

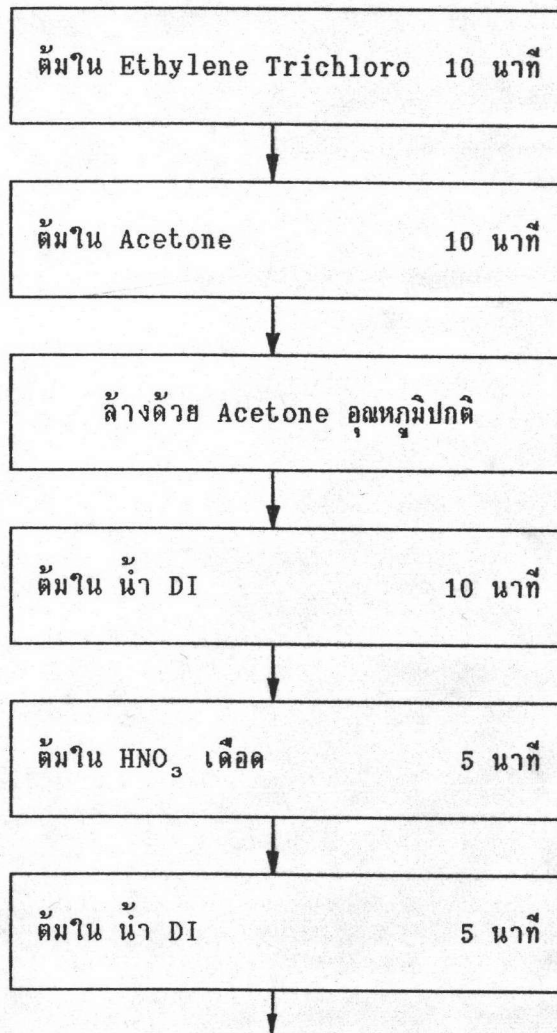
บทที่ 3

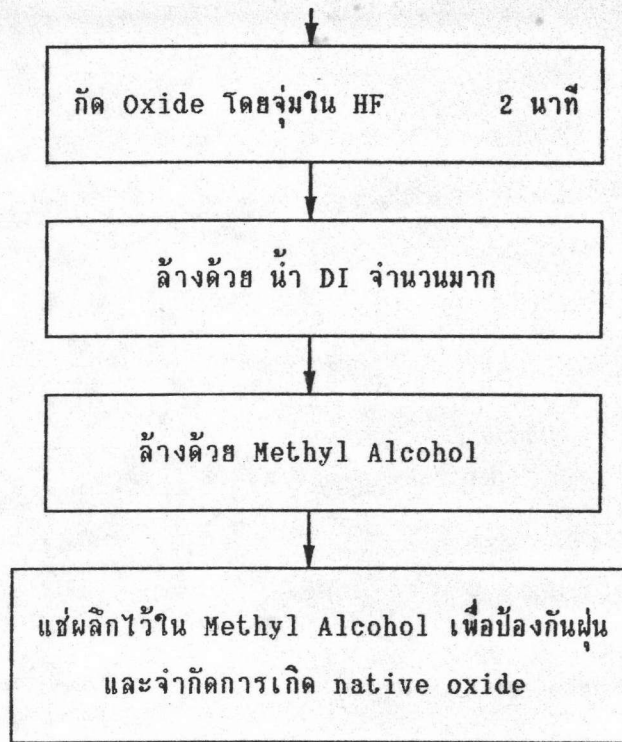
การเตรียมผิวผลึกซิลิคอนแบบร่อง

3.1 การเตรียมผิวหน้าของผลึกซิลิคอน

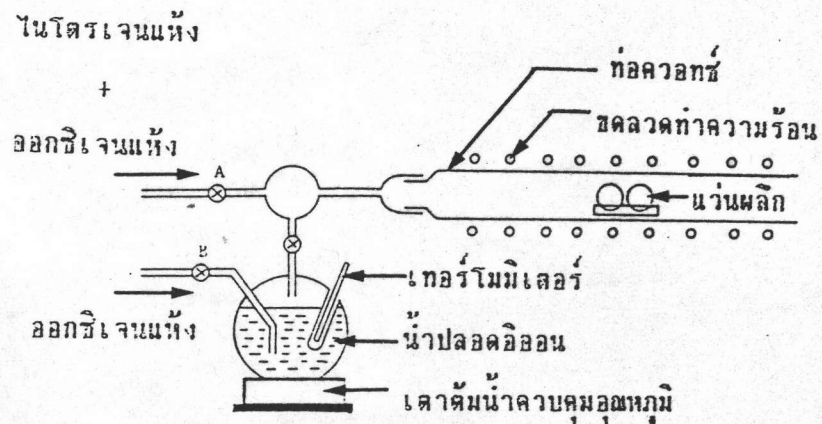
ผลึกซิลิคอนที่ใช้ เป็นผลึกผิวเรียบมัน มีความหนาประมาณ 270 ไมครอน มีค่าความต้านทาน ประมาณ 0.1-0.2 โอห์ม-เซนติเมตร มีระนาบผลึก [100] ผลึกนี้เป็นชนิด P สารเจือปนคือ โบรอน

นำผลึกมาล้างทำความสะอาด โดยผ่านกรรมวิธีดังนี้

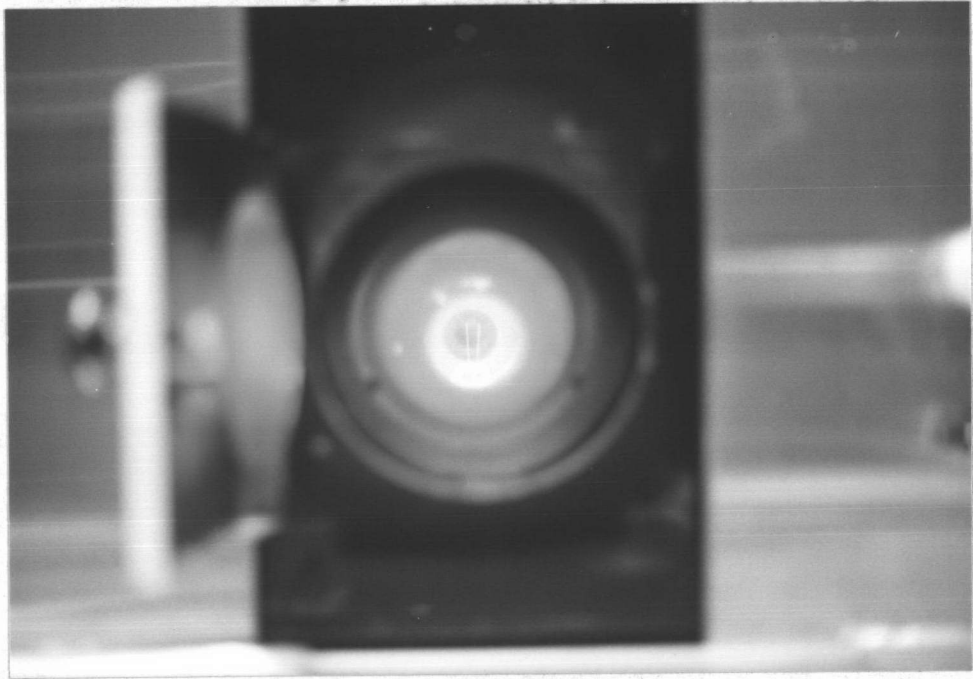




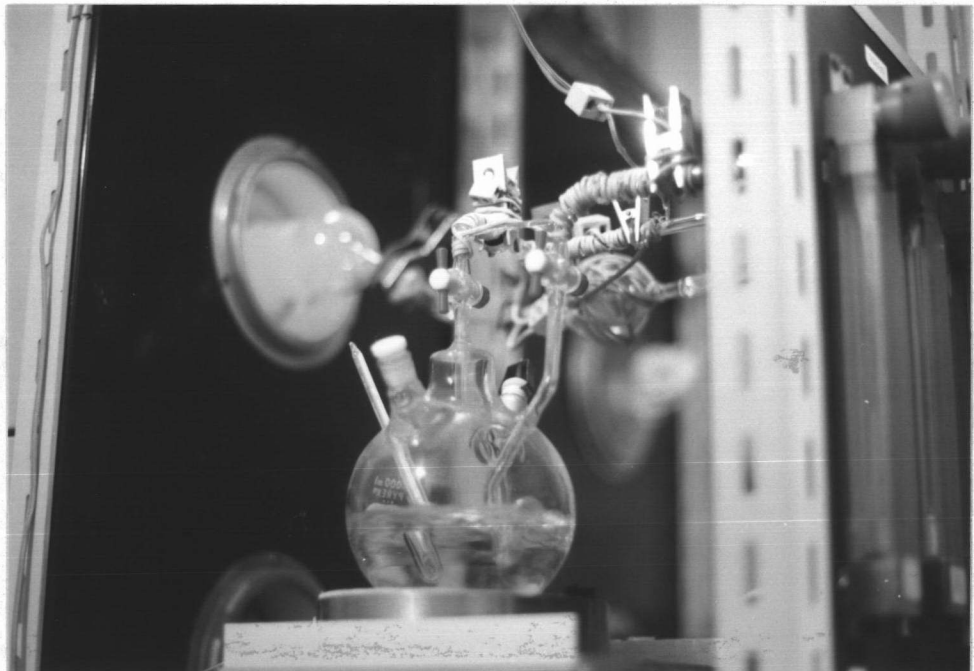
ผลึกที่ผ่านการล้างทำความสะอาดจะถูกนำมาปลูก Oxide (SiO_2) ทั้ง 2 ด้าน ด้วยกรรมวิธี Thermal Oxidation (12: 48-53) ที่ความร้อน 1000 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิด Oxide หนาประมาณ 3000 อังสตรอม ซึ่งเป็นความหนาที่เพียงพอ ในการป้องกันการแพร่ซึมสารเจือปน ในกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.1 กระบวนการ Thermal Oxidation



รูปที่ 3.2 เตา Oxidation ที่อุณหภูมิ 1000°C



รูปที่ 3.3 ระบบ Oxygen Bubble

3.2 การสร้างรูปแบบของการกัดผิวผลึกซิลิคอน

SiO_2 ที่ปลูกขึ้นจากกระบวนการ Oxidation จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเป็นตัวกำหนดขอบเขต และรูปแบบของการกัดผิวซิลิคอน ทั้งนี้เพราะสารละลาย P-ED สามารถกัด SiO_2 ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ SiO_2 ที่ปกคลุมผิวด้านหลังของผลึกยังจะถูกนำไปใช้เป็นชั้นกันการแพร่ซึมของสารเจือปน จากกระบวนการแพร่ซึม ซึ่งผลึกซิลิคอนนี้จะต้องผ่านในขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

การสร้างรูปแบบของการกัดผิวผลึก โดยใช้ SiO_2 เป็นตัวกำหนด จะใช้เทคนิค Photolithography คือการถ่ายแบบด้วยแสงผ่านแผ่น mask ให้เกิดแสงและเงา ตกลงบนชั้นน้ำยาไวแสงที่เคลือบอยู่บนผิวของ SiO_2 จากนั้นจึงนำไปทำการ Develop น้ำยาไวแสง บริเวณที่ถูกแสงก็จะหลุดออก เปิดให้เห็นผิว SiO_2 ส่วนที่ไม่ถูกแสงก็จะคงอยู่ และมีความสามารถทนต่อกรดที่ใช้กัด SiO_2 ได้

