

บทที่ 5

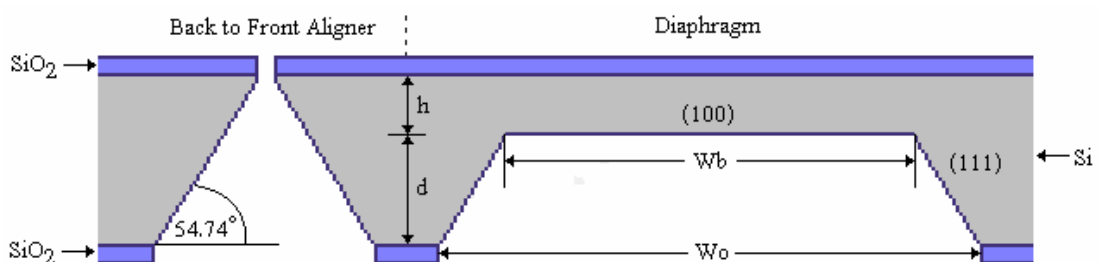
การออกแบบและกระบวนการสร้าง

ขั้นตอนของการออกแบบและกระบวนการสร้าง ได้ทำการออกแบบโครงสร้างหัวตรวจวัดก๊าซไอโซนแบบฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ และทำการสร้างโดยแบ่งตามลักษณะโครงสร้าง ดังนี้

1. การออกแบบไดอะแฟรม และ Back to Front Aligner
2. การออกแบบไมโครฮีเตอร์และตัววัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน
3. การออกแบบขั้ววัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า
4. การออกแบบพื้นที่ของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์
5. การสร้างกระจกมาสก์ต้นแบบ
6. และกระบวนการสร้างหัวตรวจวัดก๊าซ

5.1 การออกแบบไดอะแฟรม และ Back to Front Aligner

ไดอะแฟรม (Diaphragm) ถูกออกแบบขึ้นเพื่อต้องการลดการสูญเสียของการกระจายความร้อนที่ได้จากไมโครฮีเตอร์ไปในเนื้อซิลิคอนฐานรองในขณะทำการตรวจวัดก๊าซ และในส่วนของ Back to Front Aligner ถูกออกแบบเพื่อทำหน้าที่เป็นจุด Alignment ของกระจกมาสก์ต้นแบบต่างๆ โดยทั้งหมดจะเป็นการกัดบนฐานรองซิลิคอนระนาบ (100) ในสารละลาย EPD ซึ่งมีลักษณะการกัดเป็นแบบแอนไอโซทรอปิก (Anisotropic) โดยควบคุมอัตราการกัดที่ 1 ไมครอน ต่อนาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้ซิลิคอนไดออกไซด์เป็นหน้ากากป้องกันการกัด หรือที่เรียกว่า “Hard Mask”



รูปที่ 5.1 ลักษณะการกัดแบบแอนไอโซทรอปิก

สมการที่ใช้ในการออกแบบการกัดแบบแอนไอโซทรอปิก คือ

$$W_b = W_o - 2d \cot 57.74^\circ \quad (5.1)$$

หรือมีค่าประมาณ $W_b \approx W_o - \sqrt{2}.d \quad (5.2)$

โดยที่ W_b คือ ความกว้างของไดอะแฟรมที่ต้องการ

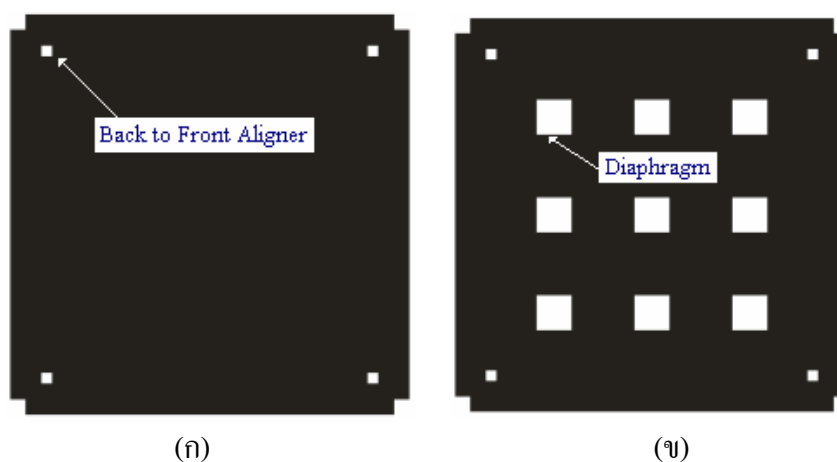
W_o คือ ความกว้างของมาสก์ต้นแบบ

d คือ ระยะของการกัด

h คือ ความหนาของไดอะแฟรม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กำหนดความหนาของไดอะแฟรม (h) เท่ากับ 100 ไมครอน และความกว้าง (W_b) เท่ากับ 2,000 ไมครอน เนื่องจากแผ่นซิลิคอนมีความหนาประมาณ 380 ไมครอน ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบขนาดของไดอะแฟรมต้นแบบ (W_o) ที่มีขนาดเท่ากับ $2,400 \times 2,400$ ไมครอน

และในส่วนของ Back to Front Aligner ได้กำหนดขนาดความกว้างของจุด Alignment (W_b) เท่ากับ 700 ไมครอน ดังนั้น จึงทำการออกแบบขนาดของจุด Alignment ต้นแบบ (W_o) ที่มีขนาดเท่ากับ $1,240 \times 1,240$ ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ลักษณะลวดลายของ (ก) Back to Front Aligner และ (ข) ไดอะแฟรม

5.2 การออกแบบไมโครฮีตเตอร์ และตัววัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน

ไมโครฮีตเตอร์ (Micro heater) ถูกออกแบบขึ้นเพื่อทำหน้าที่สร้างความร้อนให้กับหัวตรวจวัดก๊าซขณะใช้งาน การออกแบบไมโครฮีตเตอร์ (Micro heater) ได้ทำการออกแบบขึ้นเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วงใช้งานของหัวตรวจวัดก๊าซ โดยไมโครฮีตเตอร์ได้ออกแบบขนาดความกว้างของเส้นเท่ากับ 100 ไมครอน ในพื้นที่ $1,800 \times 1,800$ ไมครอน

ตัววัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน (Resistance Temperature Detector: RTD) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิที่ได้จากไมโครฮีตเตอร์ โดยแสดงผลในรูปของการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทาน ในส่วนของ RTD มีขนาดความกว้างของเส้นเท่ากับ 100 ไมครอน

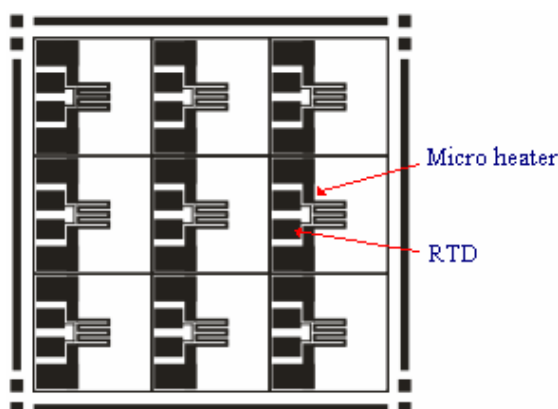
ซึ่งในการออกแบบสามารถกำหนดค่าความต้านทานของลวดลายฟิล์มโลหะได้จาก

$$R = R_s N \quad (5.3)$$

โดยที่ R คือ ค่าความต้านทานของตัวไมโครฮีตเตอร์ (Ω)
 R_s คือ ค่าความต้านทานที่ผิว (Sheet Resistance) ($\Omega / \square$)
 N คือ จำนวนช่องที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

การเลือกวัสดุที่นำมาใช้สร้างไมโครฮีตเตอร์ และ RTD จะต้องเป็นวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวสูง, มีค่าสภาพความต้านทานต่ำ, และไม่เกิดการออกซิไดซ์บริเวณผิวของวัสดุได้ง่าย ตัวอย่างเช่น โลหะแพลทินัม (Pt) ที่มีจุดหลอมเหลว (Melting point) สูงถึง 1770 องศาเซลเซียส และมีค่าสภาพความต้านทาน (Resistivity) เท่ากับ $9.81 \mu\Omega \cdot \text{cm}$

