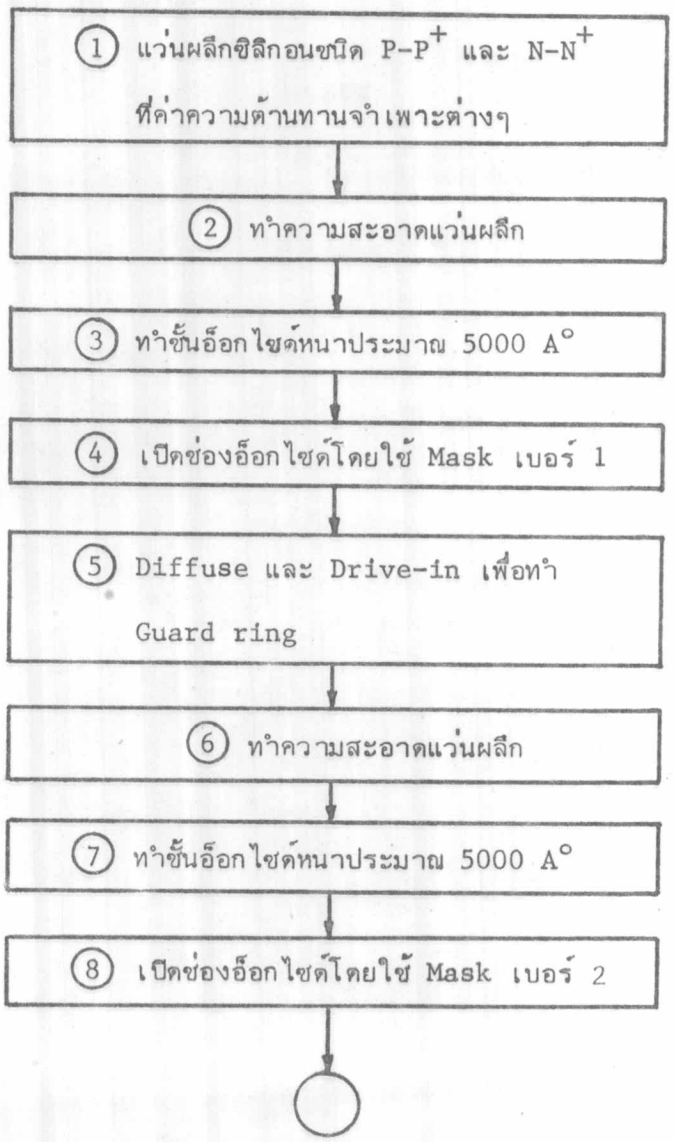
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