เครื่องมือหลักที่ใช้ในเทคนิค Photolithography มีดังต่อไปนี้

1. Spinner ใช้สำหรับหมุนปั่นแผ่นผลึกด้วยความเร็วสูง โดยสามารถกำหนดความเร็วรอบของการหมุน และเวลาของการหมุนได้ การหมุนนี้จะช่วยทำให้น้ำยาไวแสงที่อยู่ในสภาพของเหลวแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวหน้าของผลึก

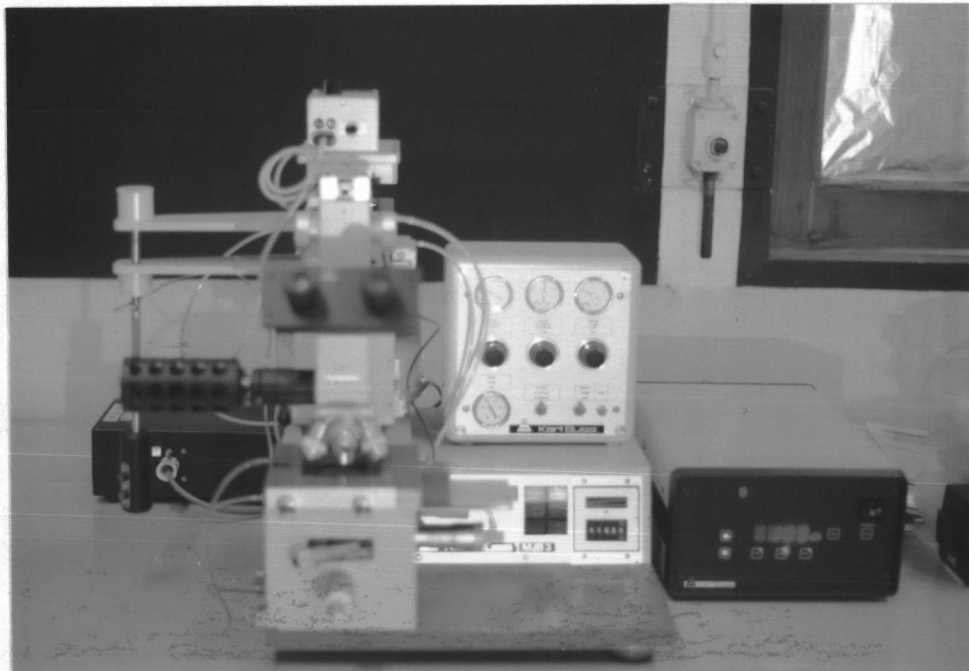
2. เตอบควบคุมอุณหภูมิ ใช้ปรับเร่งให้น้ำยาไวแสงแห้งเร็วขึ้น และเกาะติดอยู่บนผิวผลึกได้ดี

3. Mask Aligner ใช้ในการจัดวางตำแหน่งของแผ่นผลึก ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องภายใต้ mask นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ฉายแสง Ultraviolet สำหรับการถ่ายภาพปริทรรศน์กับฟิล์มของน้ำยาไวแสง

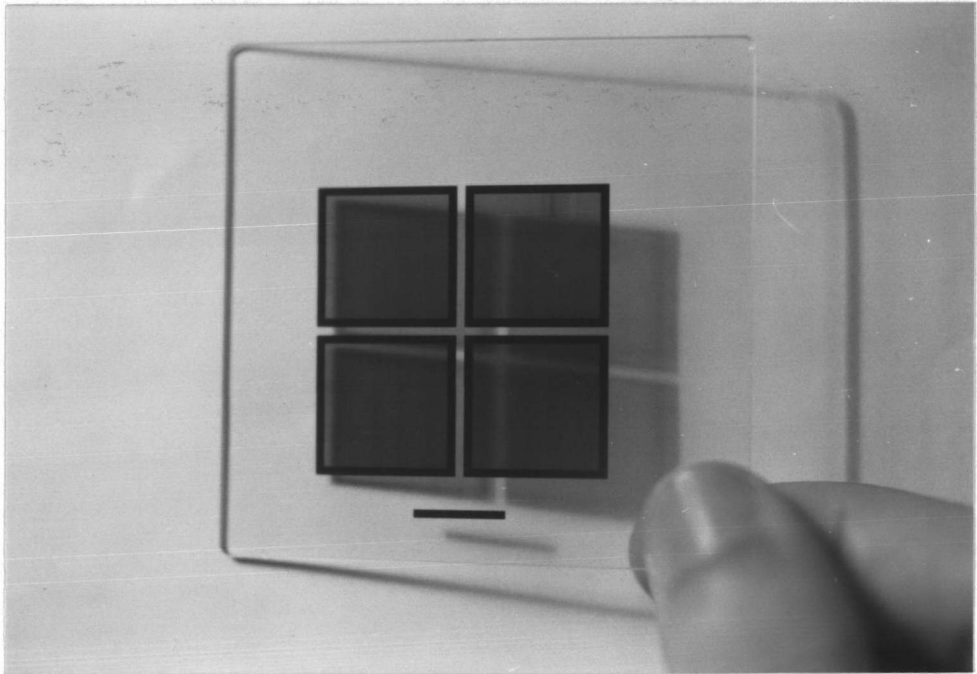
4. Mask เป็นแผ่นกระจกใสที่มีลวดลายเป็นเส้นทึบแสง ลวดลายเหล่านี้จะเป็นตัวสร้างเงาให้ปรากฏลงบนฟิล์มของน้ำยาไวแสง



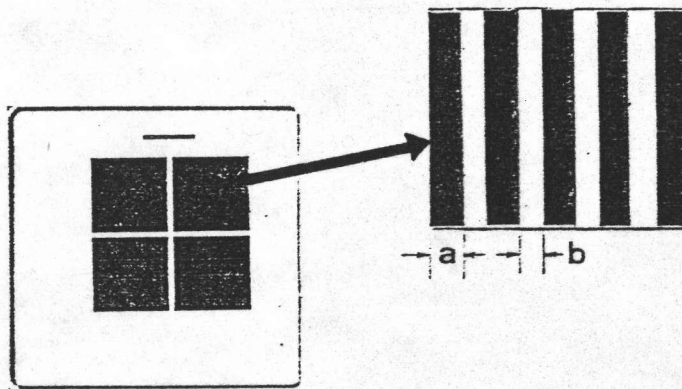
រូបភាព 3.4 Spinner



រូបភាព 3.5 Mask Aligner



รูปที่ 3.6 Mask

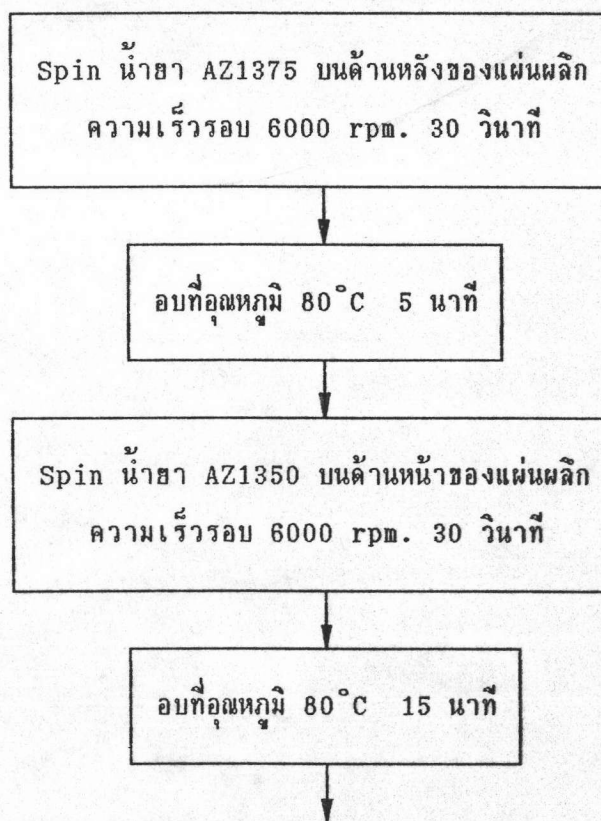


รูปที่ 3.7 ลักษณะของลวดลายบน Mask

MASK	ระยะ a	ระยะ b
หมายเลข 1	7 ไมครอน	3 ไมครอน
หมายเลข 2	14 ไมครอน	6 ไมครอน
หมายเลข 3	21 ไมครอน	9 ไมครอน
หมายเลข 4	28 ไมครอน	12 ไมครอน
หมายเลข 5	35 ไมครอน	15 ไมครอน

ตารางที่ 3.1 ขนาดของ Mask

ขั้นตอนการสร้างรูปแบบการกัดผิวผลึกซิลิคอนมีดังต่อไปนี้



710

Corporate name added entry.

Abmariyah nashid

(Cat. by Date Input by)

CU : THES DATA BASE - INSIS INPUT WORKSHEET

ISIS no.

016	Accession no. 018487
020	ISBN. 0 974-581-687-6
100	Author. ๑ สมิษฐ์ สยามชัย ๑ ๒๕๓๕ -
245	Title. ๑ การศึกษาคุณสมบัติของซิลิคอนอสัณฐานและงานประยุกต์ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ๑ การศึกษาคุณสมบัติของซิลิคอนอสัณฐาน / ๑ สมิษฐ์ สยามชัย ๑ ๒๕๓๕ Characterization of amorphous silicon and its applications to optoelectronic devices / Pawan Siamchai
260	Publication area. ๑ ๒๕๓๕
300	Physical description area. ๑ ๑-๑๖ หน้า ๑ ๖ ซม. ๑๒๐ ซม., ๑ หน้าปก
500	General note. ๑ ศึกษาค้นคว้า (๑๒๕๓๕)
502	Dessertation note. ๑ วิทยานิพนธ์ (ศด.ศ.ศ.) -- ๑ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ๒๕๓๕
600	Pers name descriptor.
610	Corp name descriptor.
630	Unif tif descriptor.