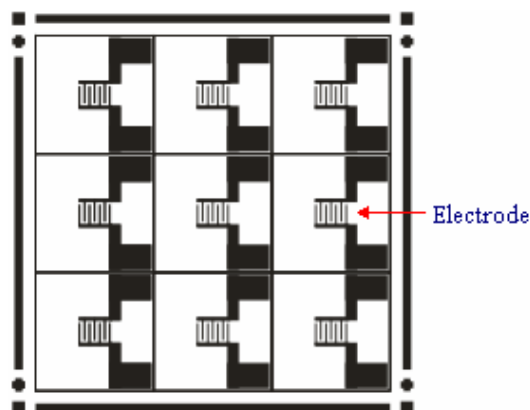
การใช้โลหะไททาเนียม (Ti) เป็นชั้นประสาน เนื่องจากโลหะแพลทินัมมีความสามารถในการยึดเกาะกับชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ได้ไม่ดีนัก จึงเลือกใช้โลหะไททาเนียมซึ่งมีความสามารถในการยึดเกาะกับวัสดุทั้งสองชนิดได้ดี คือระหว่างชั้นฟิล์มแพลทินัมและชั้นฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์



รูปที่ 5.3 ลักษณะลวดลายของไมโครฮีตเตอร์และ RTD

5.3 การออกแบบขั้ววัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

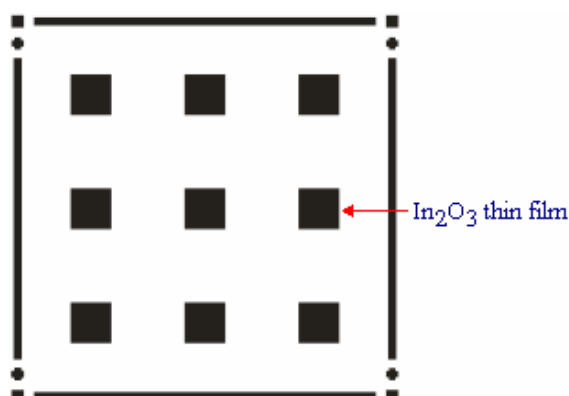
ขั้ววัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrode) ทำหน้าที่วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของฟิล์มบางขณะตรวจจับก๊าซ ขั้ววัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าสร้างขึ้นจากโลหะแพลทินัม (Pt) และมีไททาเนียม (Ti) เป็นชั้นประสานระหว่างชั้นของโลหะแพลทินัมและซิลิคอนไดออกไซด์ โดยมีขนาดลวดลาย 100 ไมครอน ในพื้นที่ $1,800 \times 1,800$ ไมครอน



รูปที่ 5.4 ลักษณะลวดลายของขั้ววัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

5.4 การออกแบบพื้นที่ของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์

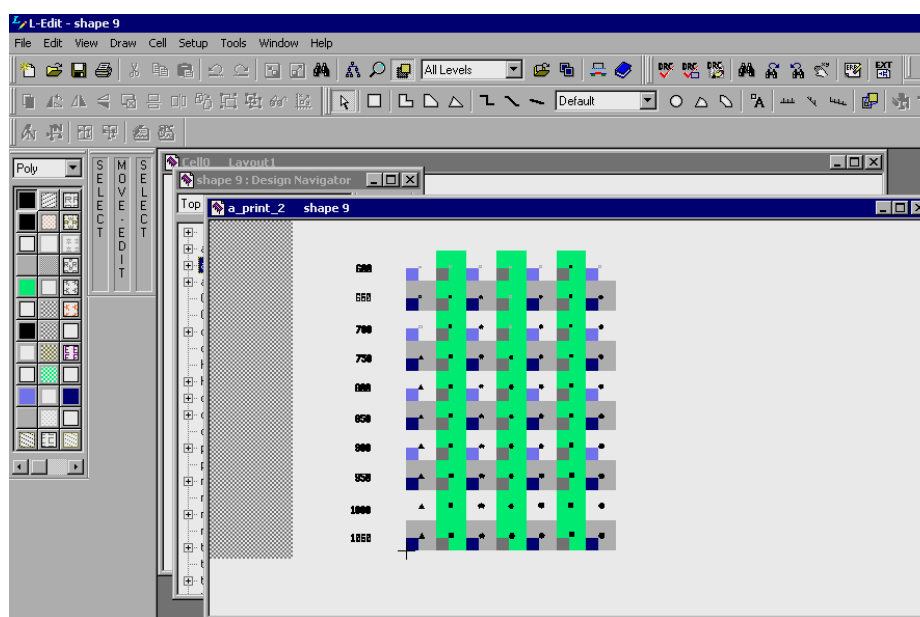
ฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) ทำหน้าที่ในการตรวจจับก๊าซ โดยทำการสร้างชั้นฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ด้วยเทคนิคการสปีดเตอร์ริงแบบ อาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง และกำหนดขนาดพื้นที่ของชั้นฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์เท่ากับ $1,800 \times 1,800$ ไมครอน



รูปที่ 5.5 ลักษณะลวดลายของพื้นที่ฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์

5.5 การสร้างกระจกมาสก์ต้นแบบ

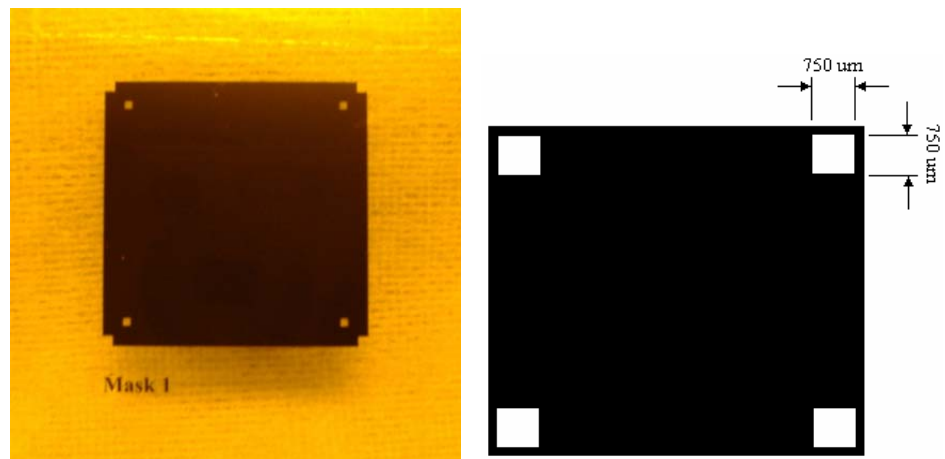
เมื่อทำการออกแบบโครงสร้างต่างๆ ของหัวตรวจวัดก๊าซแล้ว ทำการวาดลวดลายของมาสก์ (Mask) ต่างๆ ด้วยโปรแกรม LEDIT (v8.03) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบและวาดลวดลายต้นแบบ จากนั้นทำการแปลงไฟล์เป็น PDF File เพื่อสามารถถ่ายภาพลงบนฟิล์มใสแล้วนำมาประกอบเข้ากับกระจกควอทซ์ที่มีขนาด 3×3 นิ้ว เพื่อใช้ประโยชน์เป็นกระจกมาสก์ต้นแบบในกระบวนการถ่ายภาพลวดลาย (Photolithography) ต่อไป



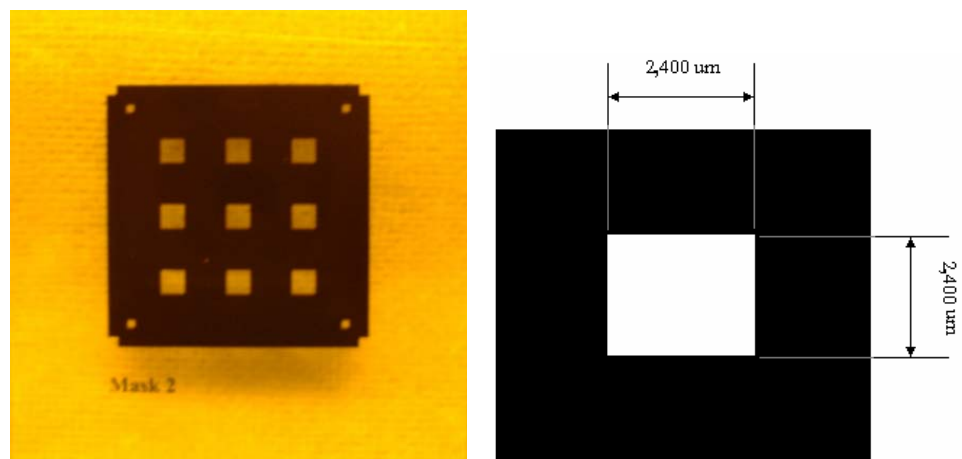
รูปที่ 5.6 ลักษณะภาพถ่ายโปรแกรม LEDIT

ซึ่งกระจกมาสก์ต้นแบบต่างๆ จะถูกกำหนดด้วยขั้นตอนของการสร้างหัวตรวจวัดก๊าซ ดังต่อไปนี้