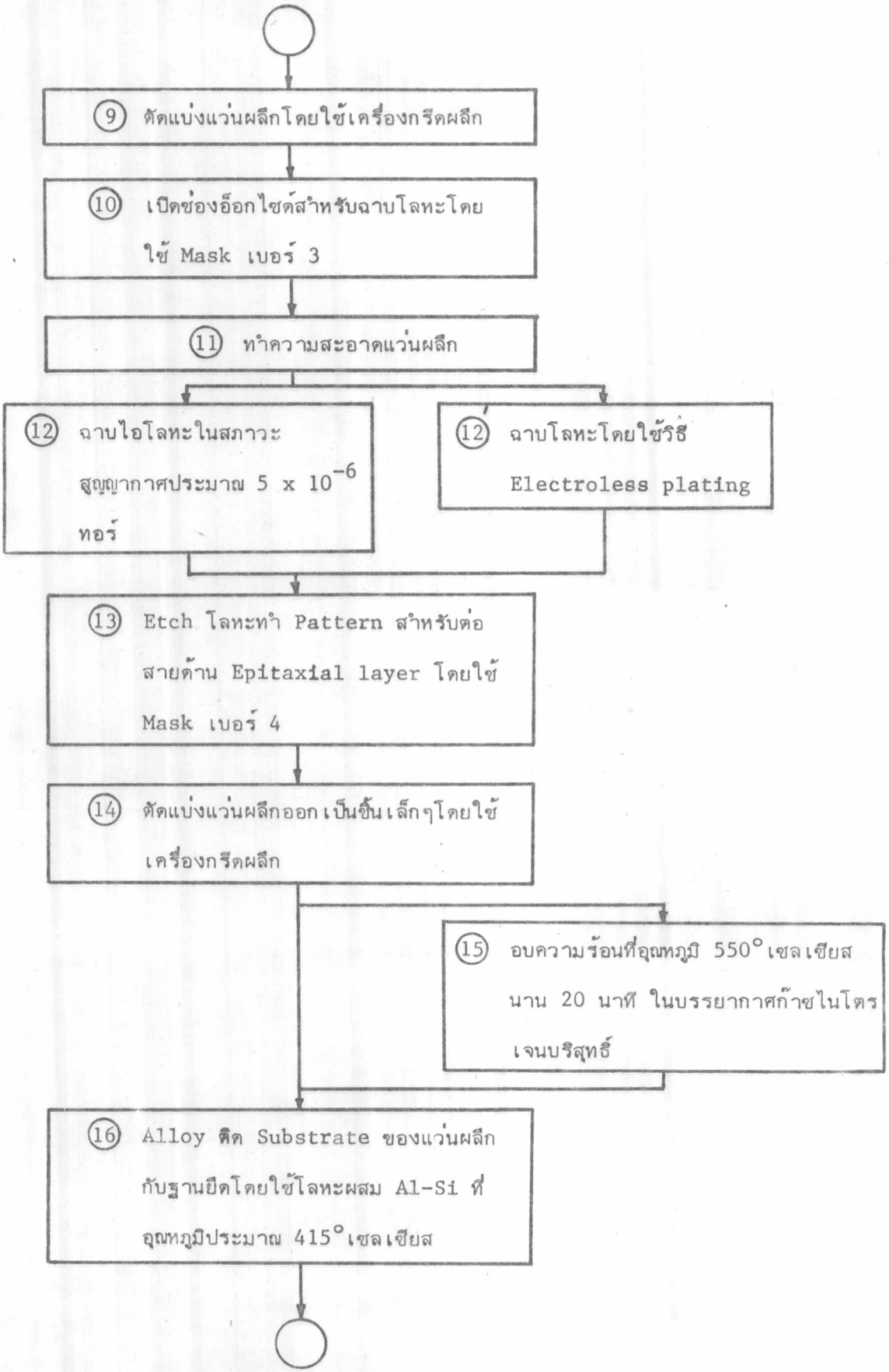
บทที่ 6

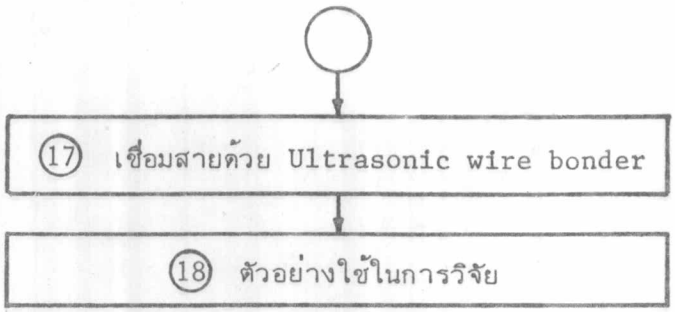
การทดลอง

6.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผิวสัมผัสแบบเรคติฟายอิง

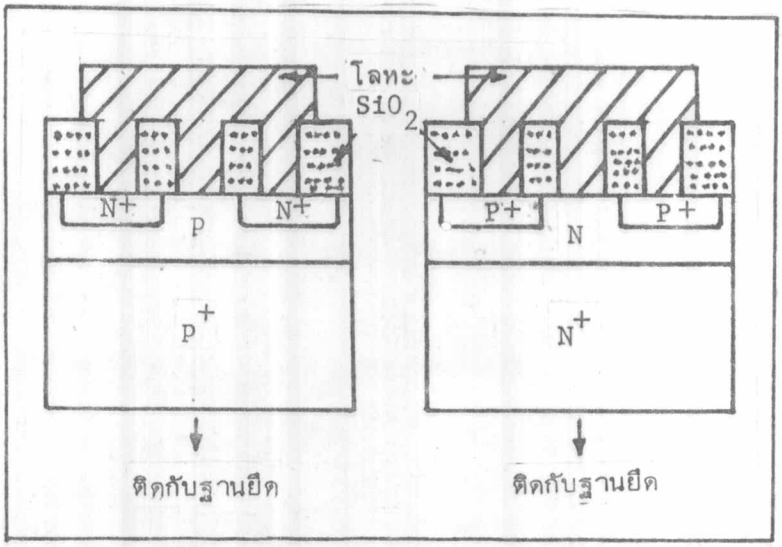
รายละเอียดของขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างฯ แสดงได้ด้วยแผนภูมิดังต่อไปนี้




⑨ ตัดแบ่งแว่นผลึกโดยใช้เครื่องกรีดผลึก
⑩ เปิดช่องอ็อกไซด์สำหรับฉาบโลหะโดยใช้ Mask เบอร์ 3
⑪ ทำความสะอาดแว่นผลึก
⑫ ฉาบไอโลหะในสภาวะสูญญากาศประมาณ 5 x 10^{-6} ทอร์
⑫′ ฉาบโลหะโดยใช้วิธี Electroless plating
⑬ Etch โลหะทำ Pattern สำหรับต่อสายด้าน Epitaxial layer โดยใช้ Mask เบอร์ 4
⑭ ตัดแบ่งแว่นผลึกออกเป็นชิ้นเล็กๆโดยใช้เครื่องกรีดผลึก
⑮ อบความร้อนที่อุณหภูมิ 550° เซลเซียส นาน 20 นาที ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์
⑯ Alloy ติด Substrate ของแว่นผลึกกับฐานยึดโดยใช้โลหะผสม Al-Si ที่อุณหภูมิประมาณ 415° เซลเซียส



ตัวอย่างผิวสัมผัสที่ทำเสร็จแล้ว แสดงไว้ด้วยรูปที่ 6.1 และ 6.2

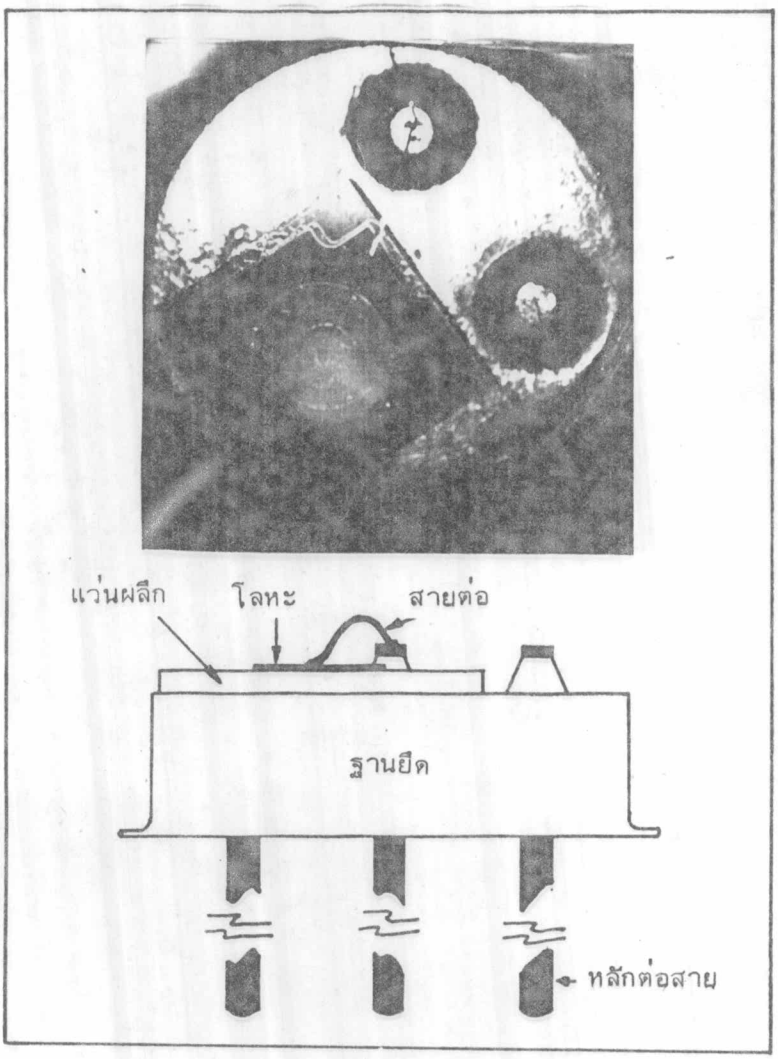


รูปที่ 6.1
แสดงโครงสร้างตัวอย่างในการวิจัยผิวสัมผัสแบบเรคติฟายอิง

6.1.1 โครงสร้างของตัวอย่างในการวิจัยผิวสัมผัสแบบเรคติฟายอิง

โครงสร้างของตัวอย่างในการวิจัยเป็นแบบช็อตกี้ไดโอดที่ diffuse Guard - ring เพื่อลด Crowding ของกระแสที่ขอบของผิวสัมผัส [66] (Crowding ของกระแสทำให้ Barrier Height มีค่าลดลงดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 3.2.2)

ค่า Series resistance ของผิวสัมผัสแบบเรคติฟายอิงประกอบด้วยค่าความต้านทานของชั้นสารกึ่งตัวนำ และค่าความต้านทานที่ Back contact (ผิวสัมผัสระหว่างฐานยึดกับ Substrate) ในการทำวิจัยได้พยายามทำให้ Series resistance มีค่าต่ำ โดยการเลือกแว่นผลึกที่มีขนาดบางและความหนาแน่นของพาหะของ Substrate มีค่าสูง