645

2Tit descriptor

650

Theasaurus descriptor

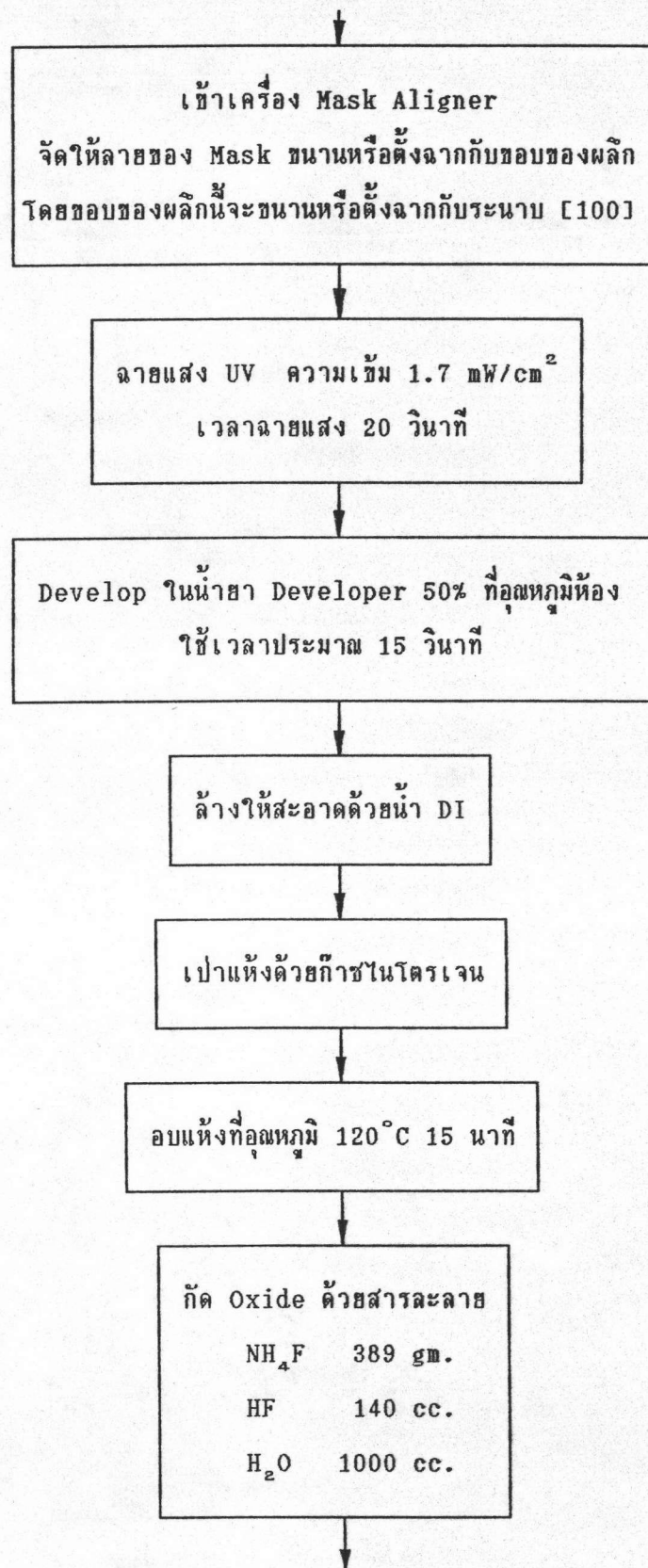
651

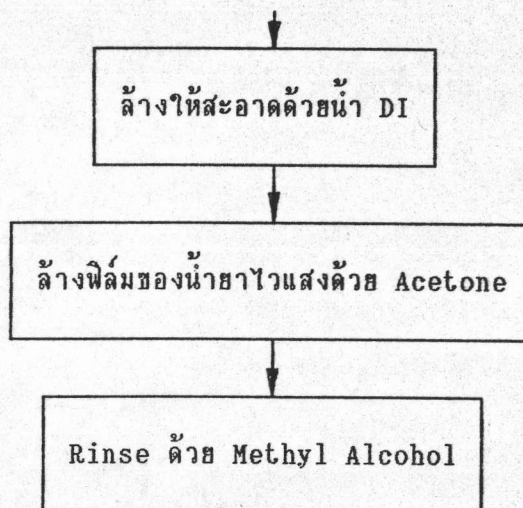
Geographic descriptor

710

Coporate name added entry

[^]b માંથી વિદ્યાર્થી





การเก็บรักษาแผ่นผลึกไว้ใน Methyl Alcohol เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและควบคุมการเกิด Native Oxide ในบริเวณผิวของซิลิคอนที่ไม่มี SiO_2 ปิด หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเหล่านี้แล้ว แผ่นผลึกนี้พร้อมที่จะนำไปผ่านกระบวนการกัดผิวหน้าแบบ Anisotropic Etching ต่อไป

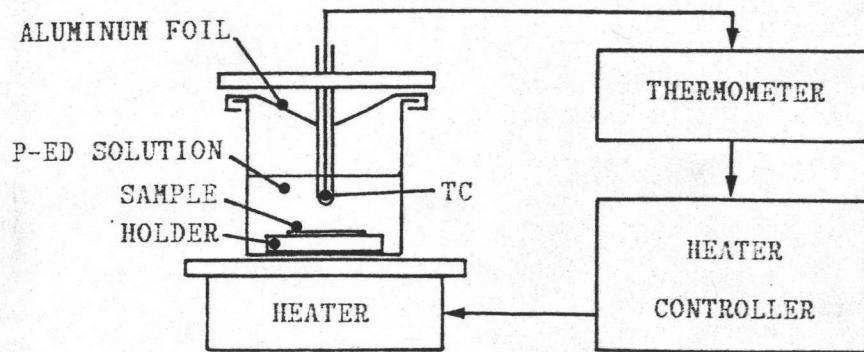
3.3 การกัดผิวหน้าของผลึกซิลิคอน

สารละลาย P-ED ที่นำมาใช้ในกระบวนการกัดแบบ Anisotropic มีส่วนประกอบดังนี้

Pyrocatechol	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$	9 gm.
Ethylenediamine	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2$	50 cc.
DI water	H_2O	25 cc.

หากต้องการปริมาณสารละลายเพิ่มขึ้น ก็สามารถเพิ่มส่วนประกอบขึ้นตามสัดส่วนระบบที่บรรจุสารละลายในการทำปฏิกิริยา ควรจะเป็นระบบป้องกันการรั่วไหลของไอน้ำ และไอของ Ethylenediamine โดยทำให้เกิดการควบแน่นและตกลงกลับไปดังรูปที่ 3.8 เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายในขณะทำปฏิกิริยา อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา คือ 100°C แต่จุดเดือดของสารละลาย P-ED ประมาณ 118°C จึงจะต้องมีการสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ มิเช่นนั้น Ethylenediamine และน้ำจะระเหยออกจากสารละลายเป็นจำนวนมากจนการควบแน่นเกิดไม่ทัน ความดันภายในจะสูงขึ้นจนทำให้ไอของสารเคมีรั่ว

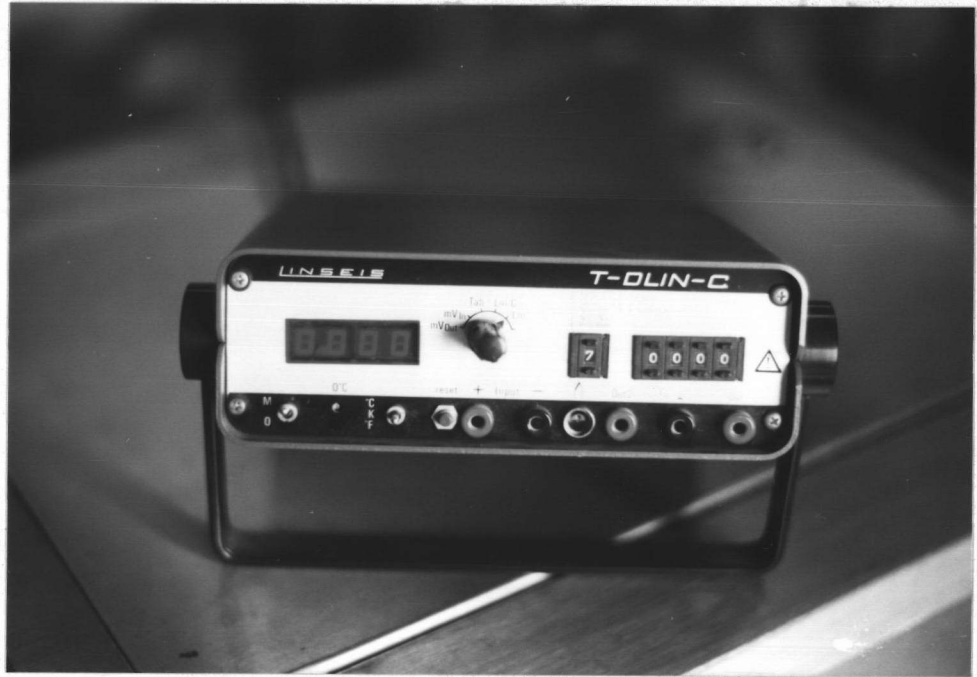
ไหลออกมาเป็นปริมาณมาก และไอของ Ethylenediamine เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของร่างกาย จึงควรป้องกันโดยจัดระบบทำปฏิกิริยา ให้อยู่ภายในตู้ที่มีพัดลมดูดอากาศตลอดเวลา



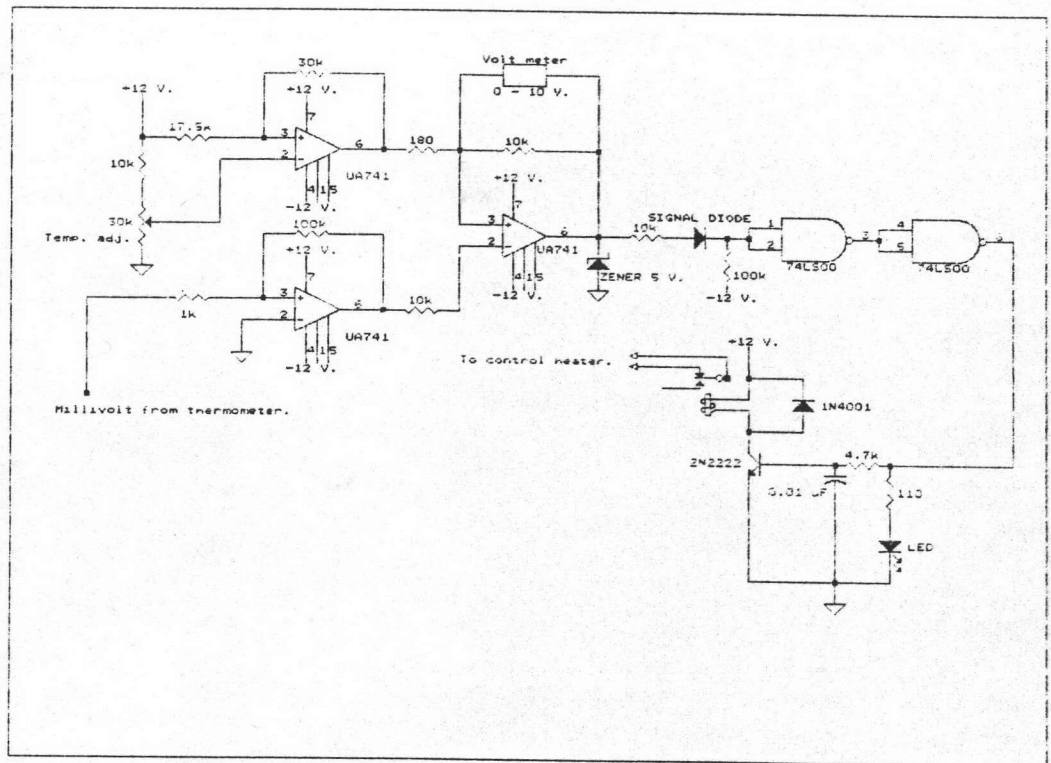
รูปที่ 3.8 ระบบการกีด groove



รูปที่ 3.9 สารละลาย P-ED ในภาชนะปิดผนึก



รูปที่ 3.10 Thermometer



รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมอุณหภูมิ

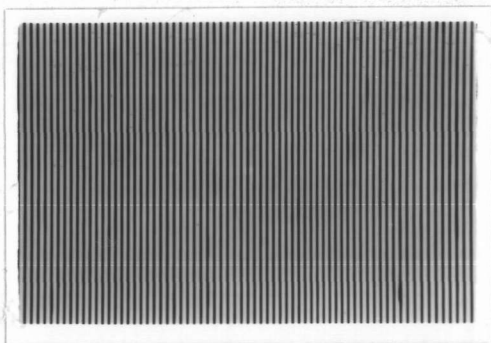
3.4 การตรวจสอบผิวผลึกซิลิคอนแบบร่อง

เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบผิวผลึกที่ถูกกัดด้วยสารละลาย P-ED ว่าจะเกิดผิวหน้าเป็นลักษณะใดนั้นมี 2 ชนิดคือ