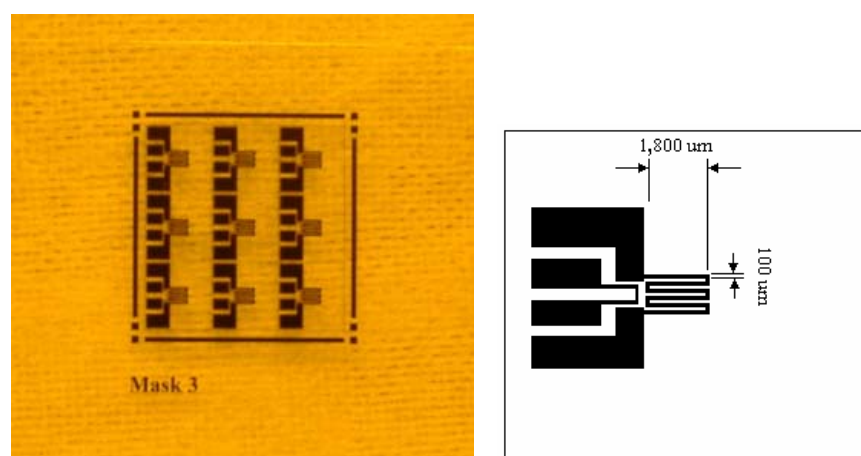
- มาส์กที่ 1 สร้างจุด Alignment ที่เรียกว่า “Back to Front Aligner”
- มาส์กที่ 2 สร้างไดอะแฟรม
- มาส์กที่ 3 สร้างไมโครฮีเตอร์และตัววัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน
- มาส์กที่ 4 สร้างขั้ววัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า
- มาส์กที่ 5 ปิดช่องฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ไม่ให้ถูกกัด
- มาส์กที่ 6 เปิดขั้วต่างๆ (Open pad)



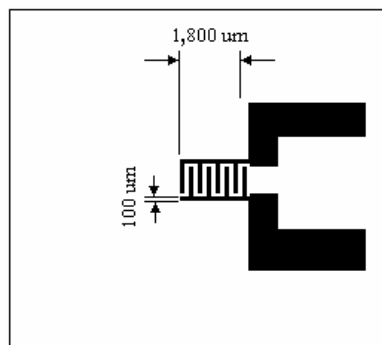
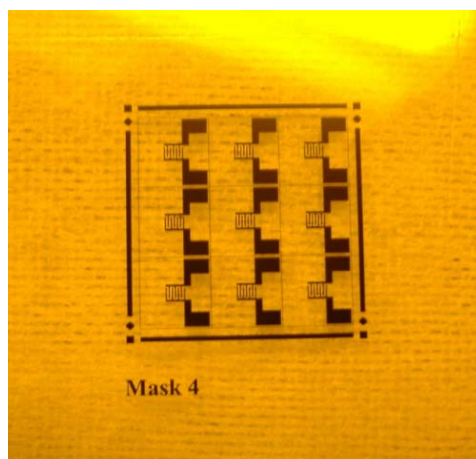
รูปที่ 5.7 ลักษณะกระจกต้นแบบ มาส์กที่ 1



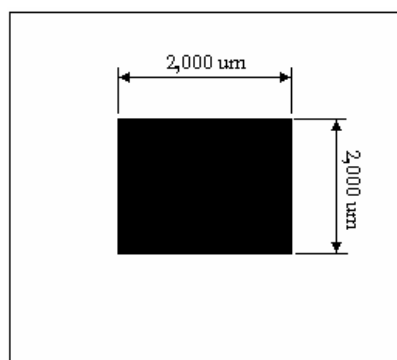
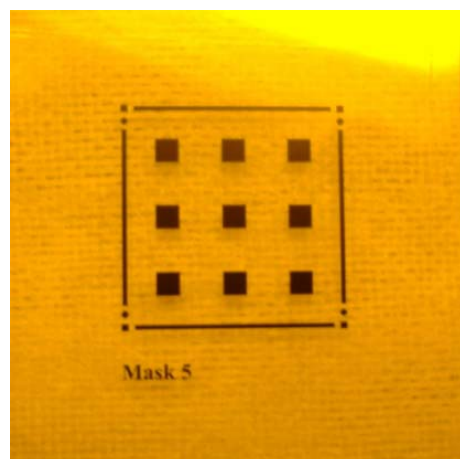
รูปที่ 5.8 ลักษณะกระจกต้นแบบ มาส์กที่ 2



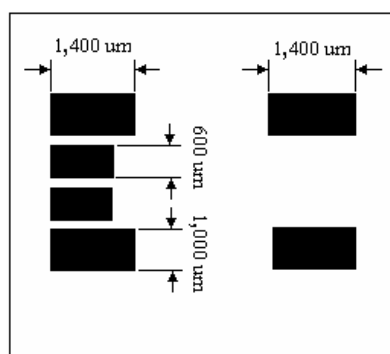
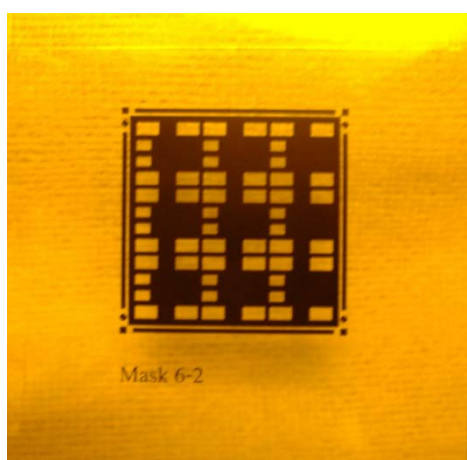
รูปที่ 5.9 ลักษณะกระจกต้นแบบ มาส์กที่ 3



รูปที่ 5.10 ลักษณะกระจกต้นแบบ มาส์กที่ 4



รูปที่ 5.11 ลักษณะกระจกต้นแบบ มาส์กที่ 5



รูปที่ 5.12 ลักษณะกระจกต้นแบบ มาส์กที่ 6

5.6 กระบวนการสร้างหัวตรวจวัดก๊าซ

ลำดับขั้นตอนของกระบวนการสร้างหัวตรวจวัดก๊าซแบ่งเป็นหัวข้อย่อย และขั้นตอนต่างๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้

5.6.1 การทำความสะอาดและเตรียมแผ่นเบื้องต้น

1. เตรียมแผ่นผลึกฐานรองเริ่มต้น โดยใช้แผ่นซิลิคอนระนาบ (100) ชนิด n หรือ p โดยมีความหนาประมาณ 350 ถึง 380 ไมครอน
2. ทำการตัดแผ่นซิลิคอนตามขนาดที่ต้องการ จากนั้นทำความสะอาดแผ่นซิลิคอน เพื่อกำจัดเศษของโลหะ, กราฟไทม์น, และ ฟุ้งผง ที่อาจปนเปื้อนมากับแผ่นซิลิคอน โดยมีขั้นตอนดังนี้
 - ล้างแผ่นซิลิคอนด้วยน้ำ DI ในเครื่องสั่นด้วยความถี่สูง (Ultra sonic) 5 นาที
 - ต้มในกรดไนตริก (HNO_3) 5 นาที เพื่อกำจัดเศษโลหะบริเวณผิวของซิลิคอน
 - ล้างด้วยน้ำ DI จำนวน 2 แก้ว แก้วละ 5 นาที
 - เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
 - ต้มในไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) 5 นาที เพื่อกำจัดคราบน้ำมัน
 - ล้างด้วยอะซิโตน (acetone) ในเครื่องสั่นด้วยความถี่สูง 5 นาที
 - ล้างด้วยน้ำ DI
 - เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.13 ภาพถ่ายของ (ก) เครื่อง ultra sonic และ (ข) manual wet bench