รูปที่ 6.2
แสดงตัวอย่างในการวิจัยผิวสัมผัสแบบเรคติฟายอิง

6.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับแว่นผลึกที่ใช้ในการวิจัยผิวสัมผัสแบบเรคติฟายอิง

แว่นผลึกที่ใช้เป็นแว่นผลึกซิลิกอนแบบ Epitaxy ชนิด $P-P^+$ และ $N-N^+$ ดังมีรายละเอียดดังนี้

ก. แว่นผลึกซิลิกอนชนิด $P-P^+$ จำนวน 2 แผ่น ชั้น Substrate มีค่าความต้านทานจำเพาะน้อยกว่า 0.015 โอห์ม-ซม. ทั้ง 2 แผ่น ส่วน Epitaxial layer มีค่าความต้านทานจำเพาะเท่ากับ 5 และ 8 โอห์ม-ซม. Orientation (111)

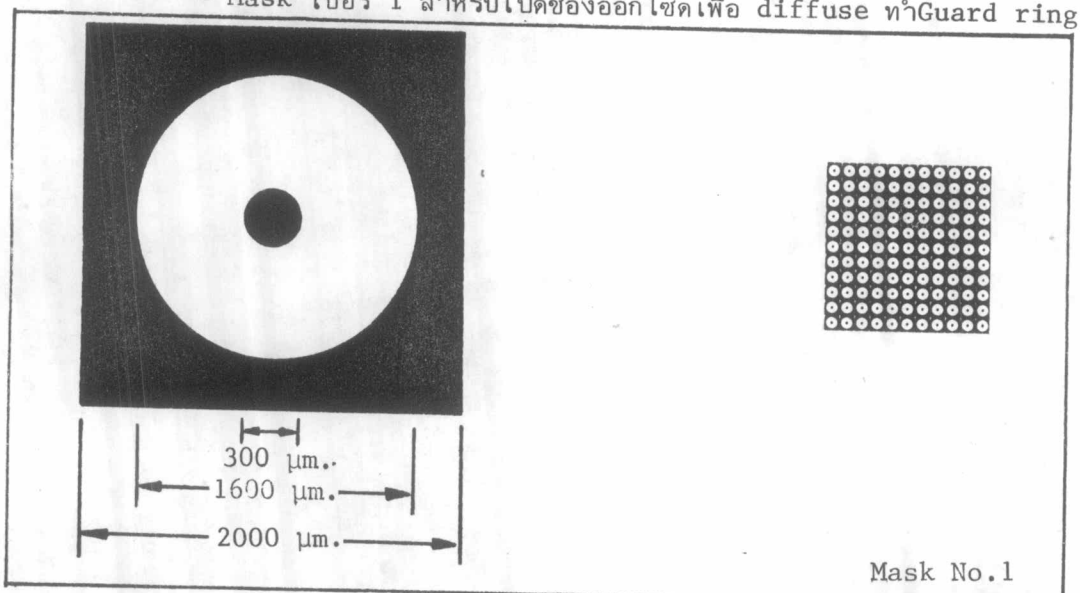
ข. แว่นผลึกซิลิกอนชนิด $N-N^+$ จำนวน 2 แผ่น ชั้น Substrate มีค่าความต้านทานจำเพาะน้อยกว่า 0.015 โอห์ม-ซม. ทั้ง 2 แผ่น ส่วน Epitaxial layer มีค่าความต้านทานจำเพาะเท่ากับ 0.18 และ 0.72 โอห์ม-ซม. Orientation (111)

ความหนาของชั้น Substrate ของแว่นผลึกทั้งชนิด P และ N มีค่าอยู่ในช่วง 180-220 μm ความหนาของ Epitaxial layer ของแว่นผลึกชนิด P เท่ากับ 13 และ 15 μm ส่วนความหนาของ Epitaxial layer ของแว่นผลึกชนิด N เท่ากับ 2 และ 4 μm

จากภาคผนวก ก. ชั้น Substrate ของแว่นผลึกชนิด P และ N มีค่าความหนาแน่นของพาหะมากกว่า 10^{24} ม.$^{-3}$ Epitaxial layer ของแว่นผลึกชนิด P มีค่าความหนาแน่นของพาหะเท่ากับ 1.5×10^{21} และ 2.5×10^{21} ม.$^{-3}$ ส่วน Epitaxial layer ของแว่นผลึกชนิด N มีค่าความหนาแน่นของพาหะเท่ากับ 7.5×10^{21} และ 4×10^{22} ม.$^{-3}$

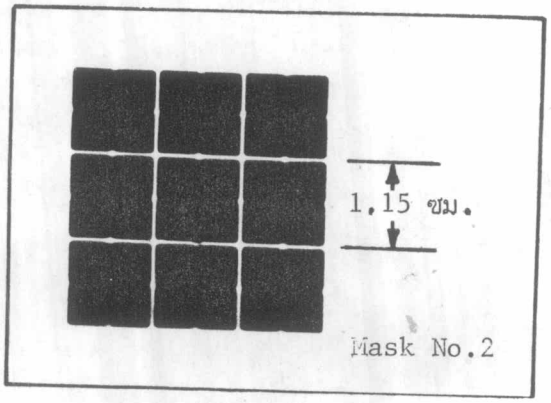
6.1.3 รายละเอียดของ Mask เบอร์ต่างๆ

- Mask เบอร์ 1 สำหรับเปิดช่องอ็อกไซด์เพื่อ diffuse ทำGuard ring



รูปที่ 6.3 แสดง Mask เบอร์ 1 ขนาดเท่าของจริงและรายละเอียดของสัดส่วน

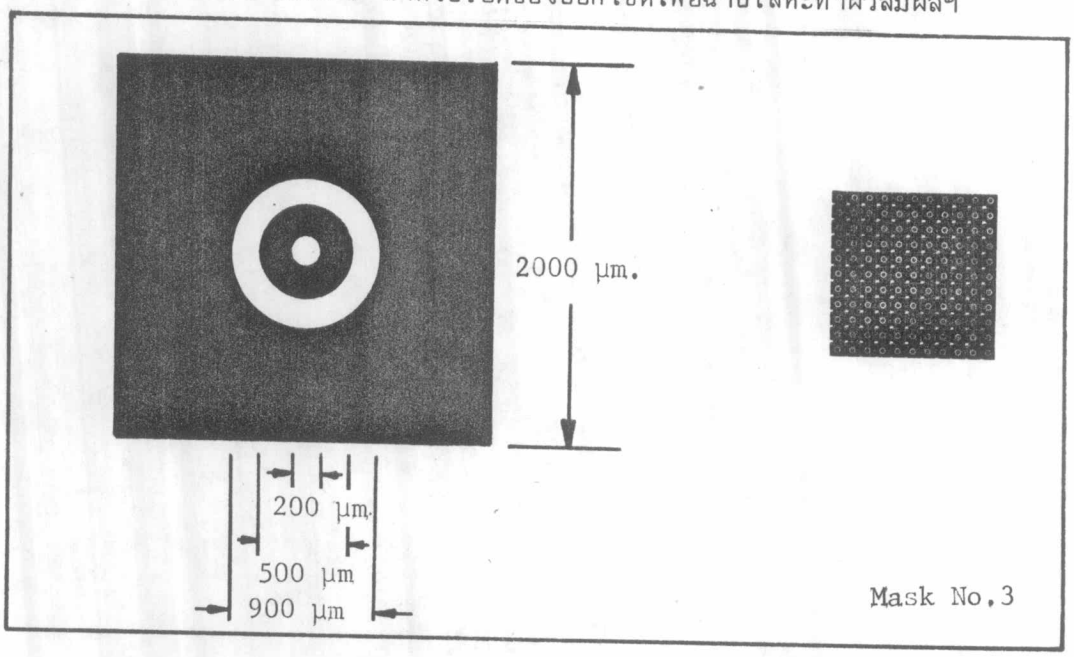
- Mask เบอร์ 2 สำหรับเปิดช่องอ็อกไซด์เพื่อตัดแบ่งแว่นผลึกออกเป็นส่วนๆได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 6.4