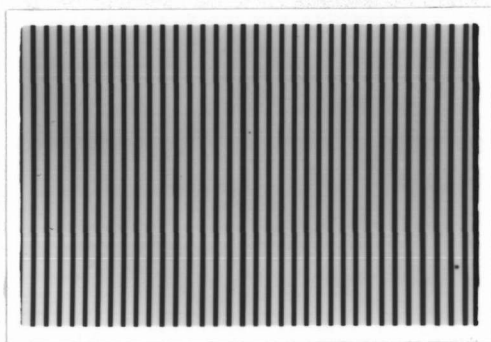
1. กล้องจุลทรรศน์ ใช้ตรวจสอบหาขนาดจริงของปากร่อง และระยะตามแนวราบได้ดี แต่มีปัญหาด้านการตรวจสอบความลึก จากรูป 3.13 แสดงถึงภาพที่ถ่ายได้จากกล้องจุลทรรศน์นี้ บริเวณสีดำในภาพ คือบริเวณที่เกิดร่องรูปตัว V ส่วนบริเวณสีขาวจะเป็นผิวราบระหว่างร่อง



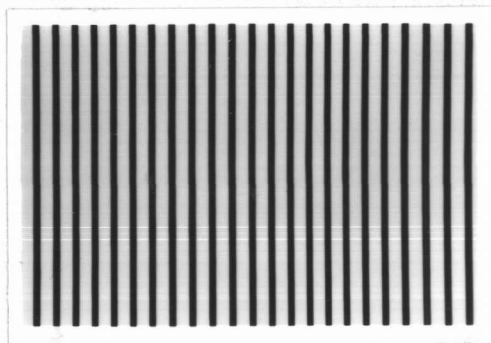
รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์



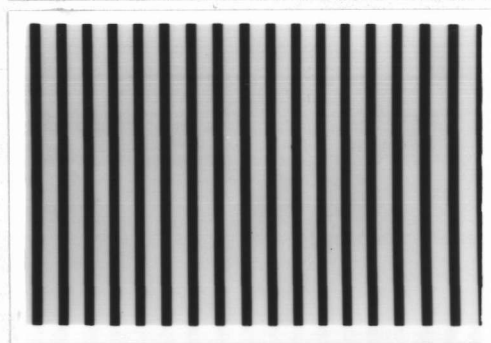
ฉิวร๋อง แบบที่ 1



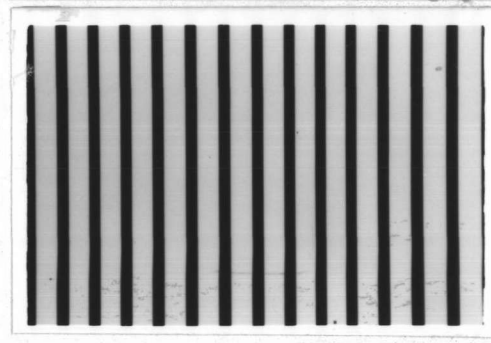
ฉิวร๋อง แบบที่ 2



ฉิวร๋อง แบบที่ 3



ฉิวร๋อง แบบที่ 4



ฉิวร๋อง แบบที่ 5

รูปที่ 3.13 ฉิวแบบร๋องทั้ง 5 แบบ ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์

2. Scanning Electron Microscope : SEM เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงมาก แต่ไม่ได้ใช้ระบบทางแสง หากแต่ใช้หลักการกระเจิงของ Secondary Electron ด้วยมุม และค่าพลังงานต่าง ๆ จากวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ เข้าสู่ตัว Detector แล้วใช้วงจรรีเลเกทรอนิกส์ สร้างภาพบนจอภาพ จุดเด่นคือ ทำให้เราสามารถมองภาพวัตถุที่มีขนาดเล็กมาก ในลักษณะ Perspective ได้อย่างละเอียด ทำให้การวัดขนาดต่าง ๆ มีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 3.14 Scanning Electron Microscope

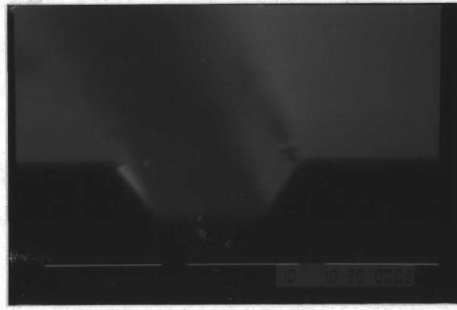
รูปที่ 3.15 เป็นการถ่ายภาพจาก SEM เพื่อศึกษาลักษณะการเกิด V-groove ที่เวลาเปลี่ยนไปโดยใช้ผลึกที่ถ่าย mask #5 เป็นตัวศึกษา จะเห็นว่าเกิดการกัดเนื้อของซิลิคอนลงไปในระยะนาบ [100] ซึ่งเป็นระยะนาบที่ขนานกับผิวผลึก แต่เมื่อถูกบังคับบริเวณของการกัดด้วย Oxide mask ก็จะทำให้เกิดจุดตั้งต้นของระยะนาบ [111] ซึ่งระยะนาบ [111] นี้ทำมุมกับระยะนาบ [100] 54.75 องศา เส้นขีดขาวในรูปเป็นเส้นมาตราส่วน โดยจะแสดงความยาวของเส้นนี้เป็นตัวเลขใต้รูป ชุดตัวเลขใต้รูป 4 จำนวน มีความหมายดังต่อไปนี้

จำนวนแรก เป็นความยาวของเส้นมาตราส่วน มีหน่วยเป็น ไมครอน
 จำนวนที่ 2 เป็นค่าแรงดันที่ใช้เร่งอิเล็กตรอน มีหน่วยเป็น กิโลโวลต์
 จำนวนที่ 3 เป็นค่าระยะห่างระหว่าง Sample กับ Detector
 จำนวนที่ 4 แสดงอันดับที่ของภาพถ่าย

เนื่องจากสารละลาย P-ED นี้ สามารถกัดเนื้อซิลิคอนในระยะนาบ [111] ได้อย่างช้าๆ เมื่อเทียบกับระยะนาบ [100] และ [110] จึงทำให้ขอบเขตของระยะนาบ [100] ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลดลงไป สุดท้ายพื้นที่ของระยะนาบ [100] ที่ทำปฏิกิริยาจะหมด ทำให้เกิดร่องรูปตัววี โดยมุมของร่องก็จะเป็นมุมเฉพาะคือ 70.5 องศา

เมื่อได้พิจารณาอัตราการกัดเนื้อผลึกซิลิคอนจากภาพ SEM ก็สามารถกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการกัดได้ โดยเวลาของการกัด จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดของ mask ดังนี้

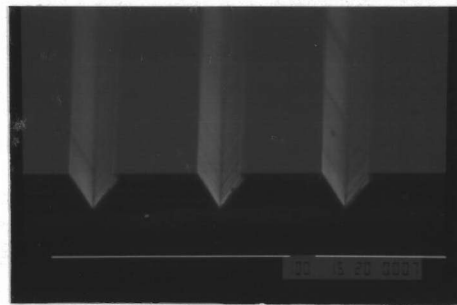
- #1 ใช้เวลา 3 นาที
- #2 ใช้เวลา 6 นาที
- #3 ใช้เวลา 8 นาที
- #4 ใช้เวลา 10 นาที
- #5 ใช้เวลา 12 นาที



เวลากัด 5 นาที



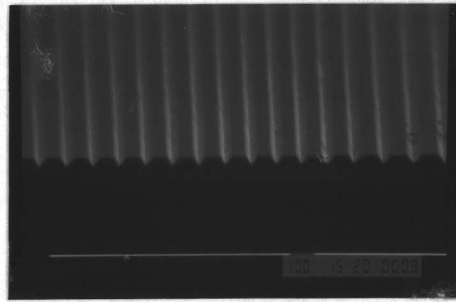
เวลากัด 10 นาที



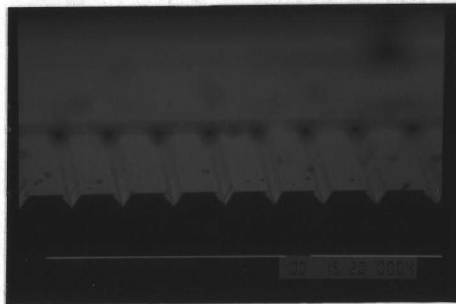
เวลากัด 12 นาที

รูปที่ 3.15 ภาพถ่าย SEM แสดงการเกิด V-groove

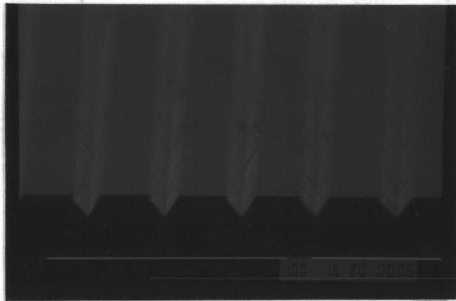
จากการใช้ mask 5 แบบ ทำให้ได้ผิวซิลิคอน 5 แบบตามรูปที่ 3.16 และ 3.17 ในรูปที่ 3.18 เป็นการแสดงขนาดของร่องทั้ง 5 แบบ ขนาดที่ปรากฏในรูป มีหน่วยเป็น ไมครอน ผิว groove ทั้ง 5 แบบนี้ จะใช้สำหรับการทดสอบทางแสง และการนำไปผ่าน กระบวนการต่าง ๆ ให้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป



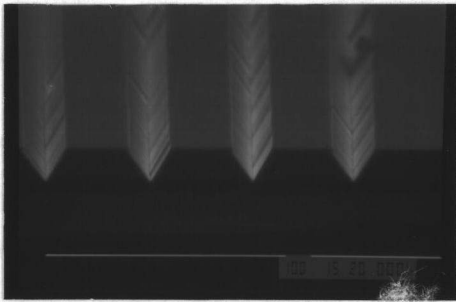
ฉิวร๋อง แบบที่ 1



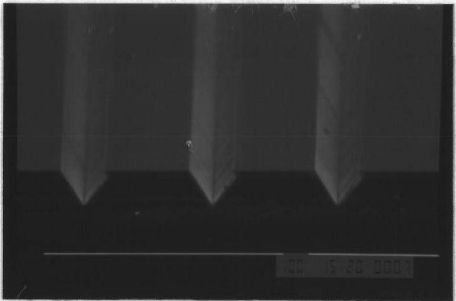
ฉิวร๋อง แบบที่ 2



ฉิวร๋อง แบบที่ 3

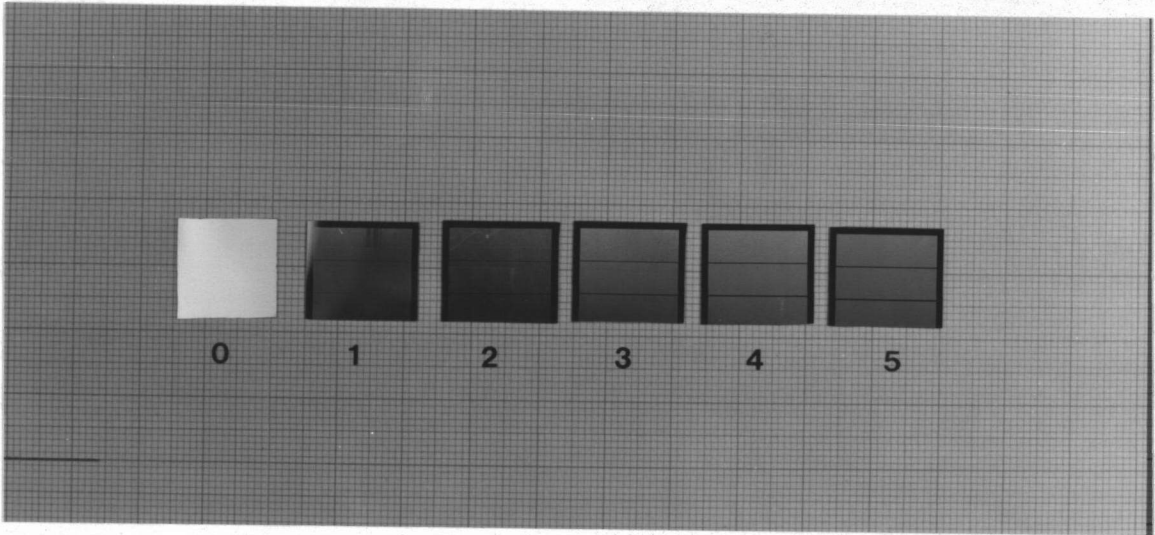


ฉิวร๋อง แบบที่ 4

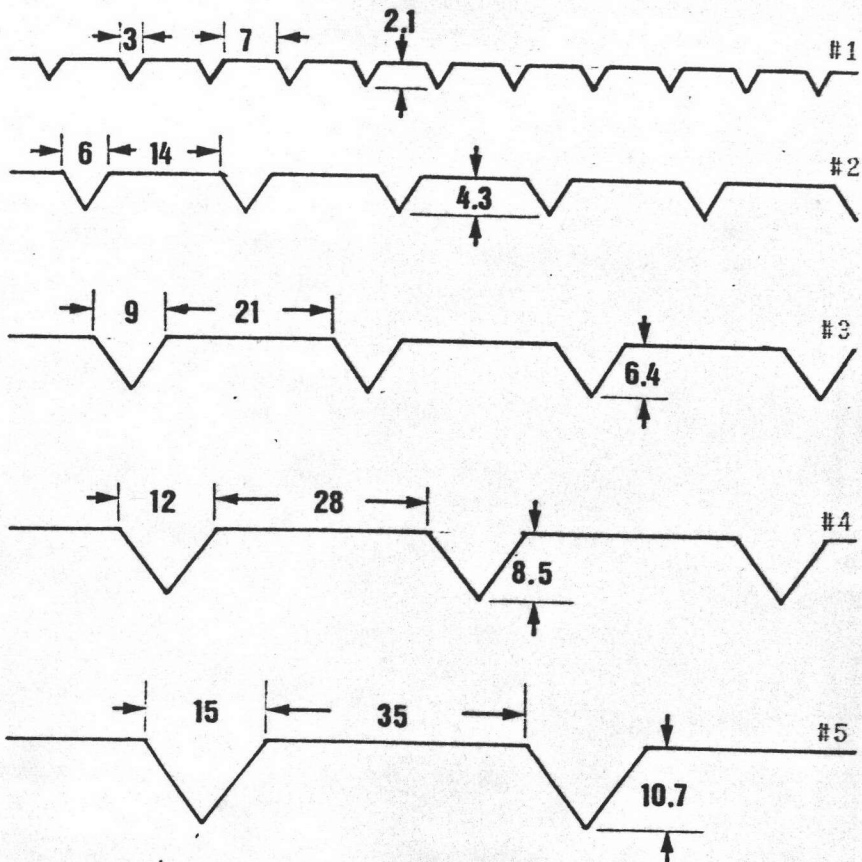


ฉิวร๋อง แบบที่ 5

รูปที่ 3.16 ภาพ SEM แสดงลักษณะของฉิวฉิลิโคนทั้ง 5 แบบ

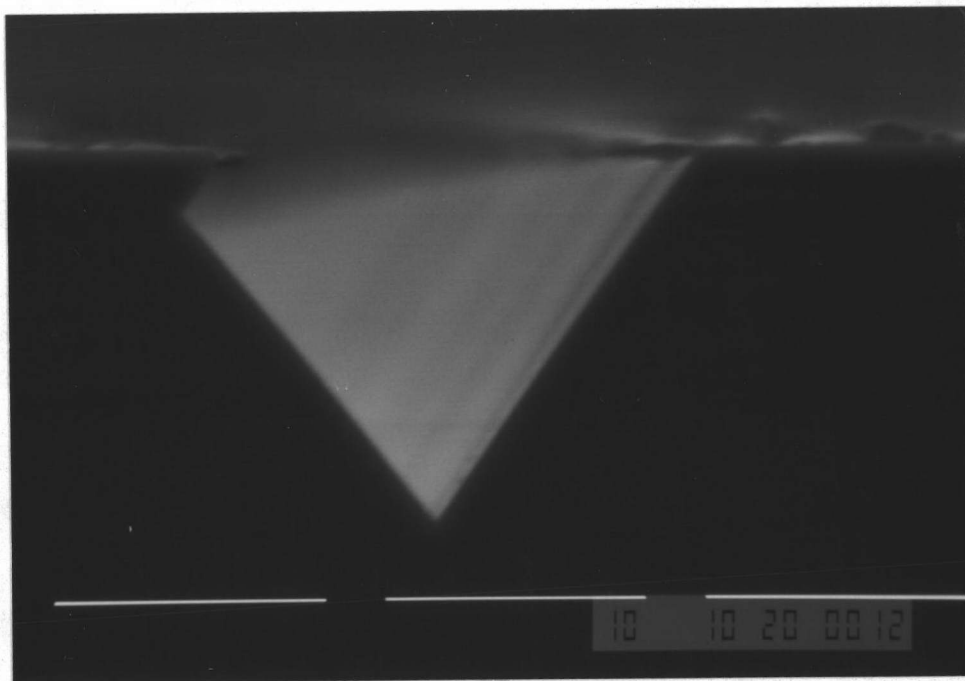


รูปที่ 3.17 ภาพของผลึกซิลิคอนที่ได้เตรียมผิวหน้าเป็นร่องแล้ว
(หมายเลข 0 คือ ผิวผลึกแบบเรียบมัน)

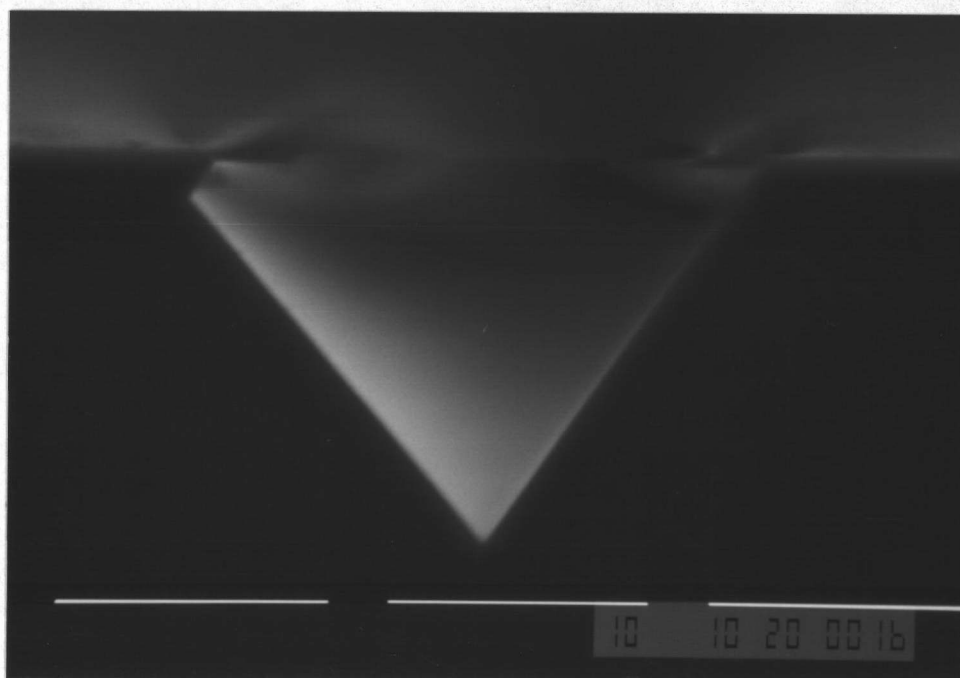


รูปที่ 3.18 แสดงขนาดของร่องทั้ง 5 แบบ

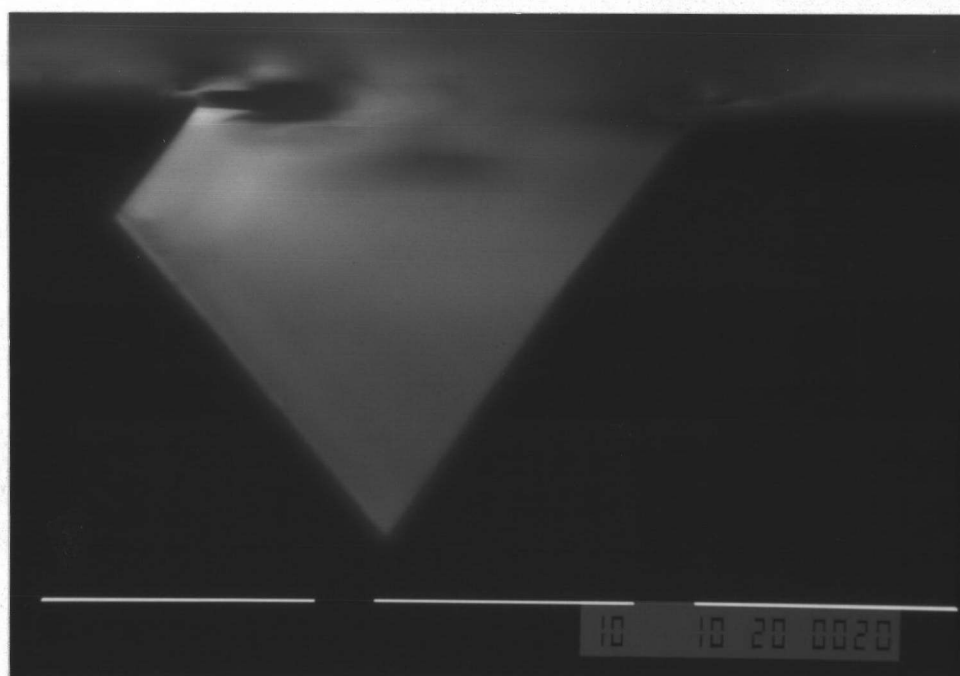
ข้อควรระวังในการกัดผิวผลึกนี้คือ การควบคุมเวลาในการกัด จากการทดลองพบว่าผิวผลึกในทิศทาง $[111]$ ที่ผนัง 2 ด้านของร่องถูกกัดด้วยอัตราที่ไม่เท่ากัน หากการกัดใช้เวลานานเกินไป จะเกิดเป็นร่องที่เอียงไปทางด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้เกิดลักษณะคล้ายหลังคาคลุมปิดร่องรูปตัว V ซึ่งจะทำให้เกิดเงาภายในร่องได้ รูปที่ 3.19, 3.20, 3.21, และ 3.22 เป็นลักษณะของร่องขนาดหมายเลข 5 ที่ถูกกัดนาน 15, 20, 25 และ 30 นาที ตามลำดับ