5.6.2 การสร้างจุด Alignment และไดอะแฟรม

1. สร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) กำหนดความหนา 7,000 อังสตรอม ด้วยกระบวนการออกซิเดชันแบบแห้ง 2 ชั่วโมง/ ชั้น 4 ชั่วโมง/ แห้ง 2 ชั่วโมง เพื่อเป็นชั้นฉนวน และทำหน้าที่เป็นหน้ากักป้องกันการกัดหรือที่นิยมเรียกว่า “hard mask” โดยมีเงื่อนไขดังนี้

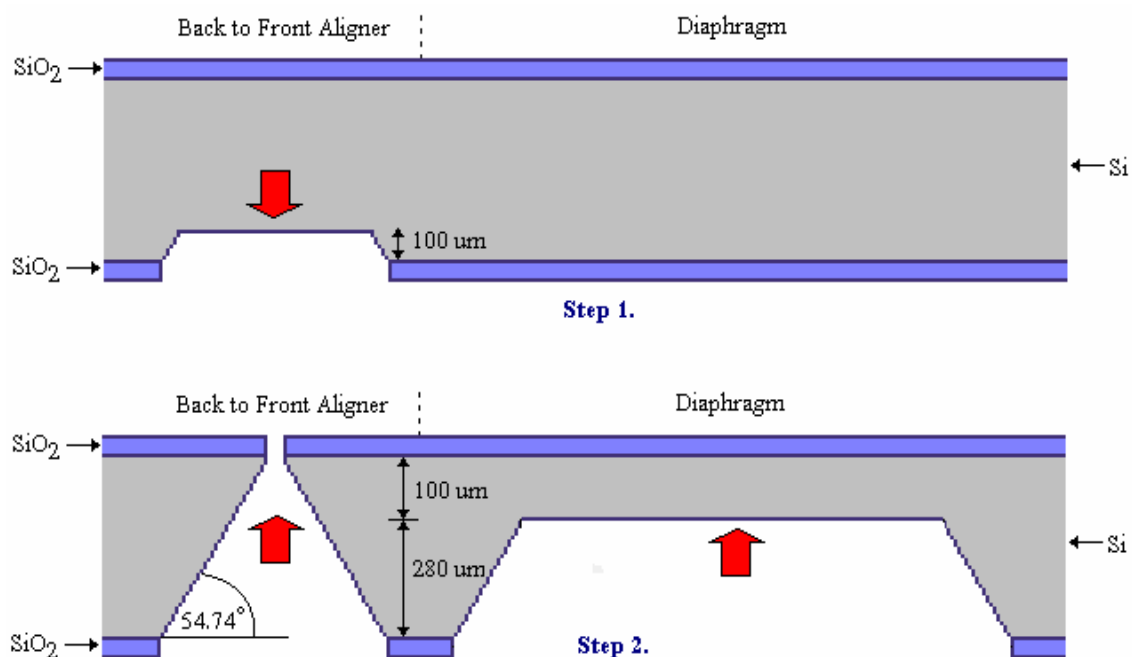
- ออกซิเดชันแบบแห้ง (Dry oxidation) ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส อัตราการไหลก๊าซออกซิเจน 1,200 ซีซี ต่อนาที
- ออกซิเดชันแบบชื้น (Wet oxidation) ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส อัตราการไหลก๊าซออกซิเจน 1,000 ซีซี ต่อนาที



รูปที่ 5.14 ภาพถ่ายของเตาออกซิเดชัน

2. กระบวนการโฟโตลิโกราฟีมาสก์ที่ 1 และ 2 สำหรับกัลดาวลายจุด Alignment และไดอะแฟรม โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

- ขั้นตอนแรก มาส์กที่ 1 เพื่อทำการกัดซิลิกอนเป็นระยะ 100 ไมครอน โดยเลือกใช้ยาไวแสงชนิดบวก เบอร์ AZ4620
- ขั้นตอนที่ 2 มาส์กที่ 2 เพื่อทำการกัดซิลิกอนจนทะลุ ใช้เป็นจุด Alignment และในส่วนของไดอะแฟรมจะถูกกัดเข้าไปในเนื้อซิลิกอนเป็นระยะประมาณ 280 ไมครอน เพื่อให้ได้ความหนาของไดอะแฟรมเท่ากับ 100 ไมครอน พิจารณาได้จากรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 ลักษณะการสร้างจุด Alignment และไดอะแฟรม

ตารางที่ 5.1 ขั้นตอนการโฟโตลิโธกราฟีนำยาไวแสงชนิดบวก

กระบวนการ	เทคนิค	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที: วินาที)	หมายเหตุ
Photolithography	Spin (5,000 rpm)	-	00:20	AZ4620
	Prebake	95	30:00	
	Expose	-	00:50	
	Developed	-	01:30	
	Az Develop 1	-	01:30	
	Az Develop 2	-	01:30	
	DI Water	-	00:10	
Post bake	-	95	30:00	



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.16 ภาพถ่ายของ (ก) เครื่อง Spinner และ (ข) เครื่อง Mask Aligner

3. ขั้นตอนการกัดแบบเปียก (Wet etching) ในสารละลาย Buffer for oxidation (BHF) และ EPD เพื่อทำการกัดละลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และแผ่นซิลิคอนตามลำดับ หลังจากผ่านกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี มาส์กที่ 1 และ 2

- Buffer for oxidation (BHF) ประกอบด้วย HF 47% (100 cc) : NH_4F 40% (600 cc) เพื่อใช้กัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ (ซิลิคอนไดออกไซด์ถูกใช้เป็น hard mask เป็นชั้นป้องกันปฏิกิริยาจากสารละลาย EPD)

- EPD ประกอบด้วย Ethylenediamine (150 cc) : Pyrocatechol (24 g) : DI Water (48 cc) เพื่อใช้กัดแผ่นผลึกซิลิคอน

ตารางที่ 5.2 ขั้นตอนการกัดชั้นฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์

ขั้นตอน	สารละลาย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที:วินาที)	อัตราการกัด (อังสตรอม ต่อ นาที)
1	BHF	25	07:10	1,000
2	DI_1	25	05:00	-
3	DI_2	25	05:00	-

ตารางที่ 5.3 ขั้นตอนการกัดแผ่นผลึกซิลิคอน

ขั้นตอน	สารละลาย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง:นาที)	อัตราการกัด (อังสตรอม ต่อนาที)
1	EPD (etch 100 um)	90	01:40	10,000
	EPD (etch 300 um)	90	05:00	10,000
2	DI ₁	60	00:10	-
3	DI ₂	60	00:10	-
4	DI ₃	25	00:05	-



รูปที่ 5.17 ภาพถ่ายชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการกัดสารละลาย EPD

5.6.3 การสร้างไมโครฮีทเตอร์ และตัววัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน

1. ทำความสะอาดแผ่น

- ล้างแผ่นซิลิคอนด้วยน้ำ DI ในเครื่องสั่นด้วยความถี่สูง (Ultra sonic) 5 นาที
- ลอกชั้นออกไซด์บางๆ ด้วย HF3% เป็นเวลา 1 นาที
- ล้างด้วยน้ำ DI จำนวน 2 แก้ว แก้วละ 5 นาที
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

2. ทำการเคลือบชั้นฟิล์มไททาเนียม (Ti) และแพลทินัม (Pt) ตามลำดับ ด้วยเครื่องดี

ซี สปีดเตอร์ริง (DC Sputtering) เงื่อนไขการสปีดเตอร์แสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 เงื่อนไขการสปัตเตอร์ริง Ti และ Pt ด้วยเครื่องดีซี สปัตเตอร์ริง

เงื่อนไข	รายละเอียด
1. เป้าสารเคลือบ	Pt และ Ti 99% , $\varnothing$ 50 มิลลิเมตร
2. บรรยากาศ	ก๊าซ Ar
3. ความดัน	0.15 Torr
4. กำลังงาน	115 วัตต์
5. ระยะห่าง target กับ substrate	30 มิลลิเมตร
6. เวลาการสปัตเตอร์ริง	30 นาที

