบวนการขั้นตอนการเกิดช่องของชั้น SiO_2 คือหากใช้ระยะเวลาในการลอกชั้น SiO_2 มากเกินไปทำให้เกิดการเซาะ SiO_2 บริเวณรอบๆพื้นที่ช่วงที่เปิด เมื่อนำชิ้นงานไปสร้างฟิล์มเพชร พบว่าจะมีฟิล์มเพชรเกิดลามออกมานอกลวดลายที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.9 ช่องว่างระหว่างเพชร Error เนื่องจากเพชรเกิดล้าเข้าไปในออกไซด์



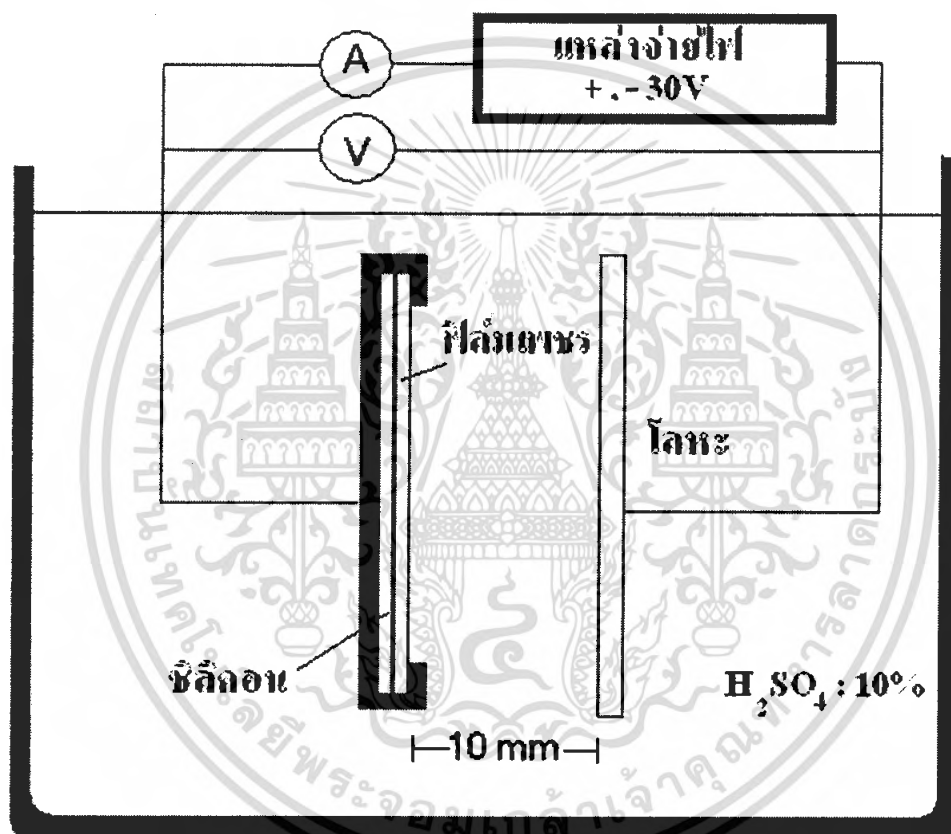
รูปที่ 4.10 ข้อผิดพลาดเกิดจากกระบวนการสอ Si_3N_4 ไม่สมบูรณ์

จากที่กล่าวมาทั้งหมด สรุปได้ว่าการสร้างฟิล์มเพชรให้เกิดขึ้นเป็นลวดลายจำเป็นจะต้องพิถีพิถัน และควบคุมขั้นตอนต่างๆในการสร้างให้ละเอียดรอบคอบ มิฉะนั้นแล้วผลที่ได้จะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นซึ่งจะไม่เป็นผลดีต่อการนำไปใช้งานต่อไป อย่างไรก็ตามหากมีการควบคุมขั้นตอนต่างๆอย่างเหมาะสม ก็จะได้ฟิล์มเพชรเป็นลวดลายตามที่ต้องการเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวัดค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

ต่อวงจรตามรูปที่ 4.11 โดยป้อนไฟ Supply ตั้งแต่ -10 v ถึง 10 v วัดค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และเมื่อป้อนไฟที่ 10 v จากเวลา 0 t – 200t วัดค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า