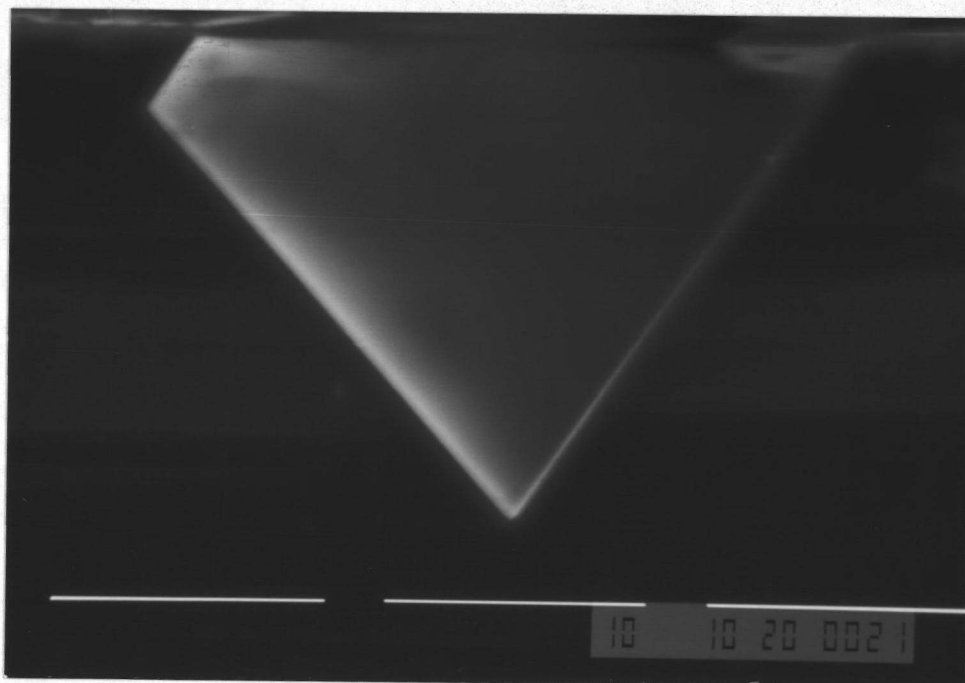
รูปที่ 3.19 ภาพ SEM ของผิวผลึกที่ถูกกัดเป็นร่องแบบที่ 5 นาน 15 นาที



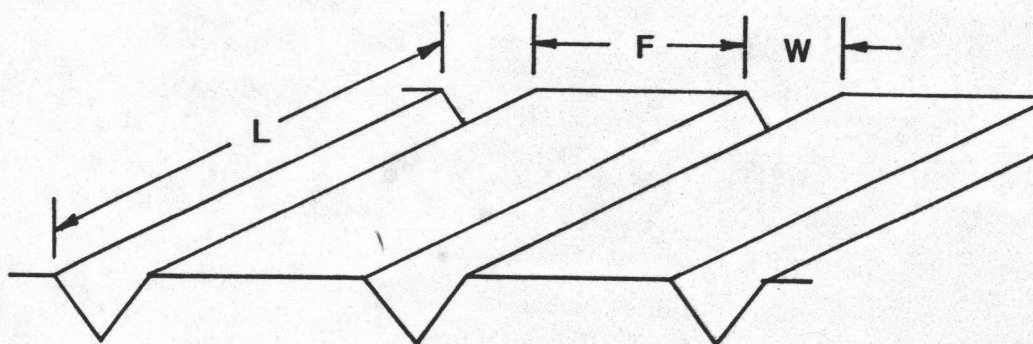
รูปที่ 3.20 ภาพ SEM ของผิวผลึกที่ถูกกัดเป็นร่องแบบที่ 5 นาน 20 นาที



รูปที่ 3.21 ภาพ SEM ของผิวผลึกที่ถูกกัดเป็นร่องแบบที่ 5 นาน 25 นาที



รูปที่ 3.22 ภาพ SEM ของผิวผลึกที่ถูกกัดเป็นร่องแบบที่ 5 นาน 30 นาที



รูปที่ 3.23 ภาพประกอบการคำนวณพื้นที่ผิวประสิทธิผล

3.5 การวัดการสะท้อนแสงจากผิวผลึกซิลิคอนแบบร่อง

เป็นการวัดเพื่อศึกษาคุณสมบัติในการสะท้อนแสงของผิวผลึกซิลิคอน ที่มีขนาดของร่องต่าง ๆ กัน ผิวแบบร่องที่เตรียมขึ้นทั้ง 5 แบบ มีลักษณะแตกต่างกันทั้งในด้านความลึกของร่อง, ขนาดความกว้างของร่อง และจำนวนร่องต่อหน่วยพื้นที่ แต่จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวประสิทธิผลที่เพิ่มขึ้นจากพื้นที่ผิวราบปกติเท่ากัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

แบบของร่อง	ความกว้างของร่อง	ความลึกของร่อง	จำนวนร่องต่อหน่วยพื้นที่	การเพิ่มพื้นที่ผิวประสิทธิผลจากพื้นที่ผิวแนวราบ
#1	3 μm	2.1 μm	1000 cm^{-2}	122%
#2	6 μm	4.3 μm	500 cm^{-2}	122%
#3	9 μm	6.4 μm	333 cm^{-2}	122%
#4	12 μm	8.5 μm	250 cm^{-2}	122%
#5	15 μm	10.7 μm	200 cm^{-2}	122%

ตารางที่ 3.2 ลักษณะต่าง ๆ ของร่อง 5 แบบ

พื้นที่ผิวประสิทธิผล หมายถึง พื้นที่ที่เกิดขึ้นจริงหลังจากการเตรียมผิวหน้า ในการเตรียมผิวให้เกิดเป็นร่องนี้ พื้นที่ผิวที่เกิดขึ้นใหม่ จะคิดพื้นที่ผิวลาดเอียงทั้ง 2 ด้านของผนังร่อง รวมกับพื้นที่ผิวราบที่ไม่ได้ถูกกัดด้วยสารละลาย ถ้าความยาวของร่องเป็น L , ความกว้างของร่องเป็น W , จำนวนร่องต่อหน่วยพื้นที่เป็น D และความกว้างของระยะราบเรียบเป็น F ดังรูปที่ 3.23 จะได้ค่าพื้นที่ผิวประสิทธิผล (A_{EFF}) ดังนี้

$$A_{EFF} = D \cdot L \cdot [W / \cos(54.75^\circ) + F] \quad (3.1)$$

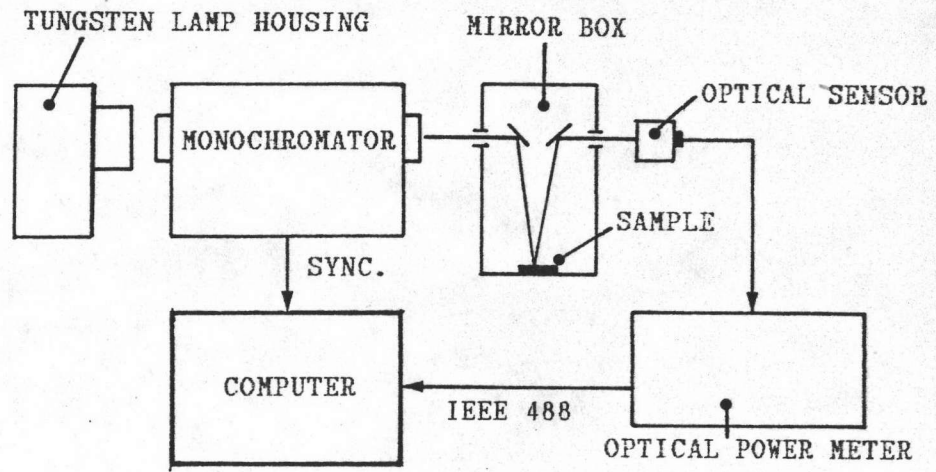
และถ้าเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวแบบราบเรียบปกติ จะได้ค่าการเพิ่มของพื้นที่ผิวดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \% \text{ ของการเพิ่มพื้นที่} &= A_{\text{Eff}} / [(W+F) \cdot L \cdot D] \\ &= [W / \cos(54.75^\circ) + F] / (W+F) \quad (3.2) \end{aligned}$$

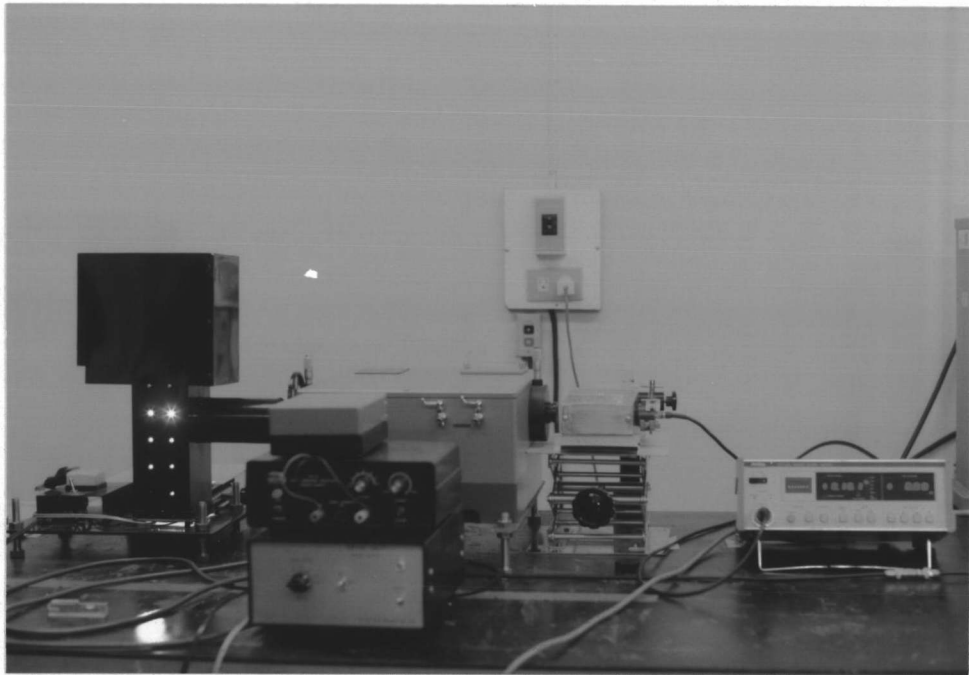
จะเห็นว่าถ้าหากให้ค่า $F = 0$ นั่นคือ เมื่อขอบของร่องชิดกับขอบของร่องต่อไปจะทำให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของพื้นที่ผิวเป็น $1/\cos(54.75^\circ)$ เท่ากับ 1.73 หรือ 173% เป็นค่าสูงสุดในการเพิ่มพื้นที่ผิว โดยไม่ขึ้นกับขนาดของร่องหรือความหนาแน่นของร่องเลย