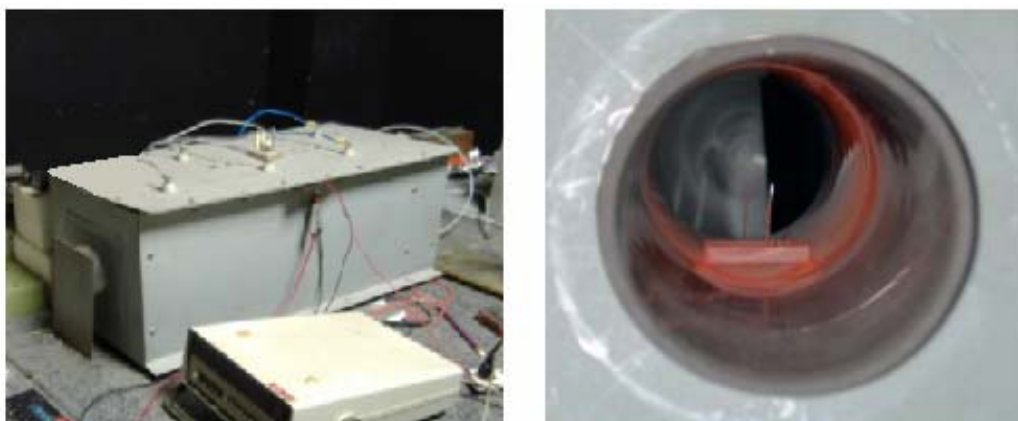


รูปที่ 5.18 ภาพถ่ายเครื่องดีซี สปัตเตอร์ริง

3. ทำการซินเตอร์ริง (Sintering) เป็นการอบฟิล์มด้วยความร้อนเพื่อทำให้เกิดรอยต่อโอห์มมิกที่ดี

ตารางที่ 5.5 เงื่อนไขการซินเตอร์ริง

เงื่อนไข	รายละเอียด
1. บรรยากาศ	N ₂ (อัตราจ่ายก๊าซ 200 ซีซี ต่อนาที)
2. อุณหภูมิ	800 องศาเซลเซียส
3. เวลาการซินเตอร์ริง	2 ชั่วโมง



รูปที่ 5.19 ภาพถ่ายเตาซินเตอร์ริง

4. กระบวนการโฟโตลิโกราฟีมาสก์ที่ 3 เพื่อสร้างลวดลายไมโครฮีทเตอร์ และตัววัดอุณหภูมิชนิดความต้านทาน (RTD)

5. ทำการกัดลวดลายชั้นฟิล์ม Pt และ Ti เพื่อสร้างเป็นไมโครฮีทเตอร์ และ RTD ตามตารางที่ 5.6 และ 5.7

ตารางที่ 5.6 ขั้นตอนการกัดชั้นฟิล์มแพลทินัม (Pt)

ขั้นตอน	สารละลาย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที:วินาที)	อัตราการกัด (อังสตรอม ต่อนาที)
1	HCL(3)	60	05:00	300
2	:HNO ₃ (1)	60	10:00	-
3	DI ₁	60	10:00	-
4	DI ₂	25	05:00	-
	DI ₃			

ตารางที่ 5.7 ขั้นตอนการกัดชั้นฟิล์มไททาเนียม (Ti)

ขั้นตอน	สารละลาย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที:วินาที)	อัตราการกัด (อังสตรอม ต่อนาที)
1	H ₂ O(20) : HF(1) : H ₂ O ₂ (1)	25	03:30	700
2	DI ₁	25	05:00	-
3	DI ₂	25	05:00	-

6. ทำการ Strip resist ด้วยอะซิโตน, น้ำ DI, และทำการเป่าแห้งด้วยไนโตรเจน

5.6.4 การสร้างขั้ววัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

1. ทำความสะอาดแผ่น

- ล้างแผ่นซิลิคอนด้วยน้ำ DI ในเครื่องสั่นด้วยความถี่สูง (Ultra sonic) 5 นาที
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มในไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) 5 นาที
- ล้างด้วยอะซิโตน (acetone) ในเครื่องสั่นด้วยความถี่สูง 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำ DI
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

2. สร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 2,000 อังสตรอม ด้วยเทคนิค อาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง (RF Sputtering) เพื่อทำหน้าที่เป็นชั้นฉนวน

ตารางที่ 5.8 เงื่อนไขการสร้างชั้น SiO_2 ด้วยเทคนิคอาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง

เงื่อนไข	รายละเอียด
1. เป้าสารเคลือบ	SiO_2 99.99%, $\varnothing$ 80 มิลลิเมตร
2. บรรยากาศ	ก๊าซผสม $\text{Ar}(85) : \text{O}_2(15)$
3. ความดัน	1.5×10^{-2} Torr
4. กำลัง RF	120 / 40 วัตต์
5. ระยะห่าง target กับ substrate	35 มิลลิเมตร
6. เวลาการสปีดเตอร์ริง	90 นาที

3. ทำการเคลือบชั้นฟิล์มไททาเนียม (Ti) และแพลทินัม (Pt) ตามลำดับ ด้วยเครื่องดี ซี สปีดเตอร์ริง (DC Sputtering) เงื่อนไขการสปีดเตอร์แสดงในตารางที่ 5.4

4. ทำการซินเตอร์ริง (Sintering) เป็นการอบฟิล์มด้วยความร้อนเพื่อทำให้เกิดรอยต่อโอห์มมิกที่ดี และการจัดเรียงโครงสร้างของผลึก เงื่อนไขตามตารางที่ 5.5

5. กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีมาส์กที่ 4 เพื่อสร้างลวดลายของขั้ววัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

6. ทำการกัดลวดลายชั้นฟิล์ม Pt และ Ti เพื่อสร้างขั้ววัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า ตามตารางที่ 5.6 และ 5.7

7. ทำการ Strip resist ด้วยอะซิโตน, น้ำ DI, และทำการเป่าแห้งด้วยไนโตรเจน



รูปที่ 5.20 ภาพถ่ายเครื่องอาร์เอฟ สปีตเตอร์ริง

5.6.5 การเคลือบชั้นฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ และกัดลวดลาย

1. ทำความสะอาดแผ่น

- ล้างแผ่นซิลิคอนด้วยน้ำ DI ในเครื่องสั่นด้วยความถี่สูง (Ultra sonic) 5 นาที
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มในไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) 5 นาที
- ล้างด้วยอะซิโตน (acetone) ในเครื่องสั่นด้วยความถี่สูง 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำ DI
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

2. สร้างชั้นฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) ด้วยเทคนิคอาร์เอฟ สปีตเตอร์ริง (RF Sputtering) เงื่อนไขดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 เงื่อนไขการสปีดเตอรริง In_2O_3 ด้วยเทคนิคอาร์เอฟ สปีดเตอรริง

เงื่อนไข	รายละเอียด
1. เป้าสารเคลือบ	In_2O_3 99.99% , $\varnothing$ 80 มิลลิเมตร
2. บรรยากาศ	ก๊าซผสม Ar : O_2 (50:50, 85:15, และ 100:0)
3. ความดัน	1.5×10^{-2} Torr
4. กำลัง RF	120 / 40 วัตต์
5. ระยะห่าง target กับ substrate	35 มิลลิเมตร
6. เวลาการสปีดเตอรริง	30, 60, และ 90 นาที

3. กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีมาส์กที่ 5 เพื่อสร้างลวดลายบนชั้นฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์

4. ทำการกัดลวดลายชั้นฟิล์ม In_2O_3 ด้วยสารละลาย Hydrochloric (HCL)

ตารางที่ 5.10 ขั้นตอนการกัดชั้นฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ (In_2O_3)

ขั้นตอน	สารละลาย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที:วินาที)	อัตราการกัด (อังสตรอม ต่อ นาที)
1	HCL(1) : H_2O (1)	25	-	1,000
2	DI ₁	60	10:00	-
3	DI ₂	60	10:00	-
4	DI ₃	25	05:00	-

5. ทำการ Strip resist ด้วยอะซิโตน, น้ำ DI, และทำการเป่าแห้งด้วยไนโตรเจน

6. ทำการแอนนีส (Annealing) เป็นการอบฟิล์มด้วยความร้อนสูง เพื่อปรับปรุงโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์

ตารางที่ 5.11 เงื่อนไขการแอนนีส

เงื่อนไข	รายละเอียด
1. บรรยากาศ	N_2 (อัตราจ่ายก๊าซ 600 ซีซี ต่อ นาที)
2. อุณหภูมิ	400, 500, 600, และ 700 องศาเซลเซียส
3. เวลาการแอนนีส	1 ชั่วโมง

5.6.6 ทำการเปิดช่องขั้ว (Open pad)

1. กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีมาสก์ที่ 6 เพื่อเปิดขั้วต่างๆ (Open pad)
2. กัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ด้วย Buffer for oxidation ตามตารางที่ 5.12
3. ทำการ Strip resist ด้วยอะซิโตน, น้ำ DI, และทำการเป่าแห้งด้วยไนโตรเจน

ตารางที่ 5.12 ขั้นตอนการกัดชั้นฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์เพื่อทำการเปิดขั้ว

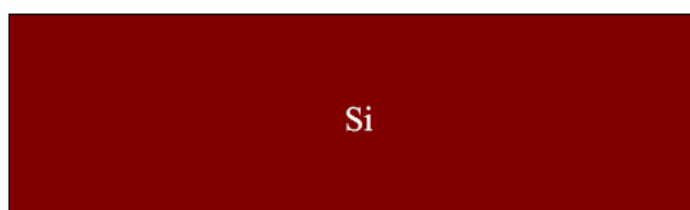
ขั้นตอน	สารละลาย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที:วินาที)	อัตราการกัด (อังสตรอม ต่อนาที)
1	BHF	25	02:10	1,000
2	DI ₁	25	05:00	-
3	DI ₂	25	05:00	-

5.6.7 การเติมสารตะกั่ว

1. ทำการเคลือบโลหะ อลูมิเนียม (Al), แพลทินัม (Pt), พลาเดียม (Pd), และเหล็ก (Fe) ลงบนชั้นฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ ด้วยเทคนิคอีวี สปีดเตอร์ริง โดยทำการสปีดเตอร์ริงเป็นเวลา 20 วินาที ในบรรยากาศก๊าซอาร์กอน
2. ทำการซินเตอร์ริง (Sintering) ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ลักษณะโครงสร้างของหัวตรวจวัดก๊าซตามลำดับการสร้าง แสดงดังรูปที่ 5.21 ซึ่งเป็นขั้นตอนในการสร้างหัวตรวจวัดก๊าซไอโซนแบบฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ ตามลำดับดังนี้

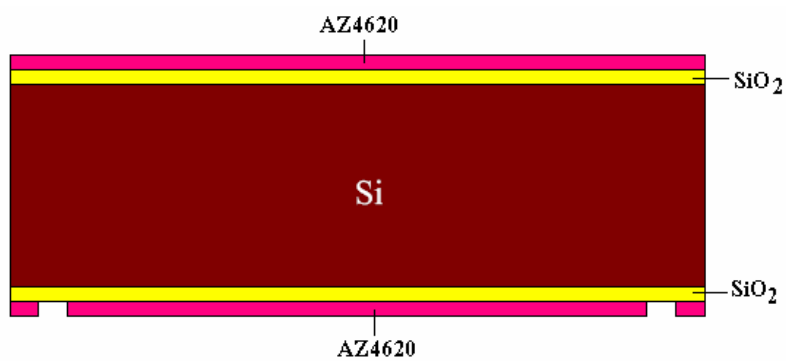
- 1) แผ่นซิลิคอนเริ่มต้น
- 2) ทำการตัดแผ่นซิลิคอน และทำความสะอาด