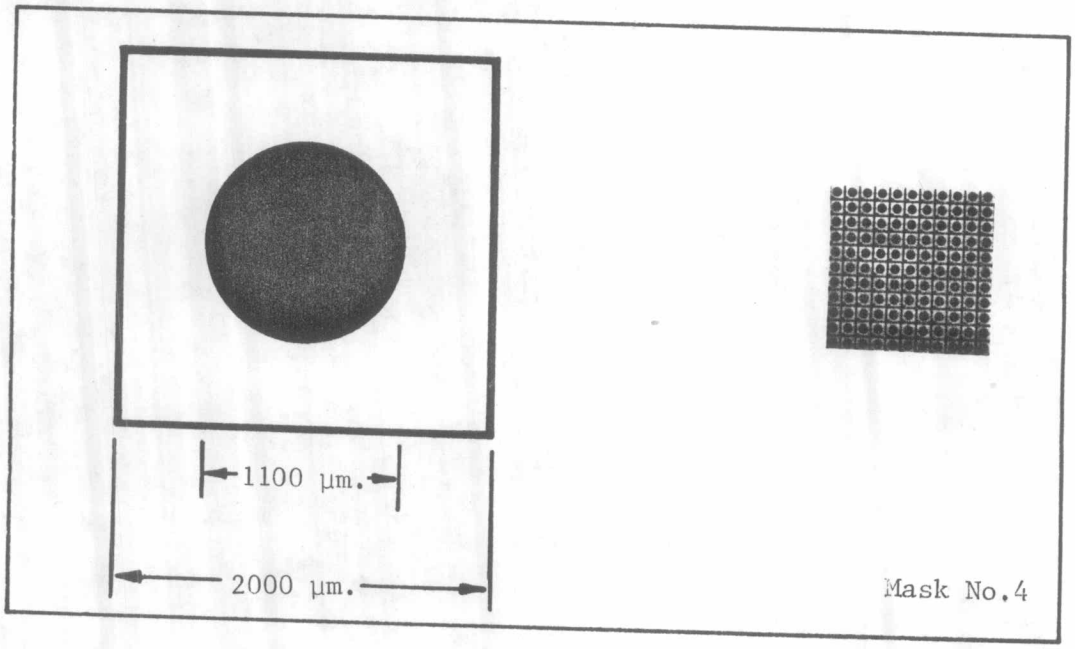
แสดง Mask เบอร์ 2 ขนาดเท่าของจริง

- Mask เบอร์ 3 สำหรับเปิดช่องอ็อกไซด์เพื่อฉาบโลหะทำผิวสัมผัสฯ



รูปที่ 6.5 แสดง Mask เบอร์ 3 ขนาดเท่าของจริงและรายละเอียดของสัดส่วน

- Mask เบอร์ 4 สำหรับ Etch โลหะทำ Pattern เพื่อต่อสาย



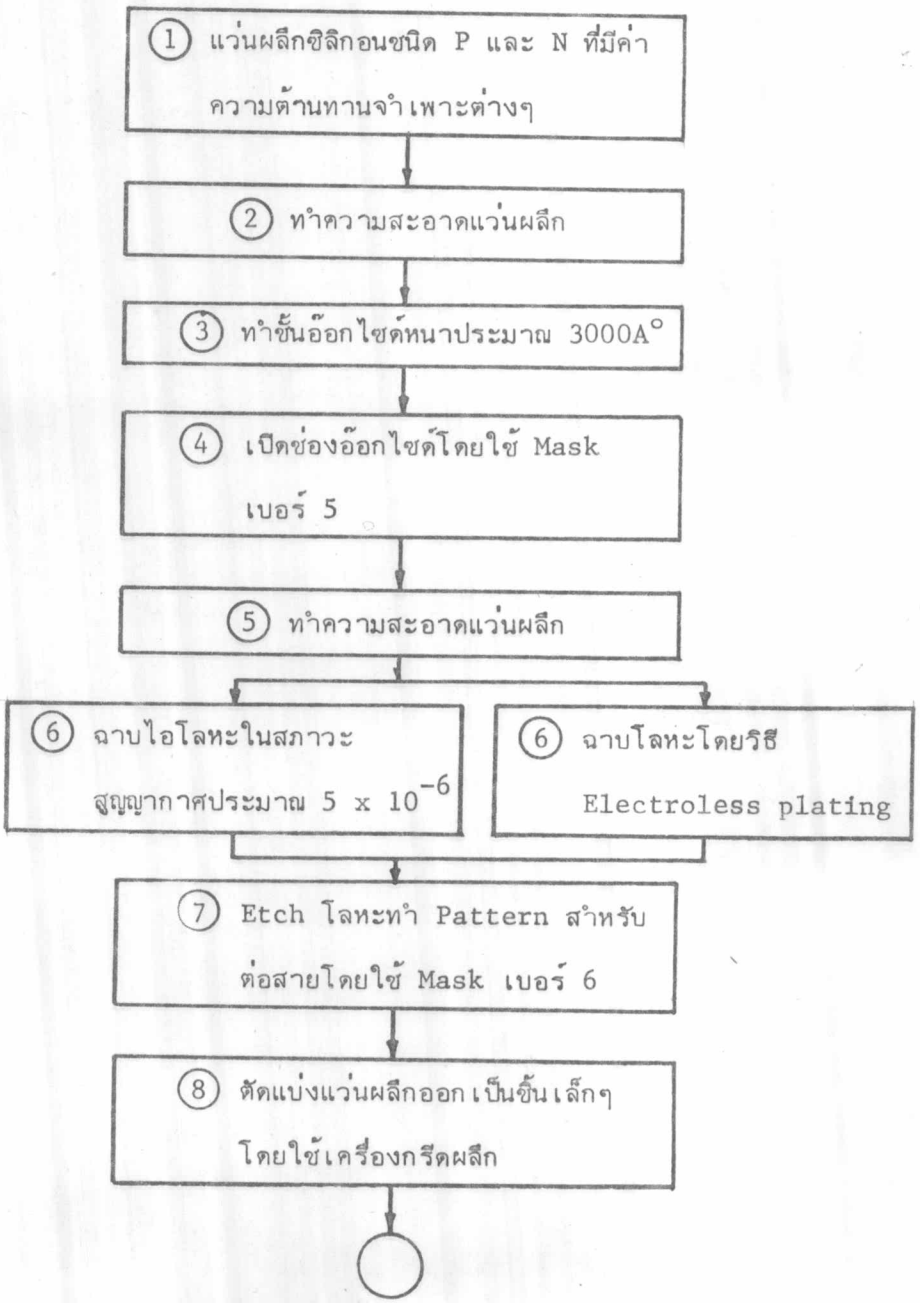
รูปที่ 6.6 แสดง Mask เบอร์ 4 ขนาดเท่าของจริงและรายละเอียดของสัดส่วน