ระบบการวัดค่าการสะท้อนแสง แสดงในรูป 3.25 ประกอบด้วย

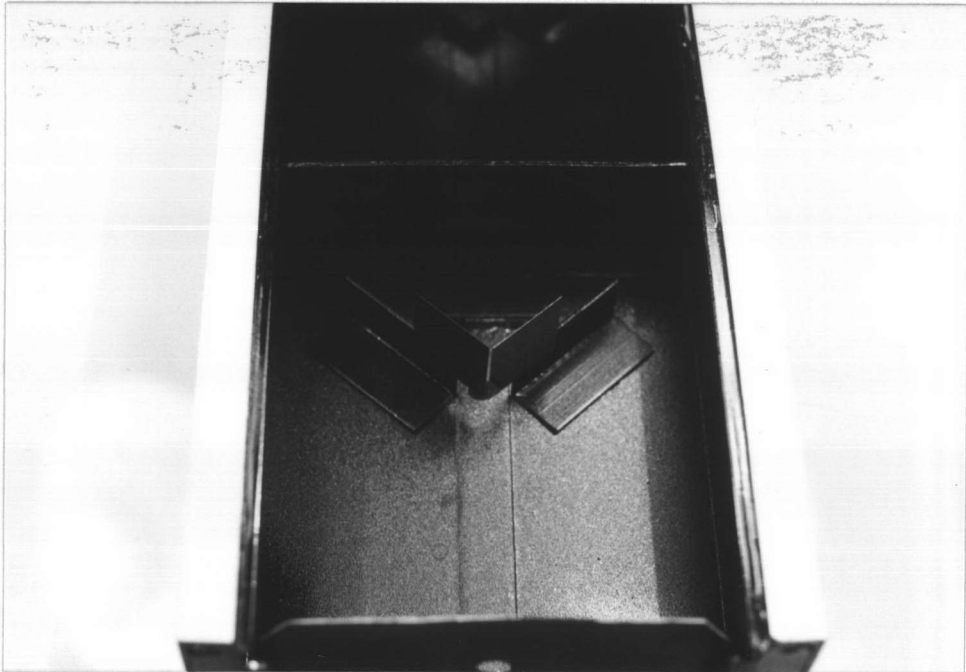
1. ชุดหลอดไฟทั้งสแตน และระบบเลนส์ควมแสงให้เป็นลำขนาน
2. ระบบ Monochromator ประกอบด้วยชุดควบคุม และชุดแยกแสงออกเป็นแต่ละความยาวคลื่น สามารถแยกคลื่นแสงในช่วง 400 ถึง 800 นาโนเมตร (nm)
3. Mirror Box กล่องนี้ภายในเป็นกระจกที่ฉาบด้วยโลหะอลูมิเนียม เพื่อให้สะท้อนแสงได้ดี แสงที่ผ่านเข้ามาทางช่องแสงเข้า จะสะท้อนกระจกแผ่นแรกตกกระทบผิวผลึกที่ต้องการวัดค่าการสะท้อนแสง ในมุมเกือบตั้งฉาก แสงที่สะท้อนจากผิวผลึกจะถูกสะท้อนด้วยกระจกอีกบานหนึ่ง ออกจากกล่องทางช่องแสงออก
4. Optical Power Meter เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถวัด ค่าพลังงานของแสงที่ตกกระทบหน้าต่างรับแสงของ Optical Sensor ซึ่งทำหน้าที่เป็นหัววัด Optical Power Meter ที่ใช้เป็นของ Anritsu รุ่น ML93B มีความสามารถในการวัดค่าพลังงานแสงได้ละเอียดในระดับ 0.001 dB และยังสามารถแสดงค่าออกมาในหน่วย Watt ได้อีกด้วย ส่วน Optical Sensor ที่ใช้เป็นรุ่น MA97B มีผลตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงในช่วง 380 ถึง 1150 nm.
5. ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม OPTIC.BAS ใช้ทำหน้าที่เก็บข้อมูลค่าพลังงานแสงที่อ่านได้จาก Optical Power Meter ผ่านทางพอร์ตสื่อสารแบบมาตรฐาน IEEE 488 ระบบการวัดค่าการสะท้อนแสงนี้ จะเป็นการวัดในแบบอัตโนมัติ โดยมีการตัดแปลงเพิ่มเติมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้มีการทำงานสัมพันธ์กันระหว่าง Monochromator, Optical Power Meter และไมโครคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.24 การวัดค่าการสะท้อนแสง



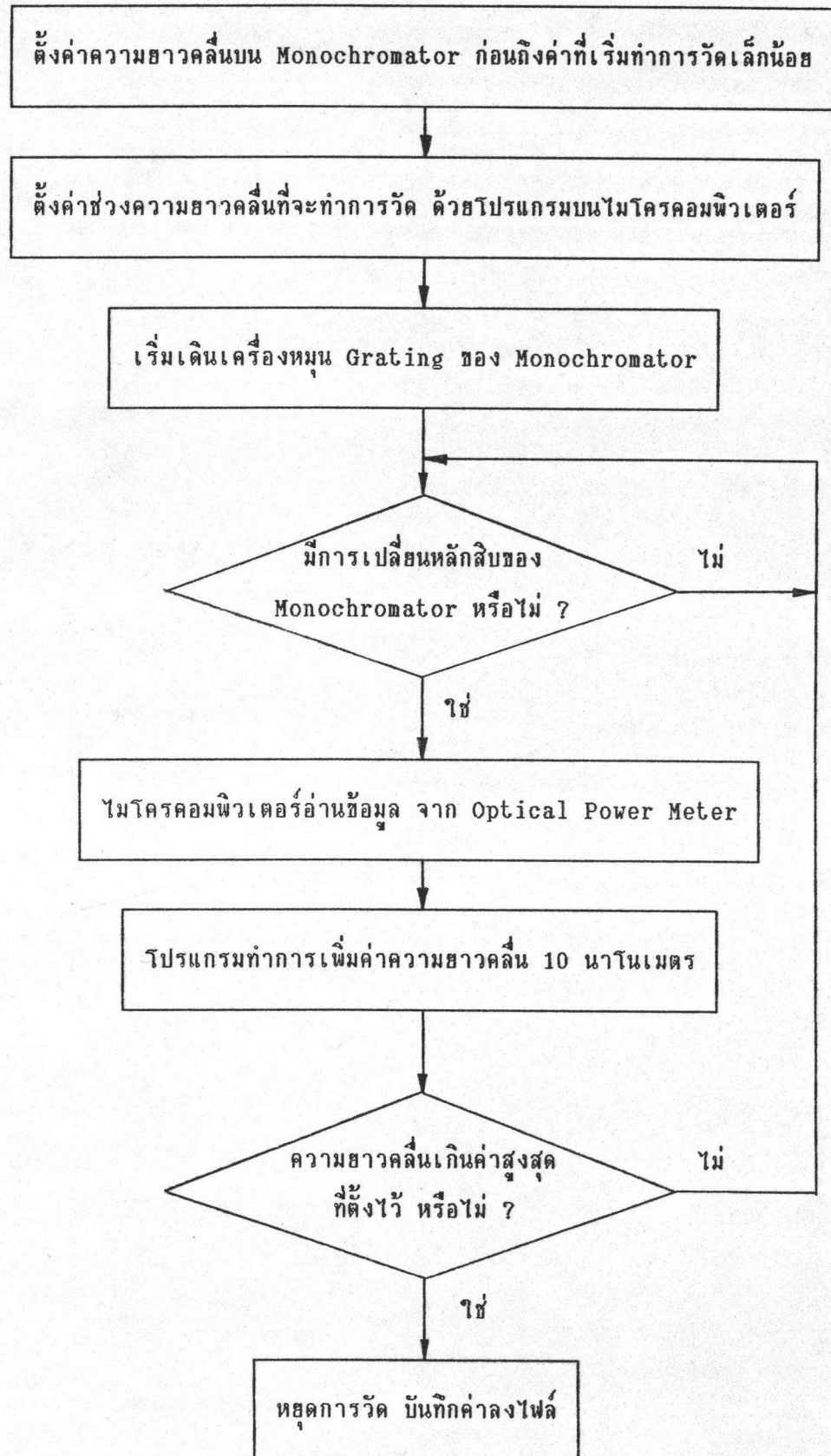
รูปที่ 3.25 ภาพของระบบการวัดค่าการสะท้อนแสง



รูปที่ 3.26 ภายใน Mirror Box



รูปที่ 3.27 Optical Power Meter และ Optical Sensor



รูปที่ 3.28 Flow chart แสดงการวัดค่าการสะท้อนแสง

การที่ไมโครคอมพิวเตอร์ จะสามารถรับรู้ว่าการเปลี่ยนค่าในหลักสิบของ Monochromator นั้น ทำได้โดยอาศัยสัญญาณ Marker ที่ออกมาจากระบบ Monochromator ที่มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ ประมาณ 0.25 volt ทุก ๆ การเพิ่มค่าหลักสิบ จึงได้ทำการสร้าง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีความสามารถตรวจจับพัลส์นี้ ดังวงจรในรูปที่ 3.29 วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณพัลส์ ที่ได้รับมาให้เป็นสัญญาณการลัดวงจรหน้าสัมผัสของรีเลย์ ซึ่งมีการต่อสายสัญญาณไปยังคีย์บอร์ดของไมโครคอมพิวเตอร์ที่ปุ่ม ENTER เมื่อวงจรนี้ได้รับสัญญาณพัลส์ ก็จะทำการลัดวงจรหน้าสัมผัสรีเลย์ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เสมือนเป็นการกดปุ่ม ENTER ระบบโปรแกรมบนไมโครคอมพิวเตอร์ก็จะทราบได้ทันทีว่า ถึงกำหนดที่จะต้องทำการอ่านข้อมูลจาก Optical Power Meter แล้ว

ข้อมูลที่อ่านได้จะถูกบันทึกลงไฟล์ เพื่อนำไปทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปอื่น ๆ เช่น LOTUS ใช้สำหรับคำนวณข้อมูล และ Graph in the box ซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยในการแสดงภาพข้อมูลในรูปของกราฟ ซึ่งภาพกราฟข้อมูลการวัด ที่ได้แสดงไว้ในงานวิจัยนี้เป็นภาพที่สร้างจากโปรแกรมนี้

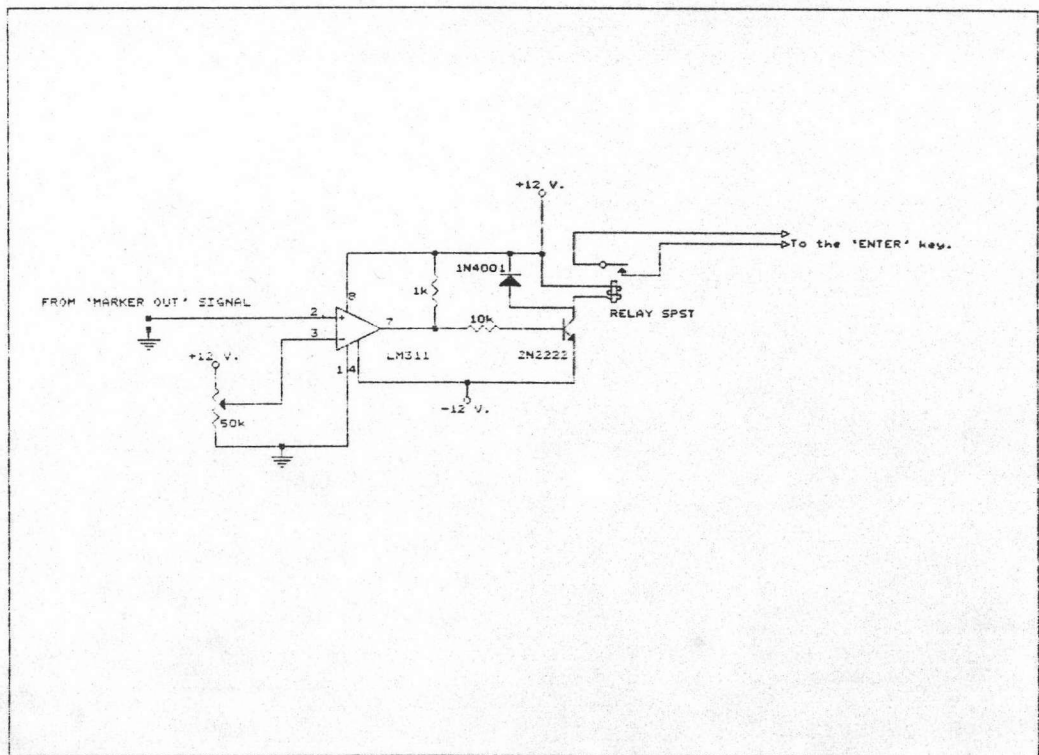
ขั้นตอนการวัดค่าการสะท้อนแสงมีดังต่อไปนี้