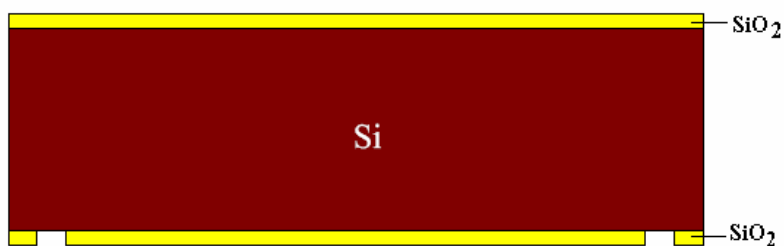
3) กระบวนการออกซิเดชัน



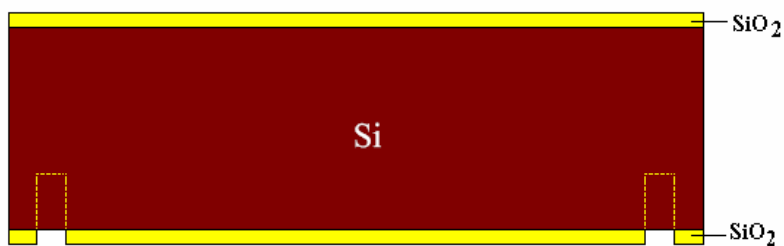
4) โฟโตลิโธกราฟี มาส์ก 1



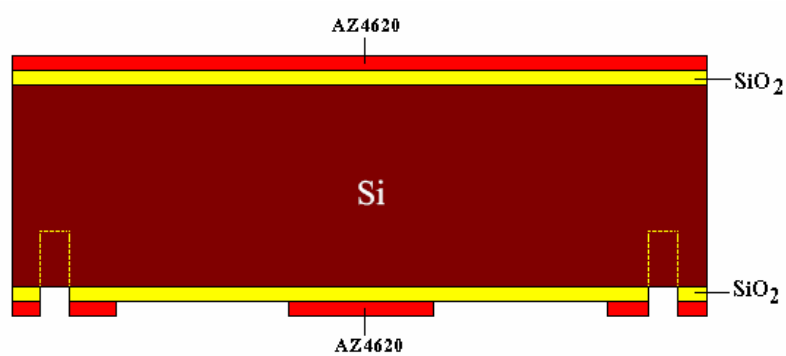
5) กระบวนการ Etching



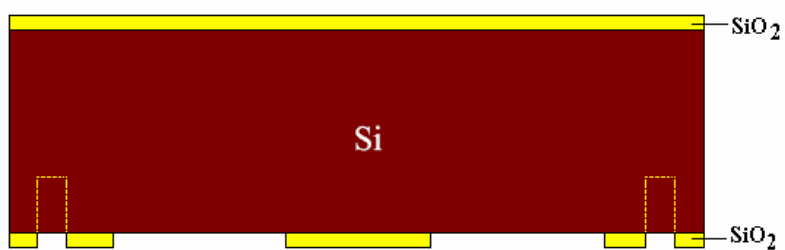
6) กระบวนการ Etching



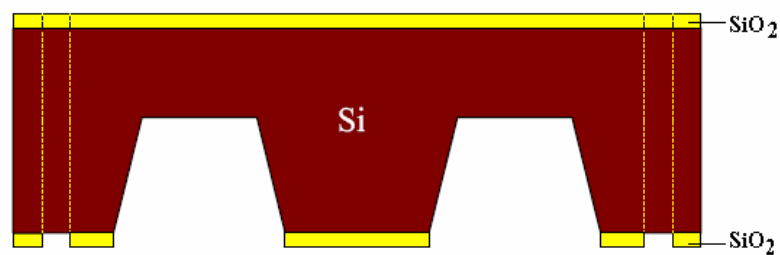
7) โฟโตลิโธกราฟี มาส์ก 2



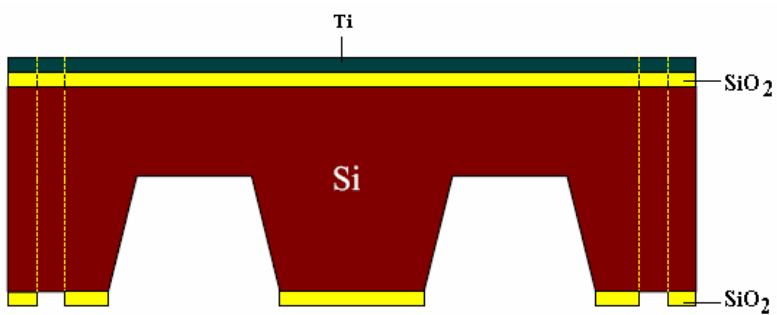
8) กระบวนการ Etching



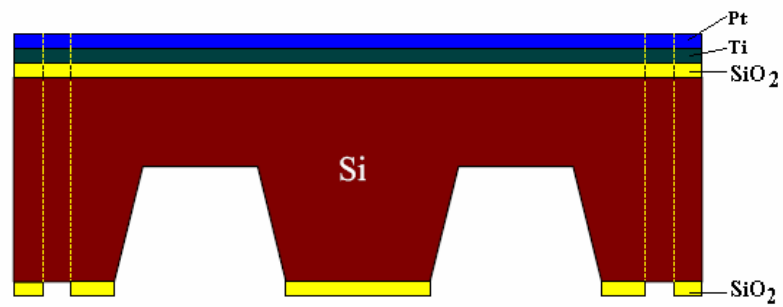
9) กระบวนการ Etching



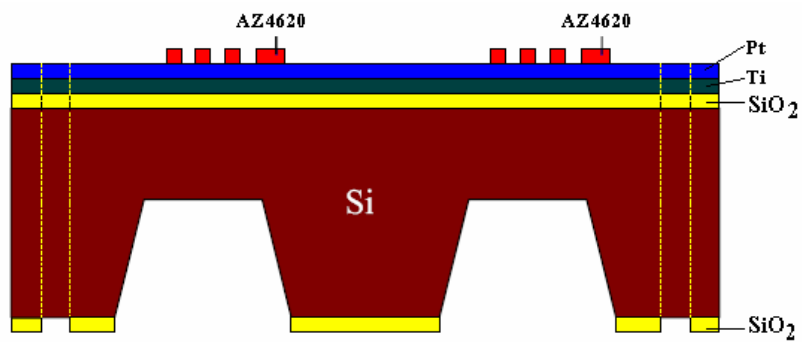
10) ฉีชี สปีดเตอร์ริง



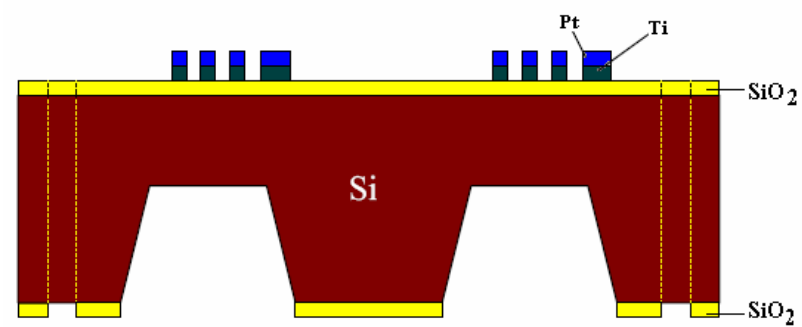
11) ดีซี สปีดเตอร์ริง



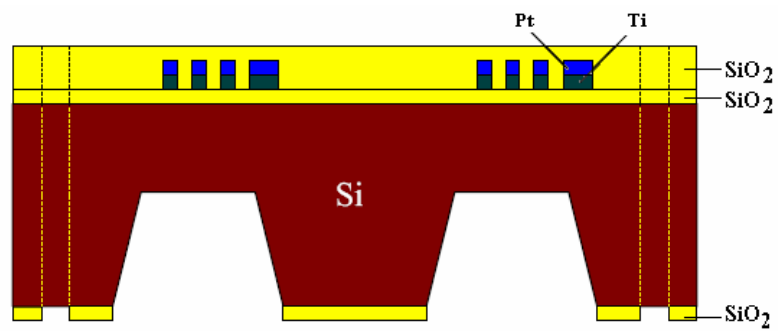
12) โฟโตลิโธกราฟี มาส์ก 3



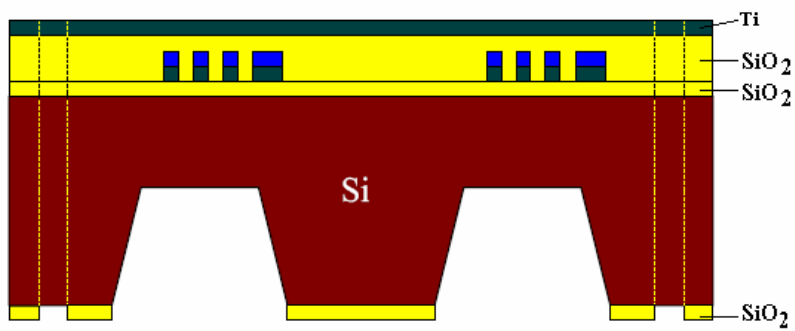
13) กระบวนการ Etching



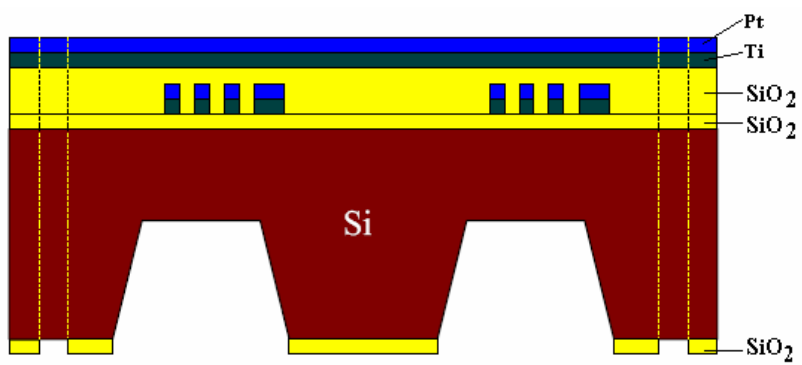
14) ดิซี สปีดเตอร์ริง



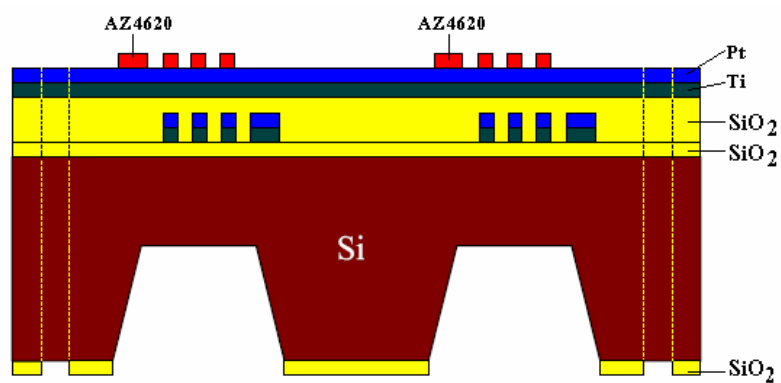
15) ดิซี สปีดเตอร์ริง