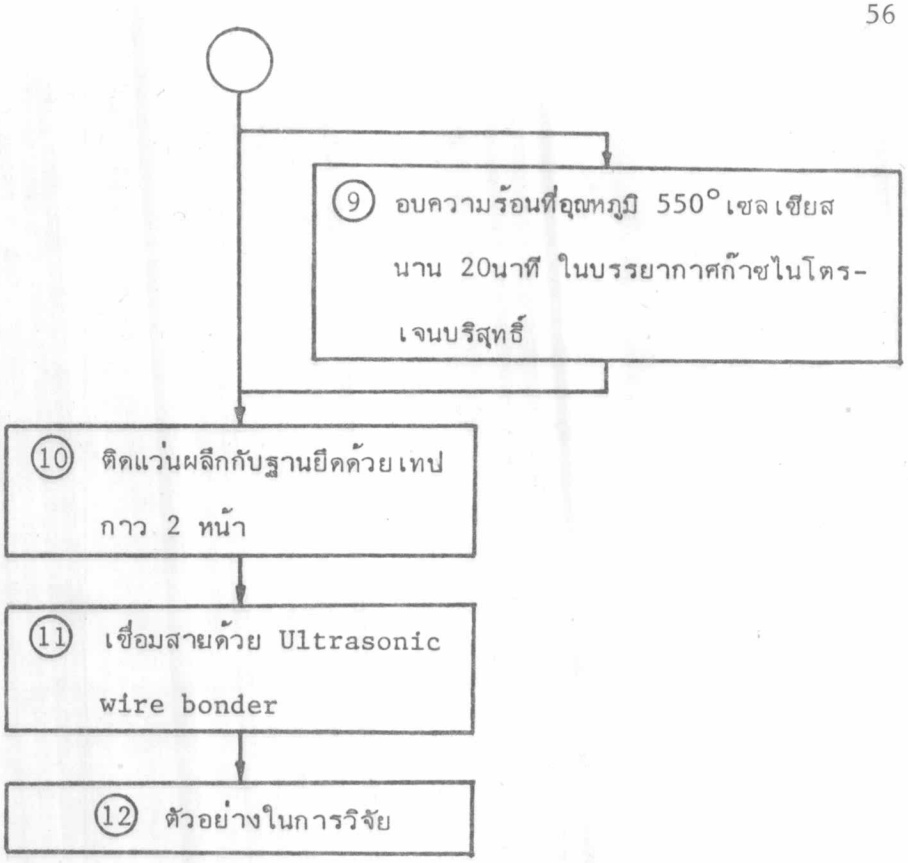
6.1.4 <u>รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างฯ</u>

- ขั้นตอนที่ 1 เลือกแว่นผลึกซิลิกอน
- ขั้นตอนที่ 2 ทำความสะอาดแว่นผลึกตามภาคผนวก ข. 1
- ขั้นตอนที่ 3 ทำชั้นอ๊อกไซด์หนาประมาณ 5000 อังสตรอง ตามภาคผนวก ข. 2
- ขั้นตอนที่ 4 เปิดช่องอ๊อกไซด์ตามภาคผนวก ข. 3 โดยใช้ Mask เบอร์ 1
- ขั้นตอนที่ 5 diffuse และ drive-in เพื่อทำ Guard ring ความลึกของ Guard ring (N^+ และ P^+) ของแว่นผลึกชนิด P และ N เท่ากับ 5 และ 1 μm ตามลำดับ วิธีการทำมีรายละเอียดดังภาคผนวก ข. 4
- ขั้นตอนที่ 6 ทำความสะอาดแว่นผลึกตามภาคผนวก ข. 5
- ขั้นตอนที่ 7 ทำชั้นอ๊อกไซด์หนาประมาณ 5000 อังสตรอง ตามภาคผนวก ข. 2
- ขั้นตอนที่ 8 เปิดช่องอ๊อกไซด์ตามภาคผนวก ข. 3 โดยใช้ Mask เบอร์ 2
- ขั้นตอนที่ 10 เปิดช่องอ๊อกไซด์ตามภาคผนวก ข. 3 โดยใช้ Mask เบอร์ 3
- ขั้นตอนที่ 11 ทำความสะอาดแว่นผลึกตามภาคผนวก ข. 5
- ขั้นตอนที่ 12 ทำการฉาบโลหะโดยการระเหยไอโลหะในสภาวะสูญญากาศประมาณ 5×10^{-6} ทอร์ (โดยใช้ Oil diffusion pump) ก่อนที่จะทำการระเหยไอโลหะได้ทำการเพิ่มอุณหภูมิแว่นผลึกประมาณ 110° เซลเซียสด้วยหลอดไฟทังสเตนเพื่อไล่ไอน้ำเป็นเวลา 15 นาที โลหะที่ใช้ ได้แก่ อลูมิเนียม, ทองเงิน, ดีบุก หนา 3000 อังสตรอง
- ขั้นตอนที่ 12' ทำการฉาบนิเกิลโดยวิธี Electroless plating [69] สารละลายที่ใช้ประกอบด้วย $NiCl_2,6H_2O$: $(NH_4)_2HC_6H_2O_7$: NH_4Cl = 30 : 65 : 50 ทำการผสมและคนให้เข้ากันพร้อมกับเติม $Na_2H_2PO_2.H_2O$ อีก 10 ส่วนอย่างช้าๆ นำสารละลายที่ได้ไปกรอง ก่อนทำการชุบต้องเติม NH_4OH จนสารละลายเปลี่ยนสีเขียวไปเป็นสีน้ำเงินเข้มซึ่งจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 8-10 นำแว่นผลึกชุบในสารละลายซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 80° เซลเซียส นาน 20 นาที นิเกิลจะเคลือบแว่นผลึกเฉพาะส่วนที่ไม่มีชั้นอ๊อกไซด์ ขั้นตอนที่ 13 จึงไม่จำเป็นสำหรับผิวสัมผัสที่เตรียมด้วยวิธี Electroless plating นี้