1. เปิด Power Supply ของหลอดทั้งสแตน ปรับค่ากระแสและแรงดันเป็น 6 แอมแปร์และ 20 โวลท์ ตามลำดับ
2. ติดแผ่นพลิกที่จะทำการวัดบนแผ่นยึดด้วยน้ำสะอาดเล็กน้อย นำไปติดตั้งใน Mirror Box
3. สวิตช์ควบคุมบน Driver Unit ของ Monochromator อยู่ที่ตำแหน่ง OFF ปรับตั้งค่าความยาวคลื่นบน Monochromator ไปที่ประมาณ 395 นาโนเมตร
4. ป้อนข้อมูลช่วงความยาวคลื่น ที่จะทำการวัดลงในไมโครคอมพิวเตอร์ ดังนี้

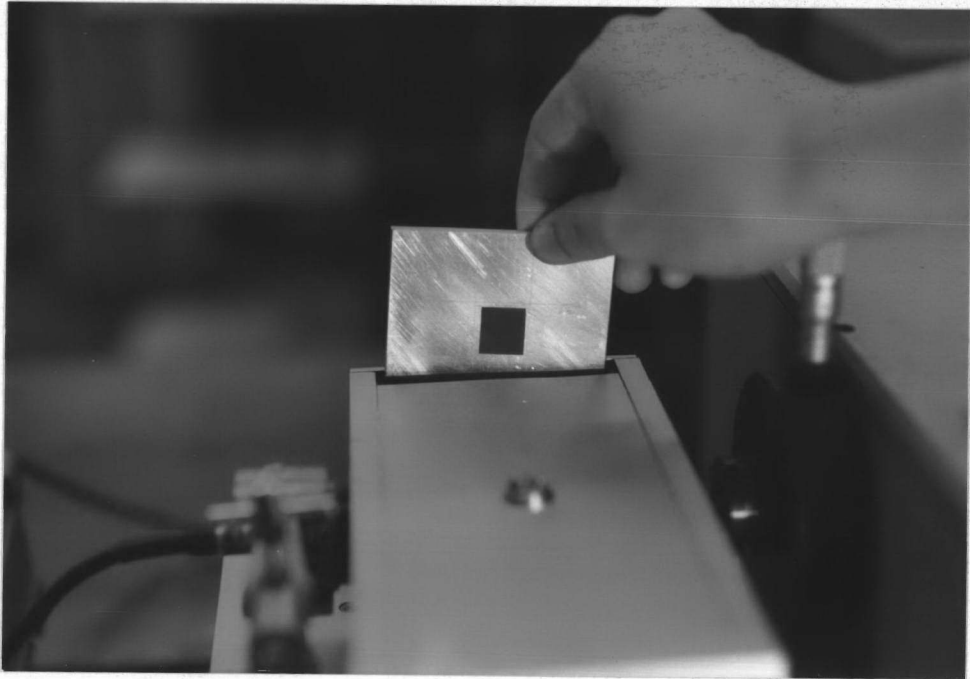
Start Wavelength : 400

Stop Wavelength : 800
5. เริ่มเดินเครื่อง Monochromator โดยสวิตช์ควบคุมบน Driver Unit ไปที่ตำแหน่ง FOR (FORWARD)
6. เมื่อค่าความยาวคลื่นที่แสดงบน Monochromator เริ่มเปลี่ยนเป็น 400 นาโนเมตร จะมีสัญญาณบอกให้ไมโครคอมพิวเตอร์ เริ่มทำการอ่านข้อมูลจาก Optical Power Meter

7. จากนั้นในทุก ๆ การเพิ่มความยาวคลื่น 10 นาโนเมตร คอมพิวเตอร์จะอ่านค่าจาก Optical Power Meter โดยโปรแกรมจะทำการเพิ่มค่าความยาวคลื่นตามไปด้วย
8. เมื่อโปรแกรมทำการอ่านข้อมูลจนถึงค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ตั้งไว้ คือ 800 นาโนเมตร ก็จะบอกให้ทราบด้วยเสียงเตือน
9. โยกสวิตช์ควบคุม Monochromator มาที่ตำแหน่ง OFF
10. สั่งให้โปรแกรมทำการบันทึกข้อมูลเพื่อจะนำไปประมวลผลต่อไป

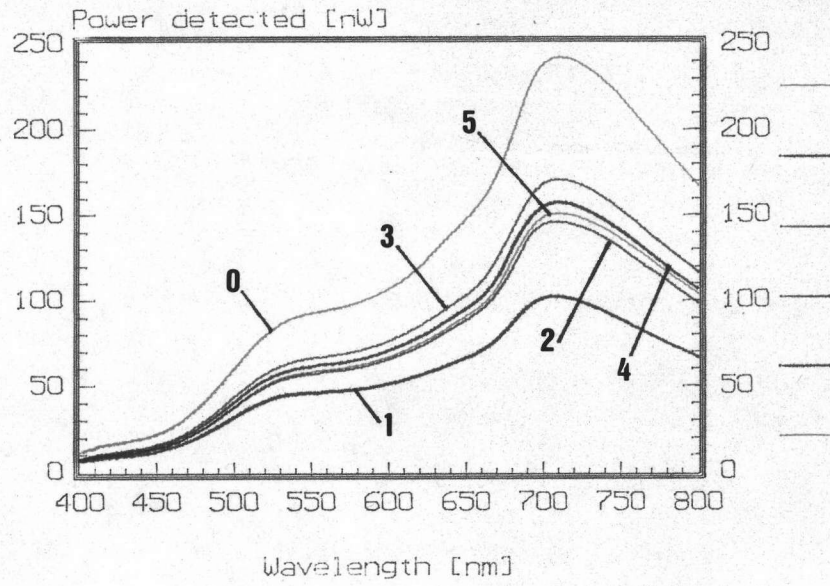


รูปที่ 3.29 วงจรแปลงสัญญาณ Marker

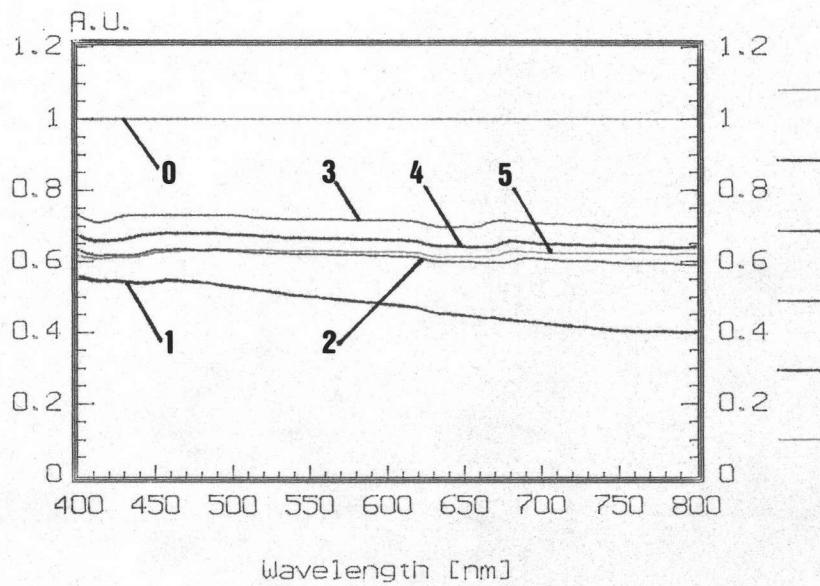


รูปที่ 3.30 ภาพผลึกซิลิคอนบนแผ่นยึด เตรียมติดตั้งใน Mirror Box

กราฟข้อมูลในรูปที่ 3.31 เป็นผลการวัดจริงที่ทำการบันทึกลงไฟล์ จุดประสงค์ของการวัดค่าการสะท้อนแสงนี้ เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสง ระหว่างผิวซิลิคอนแบบเรียบ (หมายเลข 0) กับผิวแบบมีร่อง (หมายเลข 1 ถึง 5) ดังนั้นจึงทำการ normalize ข้อมูลเหล่านี้ โดยปรับให้ข้อมูลการสะท้อนจากผิวเรียบมีค่าเป็น 1 ตลอดช่วง ส่วนการ normalize ข้อมูลการสะท้อนของผิวแบบร่องทำได้โดยนำข้อมูลดิบ แต่ละความยาวคลื่นมาหารด้วยข้อมูลดิบของการสะท้อนจากผิวเรียบ ที่ความยาวคลื่นเดียวกัน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการ normalize เรียบร้อยแล้วไปสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 3.32



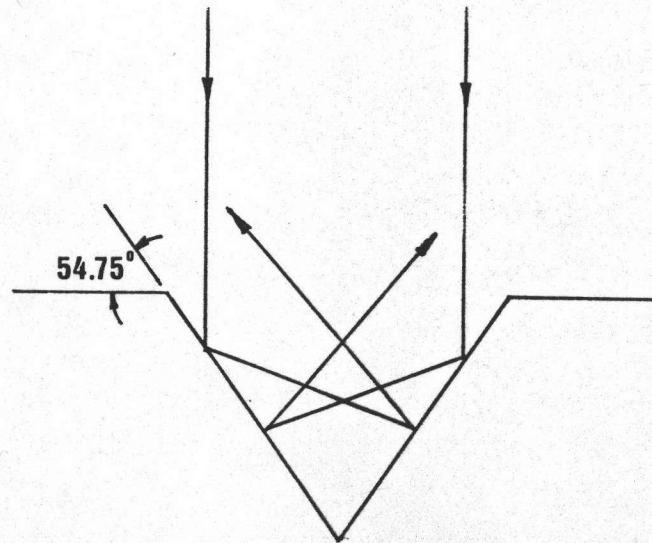
รูปที่ 3.31 กราฟข้อมูลจากการวัดค่าการสะท้อนแสงจากผิวชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 3.32 กราฟการสะท้อนเปรียบเทียบที่ทำการ normalize แล้ว

จากรูปกราฟเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสง พบว่าผิวแบบร่องมีคุณสมบัติในการดักแสง
 สิ่งเกิดได้จากค่าการสะท้อนแสงที่ต่ำลงจากผิวแบบเรียบ (หมายเลข 0) โดยผิวแบบร่อง
 หมายเลข 1 จะมีค่าการสะท้อนแสงต่ำที่สุดตลอดช่วงความยาวคลื่นแสงที่วัด และค่าการ
 สะท้อนแสงจะเพิ่มขึ้นจนถึงผิวแบบร่องหมายเลข 3 จากนั้นผิวแบบร่องหมายเลข 4 และ 5
 ก็จะมีค่าการสะท้อนแสงลดลงไปอีก

ในการจัดเครื่องมือวัดการสะท้อนแสงนี้อาจไม่ใช่วิธีที่สมบูรณ์ที่สุดในการวัด เพราะ
 ตำแหน่ง Optical Sensor ที่ตรวจจับแสงสะท้อนนั้นทำการตรวจจับในมุมแคบๆ เพียงมุมเดียว
 ซึ่งแสงสะท้อนจากผิวแบบร่อง จะมีมุมของแสงที่สะท้อนออกมาในลักษณะกว้างมาก ดังรูปที่ 3.33
 แต่การวัดลักษณะนี้ก็สามารถที่จะตรวจสอบ การมีคุณสมบัติดักแสงของผิวแบบร่องได้



รูปที่ 3.33 ภาพจำลองลักษณะการสะท้อนแสงของผิวแบบร่อง