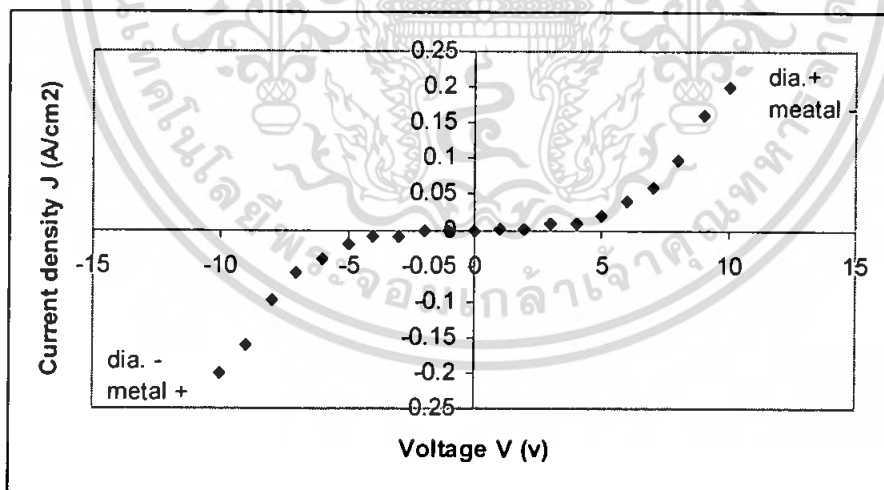
รูปที่ 4.11 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage (v) กับ Current density (A/cm^2)

Voltage (v)	Current density (A/cm^2)	Voltage (v)	Current density (A/cm^2)
0	0	0	0
1	0.00012	-1	-0.00013
2	0.0014	-2	-0.0015
3	0.013	-3	-0.012
4	0.018	-4	-0.017
5	0.022	-5	-0.024
6	0.041	-6	-0.043
7	0.062	-7	-0.061
8	0.094	-8	-0.096
9	0.163	-9	-0.161
10	0.2	-10	-0.19

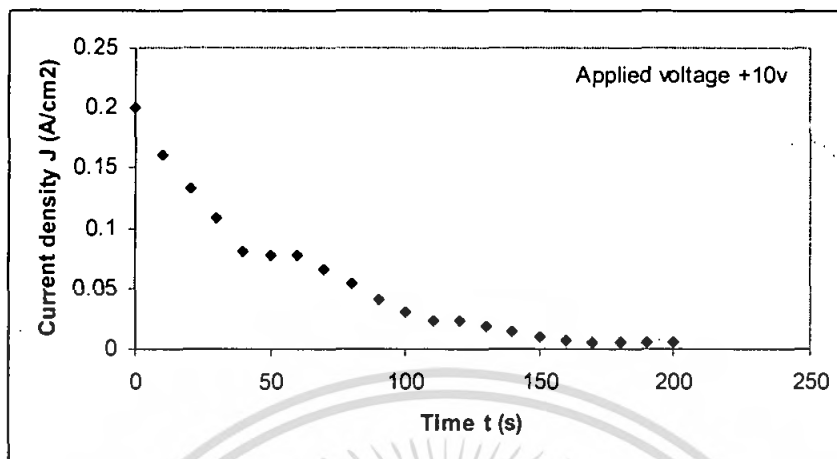
กราฟที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage (v) กับ Current density (A/cm^2)



จากกราฟที่ 4.1 พบว่าเมื่อเราป้อนไฟ ที่ $-10v$ ถึง $10v$ ค่าความหนาแน่นกระแสที่ได้มีค่ามากที่สุดที่ $10v$ คือ $0.2 J (A/cm^2)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Time t(s) กับ Current density (A/cm^2)



จากกราฟที่ 4.2 พบว่าเมื่อเราป้อนไฟที่ 10V เป็นเวลา 200วินาที ค่าความหนาแน่นกระแสที่ได้จะมีค่าลดลง จาก $0.2 J (A/cm^2)$ จนมีค่าใกล้เคียง 0

อัตราการลดลงของ Current density (A/cm^2)