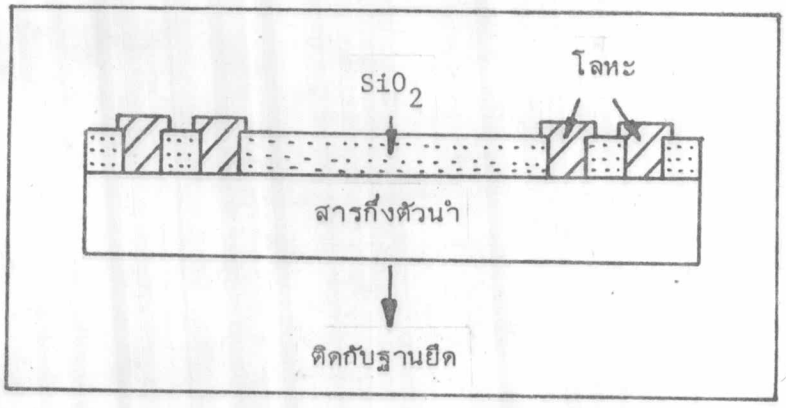
- ขั้นตอนที่ 13 Etch โลหะทำ Pattern สำหรับต่อสายตามภาคผนวก ข. 3 โดยใช้ Mask เบอร์ 4
- ขั้นตอนที่ 15 นำแว่นผลึกที่ฉาบไอออลูมิเนียมบางส่วนไปอบความร้อนที่อุณหภูมิ 550° เซลเซียส นาน 20 นาที ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์

6.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผิวสัมผัสแบบโอห์มมิค





ตัวอย่างผิวสัมผัสที่ทำเสร็จแล้ว แสดงได้ด้วยรูปที่ 6.7 และ 6.8



รูปที่ 6.7
แสดงโครงสร้างตัวอย่างในการวิจัยผิวสัมผัสแบบโอห์มมิค

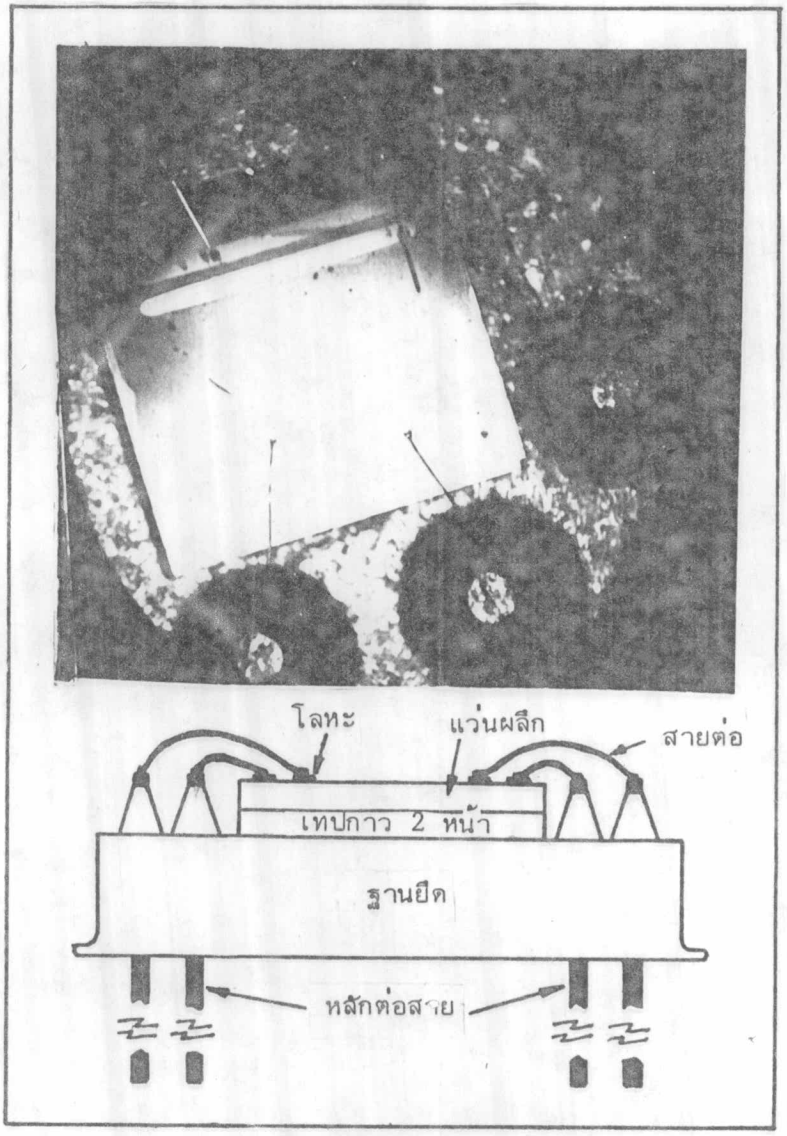
6.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับแว่นผลึกที่ใช้ในการวิจัยผิวสัมผัสแบบโอห์มมิค

แว่นผลึกที่ใช้เป็นแว่นผลึกซิลิกอนแบบ Mono-layer ชนิด P และ N ดังมีรายละเอียดดังนี้

ก. แว่นผลึกซิลิกอนชนิด P จำนวน 2 แผ่น มีค่าความต้านทานจำเพาะเท่ากับ 10-20 และ 1-2 โอห์ม-ซม. และมี Orientation(111)

ข. แว่นผลึกซิลิกอน N จำนวน 2 แผ่น มีค่าความต้านทานจำเพาะเท่ากับ 1-2 และ 0.015 โอห์ม-ซม. และมี Orientation (111)

จากภาคผนวก ก. แว่นผลึกชนิด P มีค่าความหนาแน่นของพาหะประมาณ 1.5×10^{21} และ 1×10^{22} ม.$^{-3}$ ส่วนแว่นผลึกชนิด N มีค่าความหนาแน่นของพาหะประมาณ 3×10^{21} และ 2.5×10^{24} ม.$^{-3}$