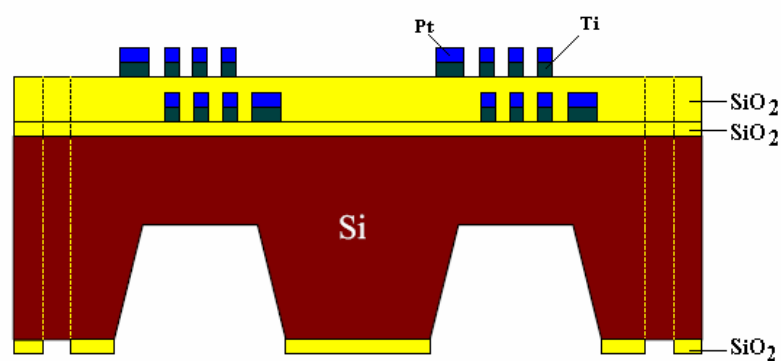
16) ดิซี สปีดเตอร์ริง



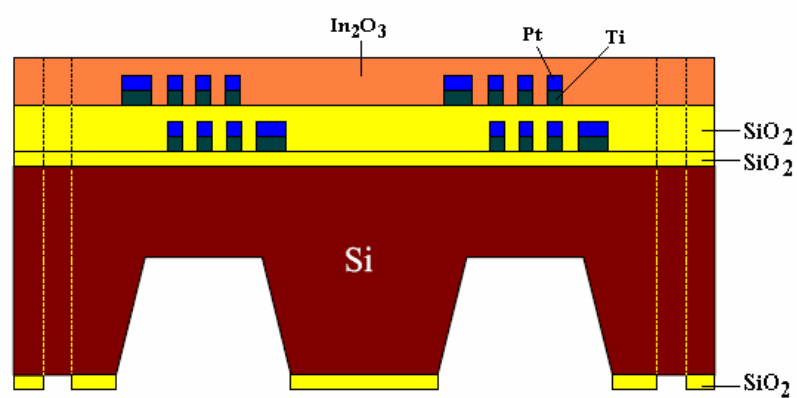
17) โฟโตลิโธกราฟี มาส์ก 4



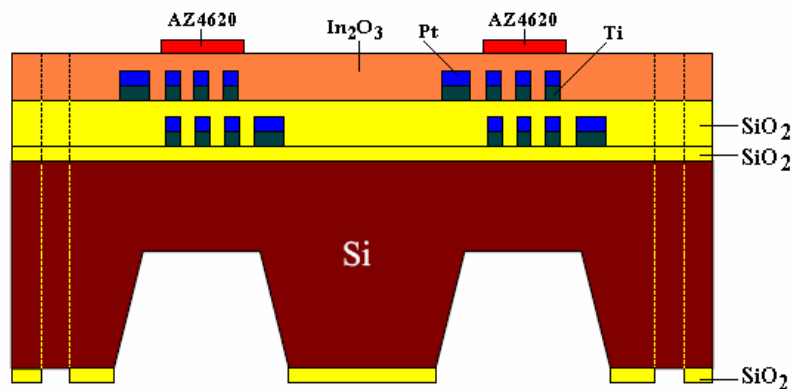
18) กระบวนการ Etching



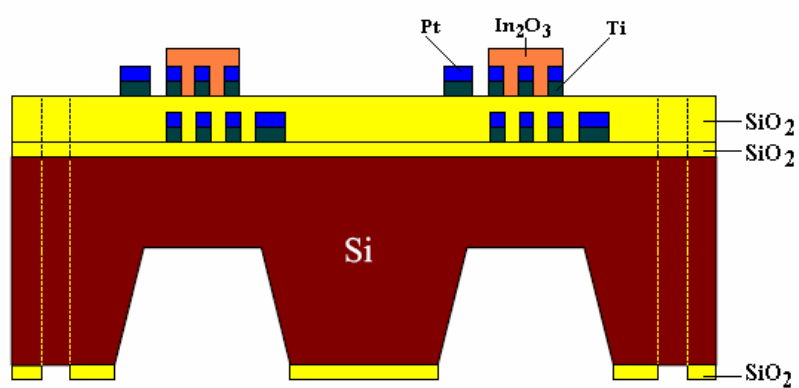
19) อาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง



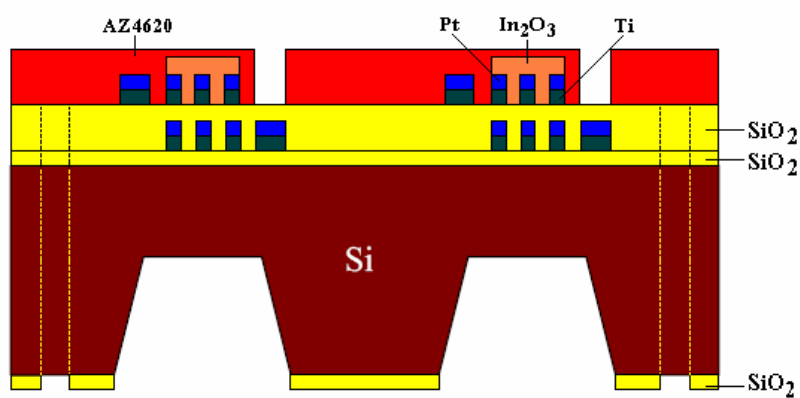
20) โฟโตลิโธกราฟี มาส์ก 5



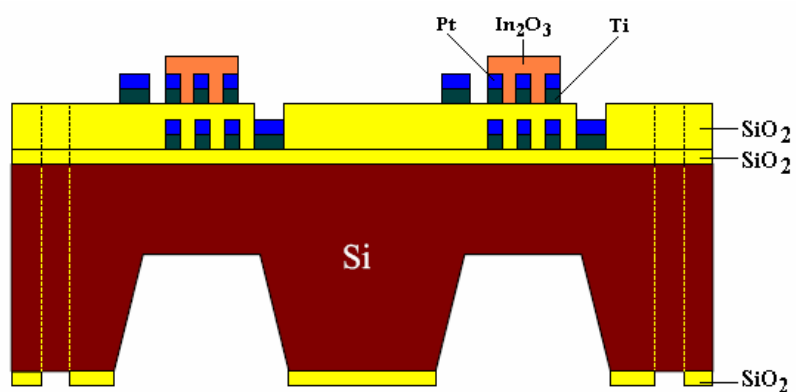
21) กระบวนการ Etching



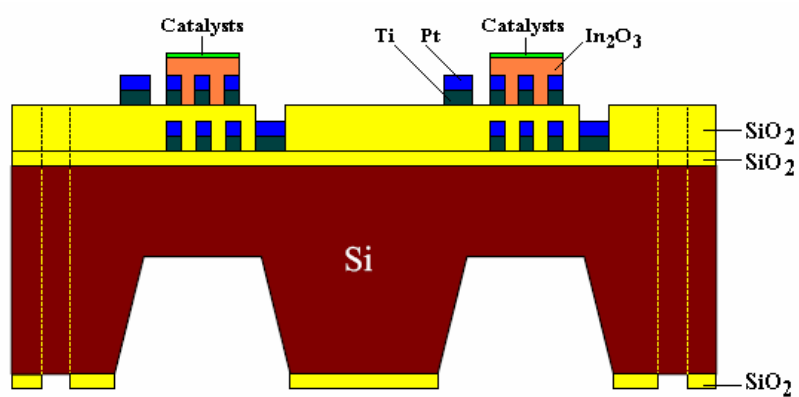
22) โฟโตลิโธกราฟี มาส์ก 6



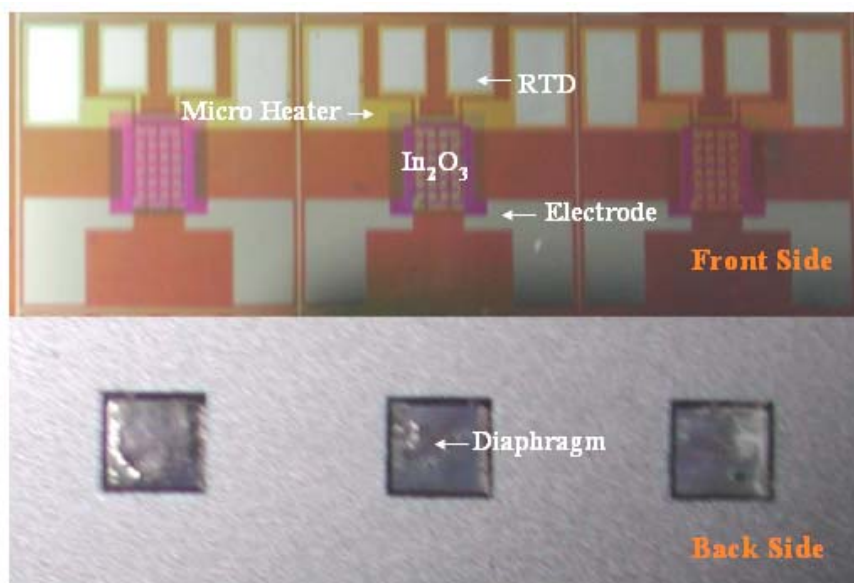
23) กระบวนการ Etching



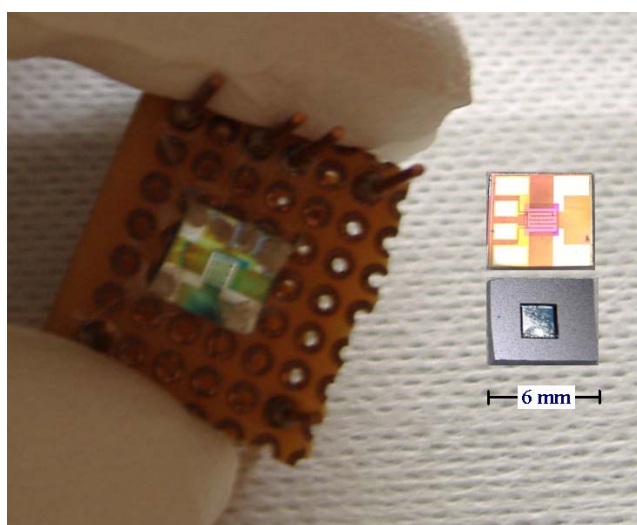
24) คีชี สปีดเตอร์ริง



รูปที่ 5.21 ลักษณะโครงสร้างหัวตรวจวัดก๊าซไอโซนแบบฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์



รูปที่ 5.22 ภาพถ่ายหัวตรวจวัดก๊าซไอโซนแบบฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่สร้างเสร็จ



รูปที่ 5.23 ภาพถ่ายวงจรหัวตรวจวัดก๊าซ