ที่ 0-60 วินาที ลดลง $2.0483 \times 10^{-3} (A/cm^2)/s$

ที่ 60-120 วินาที ลดลง $8.95 \times 10^{-4} (A/cm^2)/s$

ที่ 120-200 วินาที ลดลง $2.175 \times 10^{-4} (A/cm^2)/s$

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

รายงานเล่มนี้แสดงผลการศึกษาและพัฒนาเพื่อนำฟิล์มเพชรมาประยุกต์สร้างเป็นอุปกรณ์ขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชร โดยทำการศึกษาถึงพฤติกรรมการนำไฟฟ้าของฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการ CVD แบบลดความร้อนที่ความดันต่ำ โดยที่เรานำฟิล์มเพชรมาสร้างเป็นขั้วไฟฟ้าทางเคมีเพราะฟิล์มเพชรมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำไฟฟ้า คุณสมบัติทางเคมีทางฟิสิกส์และทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเหมาะสมมาเป็นขั้วไฟฟ้าทำงานจะต้องมีปริมาณของ โบรมอนที่เจืออยู่มากกว่าหรือเท่ากับ $10^{19} / \text{cm}^3$ จากการทดลองสร้างขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชรพบว่าการสร้างฟิล์มเพชรมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นคือเกิดเพชรล้าเข้าไปในออกไซด์ซึ่งเกิดกระบวนการสร้างชั้น SiO_2 แบบออกซิเดชันด้วยความร้อนหรือความหนาของชั้นออกซิเดชันหรือระยะห่าง และขนาดความกว้างของลวดลาย และในส่วนที่เกิดฟิล์มเพชรบางส่วนที่ไม่เกิดฟิล์มเพชรขึ้นเนื่องจากในกระบวนการลอก Si_3N_4 ไม่สมบูรณ์เนื่องมาจากน้ำยาป้องกันชั้น Si_3N_4 ในส่วนที่ถ่ายมาสักไว้ป้องกันได้ไม่ครบ ทำให้เมื่อถึงกระบวนการสร้างฟิล์มเพชรเกิดส่วนที่ฟิล์มเพชรไม่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องพินิจพิเคราะห์ และควบคุมขั้นตอนต่างๆ ในการสร้างให้ละเอียดรอบคอบ เพื่อที่จะได้ฟิล์มเพชรเป็นลวดลายตามที่ต้องการเพื่อจะนำไปประยุกต์ใช้งานโดยขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชรที่สร้างได้ จากการทดลองสามารถนำไปศึกษาการนำไฟฟ้าในสารละลาย H_2SO_4 10% พบว่าที่ศักดา 10v จะมีความหนาแน่นกระแส 0.2 A/cm^2

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกราช รัตนอุดมพิสุทธิ, สมศักดิ์ เข็ยศิริกุล และ สมเกียรติ สุขเดช “ การสังเคราะห์ฟิล์มบาง เพชรบน Si ด้วยวิธี CVD แบบลดความร้อนโดยใช้ C_2H_5OH ” การประชุมวิชาการทาง วิศวกรรมไฟฟ้า,ครั้งที่ 20 2540, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน้า 425-500
- [2] R.F. Davis. Diamond films and Coatings . New Jersey : Noyes publications , 1993
- [3] S.M. Sze. **Semiconductor Devices : Physics and Technology** . New York : John wiley & Sons,Inc 1986. pp. 364-391



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การทำความสะอาดผิวผลึกซิลิคอนเริ่มต้น (initial cleaning) มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำความสะอาดผิวด้วยน้ำบริสุทธิ์ (deionized water) ในเครื่องสั่นความถี่สูง (supersonic cleaning)
2. ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
3. กัดผิวหน้าด้วยกรดกัดแก้ว (HF) 5% เป็นเวลา 2 นาที
4. ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
5. ต้มในกรดไนตริก (HNO_3) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำเริบโลหะหนักที่ผิวหน้า
6. ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
7. ต้มในน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 5 นาที
8. ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
9. เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
10. ต้มในไตรโคลโรเอทิลีน (Trichloroethylene) เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภทไขมัน
11. ล้างด้วยอะซีโตน (Acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูงเป็นเวลา 3 นาที
12. ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
13. จุ่มลงในกรดกัดแก้ว (HF) 5% เป็นเวลา 20 นาที
14. ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
15. เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