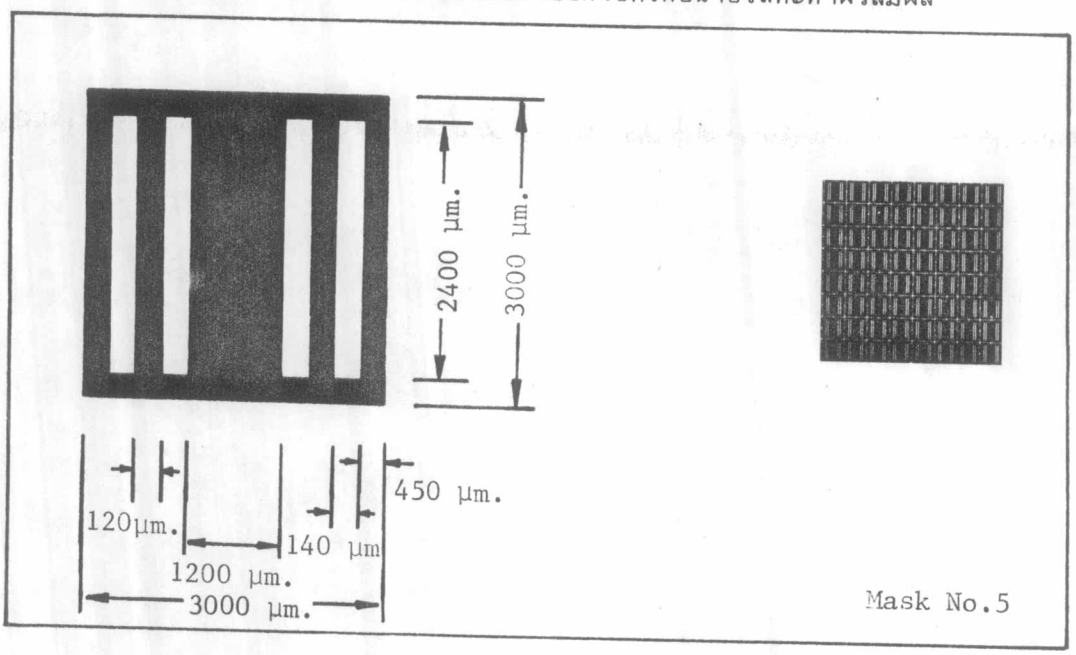
รูปที่ 6.8

แสดงตัวอย่างในการวิจัย

ผิวสัมผัสแบบโอห์มมิค

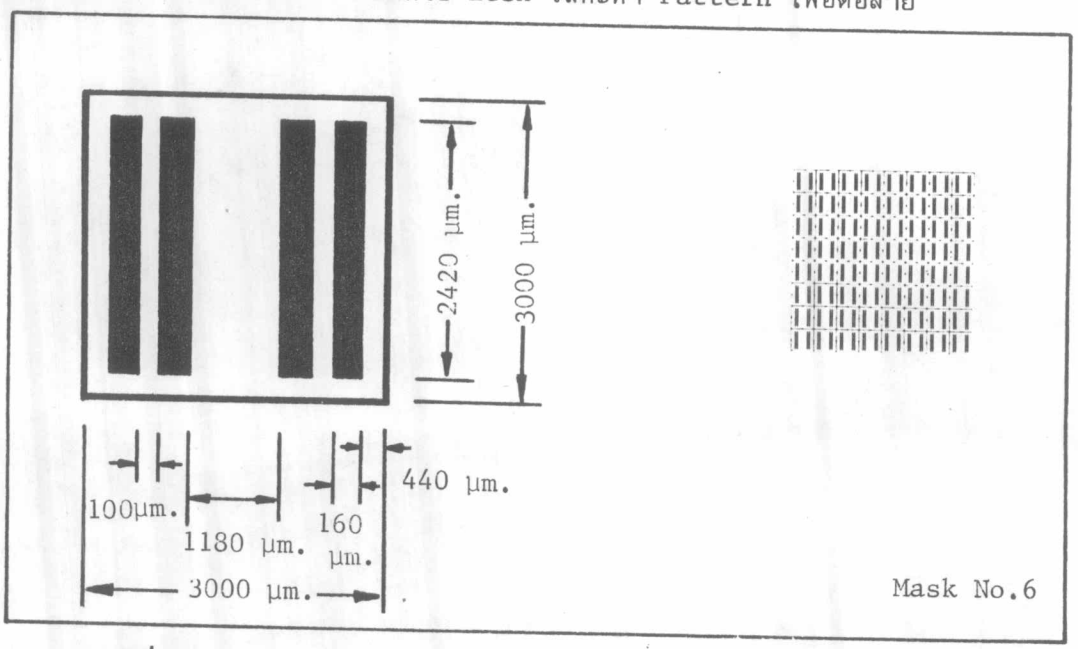
6.2.2 รายละเอียดของ Mask เบอร์ต่างๆ

- Mask เบอร์ 5 สำหรับเปิดช่องอ๊อกไซด์เพื่อฉาบโลหะทำผิวสัมผัส



รูปที่ 6.9 แสดง Mask เบอร์ 5 ขนาดเท่าของจริงและรายละเอียดของสัดส่วน

- Mask เบอร์ 6 สำหรับ Etch โลหะทำ Pattern เพื่อต่อสาย



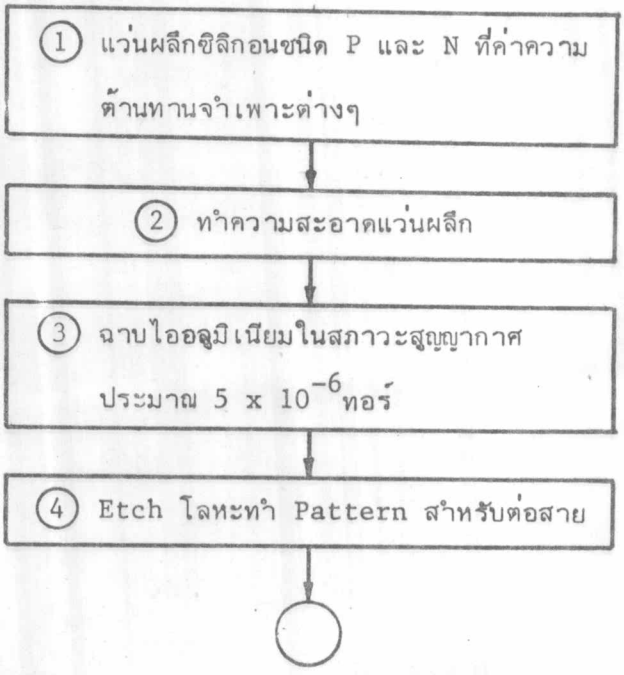
รูปที่ 6.10 แสดง Mask เบอร์ 6 ขนาดเท่าของจริงและรายละเอียดของสัดส่วน

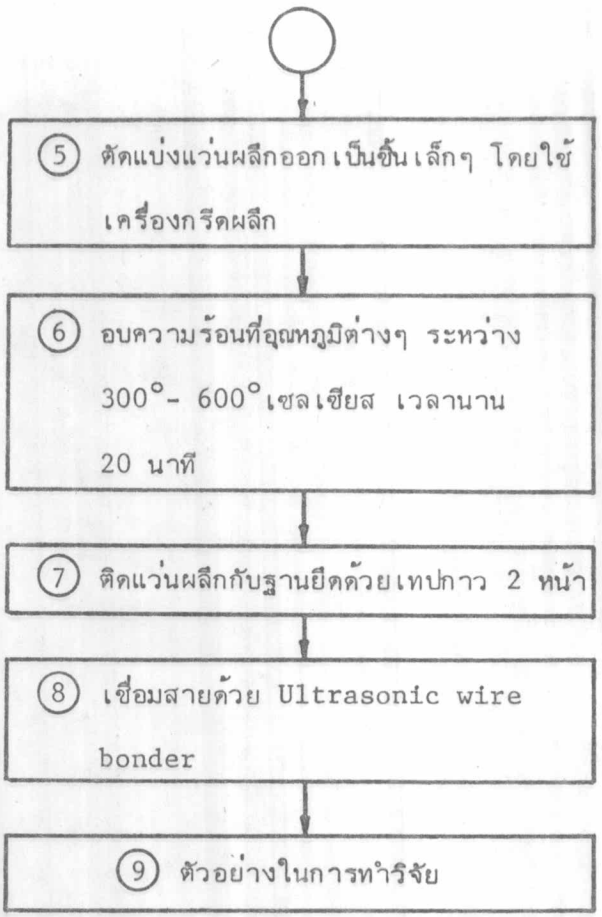
6.2.3 รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างฯ

- ขั้นตอนที่ 1 เลือกแว่นผลึกซิลิกอน
- ขั้นตอนที่ 2 ทำความสะอาดแว่นผลึกตามภาคผนวก ข. 1
- ขั้นตอนที่ 3 ทำชั้นอ๊อกไซด์หนาประมาณ 3000 อังสตรองตามภาคผนวก ข. 2
- ขั้นตอนที่ 4 เปิดช่องอ๊อกไซด์ตามภาคผนวก ข. 3 โดยใช้ Mask เบอร์ 5
- ขั้นตอนที่ 5 ทำความสะอาดแว่นผลึกตามภาคผนวก ข. 5
- ขั้นตอนที่ 6 6′ ทำการฉาบโลหะ รายละเอียดเหมือนขั้นตอนที่ 12 และ 12′ ในบทที่ 6.1.4 โลหะที่ฉาบโดยวิธีระเหยไอโลหะหนาประมาณ 3000 อังสตรอง
- ขั้นตอนที่ 7 Etch โลหะทำ Pattern สำหรับต่อสายตามภาคผนวก ข. 3 โดยใช้ Mask เบอร์ 6
- ขั้นตอนที่ 9 รายละเอียดเหมือนขั้นตอนที่ 15 ในบทที่ 6.1.4

6.3 เงื่อนไขในการอบความร้อน

การวิจัยเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบความร้อนผิวสัมผัสระหว่างสารกึ่งตัวนำกับอลูมิเนียม แสดงได้ด้วยแผนภูมิดังนี้





ขณะทำการวิจัยได้ทดลองเพิ่มอุณหภูมิของแว่นผลึกบางส่วนให้มีอุณหภูมิประมาณ 110° เซลเซียส ขณะฉาบไอโลหะในขั้นตอนที่ 3

6.3.1 <u>ข้อมูลเกี่ยวกับแว่นผลึกที่ใช้ในการวิจัยเงื่อนไขในการอบความร้อน</u>

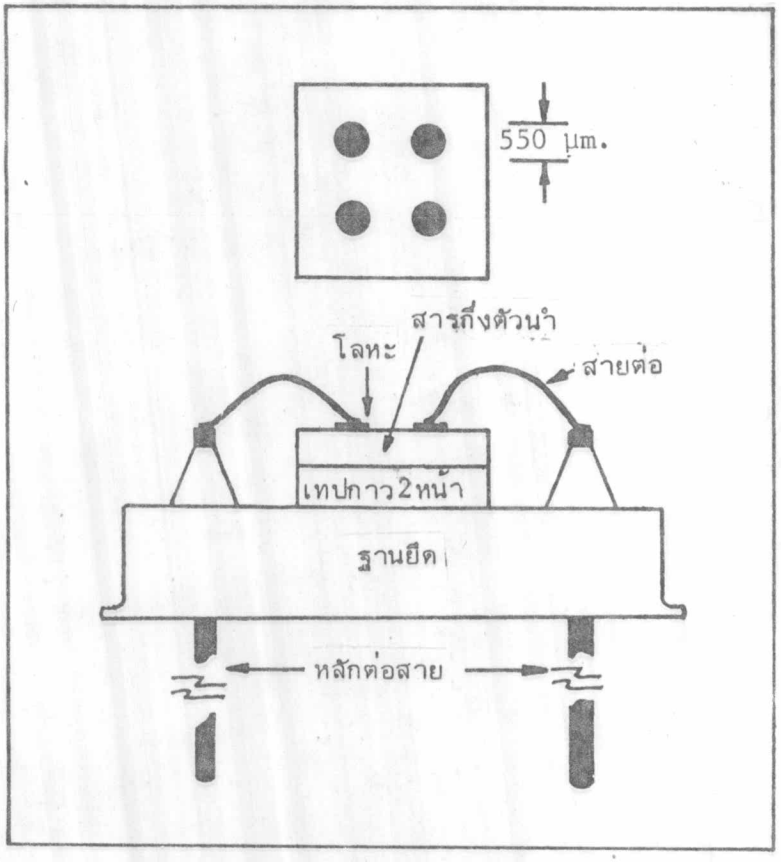
แว่นผลึกที่ใช้เป็นแว่นผลึกซิลิกอนแบบ Mono-layer ชนิด P และ N ดังมีรายละเอียดดังนี้

ก. แว่นผลึกชนิด P จำนวน 2 แผ่น มีค่าความต้านทานจำเพาะเท่ากับ 6.9 โอห์ม-ซม. และมี Orientation (111)

ข. แว่นผลึกชนิด N จำนวน 2 แผ่น มีค่าความต้านทานจำเพาะเท่ากับ 7.4 โอห์ม-ซม. และมี Orientation (111)

จากภาคผนวก ก. แว่นผลึกชนิด P และ N มีค่าความหนาแน่นของพาหะเท่ากับ 2×10^{21} และ 7×10^{20} ม.$^{-3}$ ตามลำดับ

ตัวอย่างผิวสัมผัสที่ทำเสร็จแล้ว แสดงได้ด้วยรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11
แสดงโครงสร้างและตัวอย่างในการวิจัยเงื่อนไขในการอบความร้อน

6.3.2 รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างฯ

- ขั้นตอนที่ 1 เลือกแว่นผลึกซิลิกอน
- ขั้นตอนที่ 2 ทำความสะอาดแว่นผลึกตามภาคผนวก ข. 1
- ขั้นตอนที่ 3 ฉาบไอโลหะ รายละเอียดเหมือนขั้นตอนที่ 12 โลหะที่ฉาบหนาประมาณ 3000 อังสตรอง แว่นผลึกบางส่วนถูกทำให้มีอุณหภูมิ 110° เซลเซียส ขณะทำการระเหยไอโลหะ
- ขั้นตอนที่ 4 Etch โลหะทำ Pattern สำหรับต่อสายตามภาคผนวก ข. 3
- ขั้นตอนที่ 6 อบความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆระหว่าง 300°- 600° เซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจนบริสุทธิ์ นาน 20 นาที