ภาคผนวก ข

การทำความสะอาดผิวหน้าฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์แล้วก่อนนำเข้ากระบวนการอื่นต่อไปมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กัดด้วยสารละลายอิมตัวของโครเมียมไตรออกไซด์(CrO_3)ในกรดซัลฟูริก(H_2SO_4)ที่อุณหภูมิ 170°C เป็นเวลา 3 นาที เพื่อกำจัดกราฟไฟท์ที่ผิวหน้า
2. ล้างด้วยสารละลายต้มเดือดของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) อัตราส่วน 1:1
3. ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
4. เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

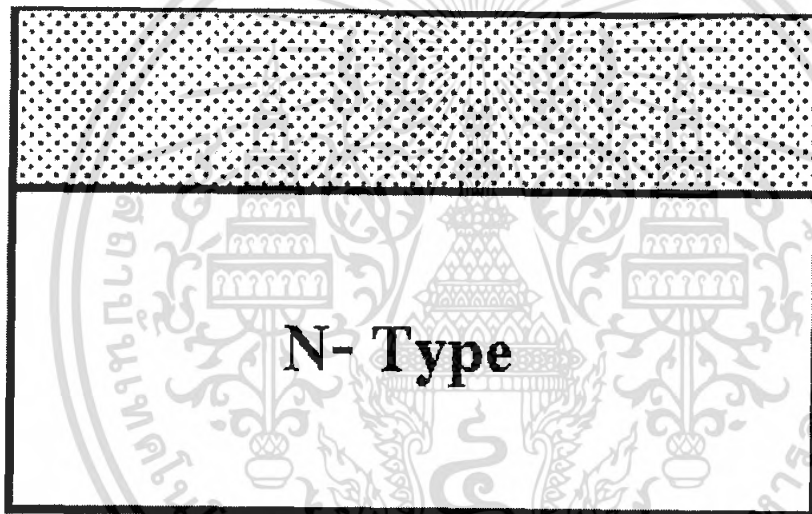


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กระบวนการออกซิเดชัน (การสร้าง SiO_2 ให้หนา $12,000 \text{ \AA}$)

- Dry Oxidation ด้วย O_2 1200 cc/min 2 ชั่วโมง
(เป็นการสร้าง SiO_2 แบบละเอียดและกระบวนการที่เกิดขึ้นช้า)
- Wet Oxidation ด้วย O_2 1000cc/min 13 ชั่วโมง



แสดงกระบวนการสร้าง SiO_2 แบบ Wet และ Dry

ภาคผนวก ง

กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

- อบแผ่นผลึกในเตาอบเพื่อไล่ความชื้นที่ อุณหภูมิ 100 °c ประมาณ 1 ชั่วโมง
- เคลือบน้ำยาไวแสงด้วยเครื่อง Spinner 5000 rpm สำหรับ AZ 4620
- Peabrake ด้วยการอบในเตาอบที่ อุณหภูมิ 90 °c ประมาณ 30 นาที
- นำแผ่นทำการ Mask Alignment และฉายแสงประมาณ 80 วินาที
- Development โดย จุ่ม AZ 400K เป็นเวลา 40 วินาที
- Postbake ในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 °c ประมาณ 20 นาที แล้วนำออกมาเคลือบสารไวแสงข้างหลังเพื่อป้องกันการกัดด้วย AZ แล้วอบต่ออีก 10 นาที

การใช้สารละลายสกัดชั้นออกไซด์ (Oxide Etching)

- จุ่มในสารละลาย Buffer 12 นาที (สารจาสกัดชั้น ออกไซด์ นาทีละ 1000 Å^๒)
- จุ่มในน้ำ DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วย N₂

กระบวนการลอกฟิล์ม (ลอกฟิล์มที่โดนแสงออกไป)

- ล้างในสารละลาย Acetone 2 แก้ว แก้วละ 1 นาที
- จุ่มในน้ำ DI 10 นาที 2-3 ครั้ง
- คัดน้ำ DI 30 นาที 1-2 ครั้ง
- ล้างน้ำ DI 10 นาที 2-3 ครั้งแล้วเป่าแห้งด้วย N₂