หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ ๔.

การทดสอบคุณภาพของชั้น SiO_2

ในบทนี้จะกล่าวถึง การตรวจสอบคุณภาพของชั้น SiO_2 ที่ทำขึ้นเพื่อใช้งานโดยเน้นถึงคุณภาพในการใช้เป็น mask ป้องกันการแพร่ซึมสารเจือปน และความคงทนในการใช้เป็นชั้นฉนวน โดยแยกกล่าวตามลำดับดังต่อไปนี้

การทดสอบคุณสมบัติการเป็น mask ป้องกันการแพร่ซึมสารเจือปน

การทำชั้น SiO_2 เพื่อใช้เป็น mask โดยทั่วไปใช้วิธี Oxidation อุณหภูมิสูงภายใต้บรรยากาศของ O_2 หรือ $O_2 + H_2O$ ในเตา Oxidation การทำชั้น SiO_2 ทั้งสองวิธีนี้ได้ชั้น SiO_2 ที่มีรูพรุนมากน้อยต่างกัน คุณสมบัติในการเป็น mask จึงต่างกันอยู่บ้าง

การทดสอบต่อไปนี้ เป็นการหาความหนาที่เหมาะสมในการใช้ชั้น SiO_2 เป็น mask ป้องกันการแพร่ซึม B และ P และเปรียบเทียบคุณสมบัตินี้ระหว่างชั้นที่ทำด้วย O_2 แห้งและ $O_2 + H_2O$

การทดสอบอาจแยกตามวิธีการได้ ๒ วิธี คือ

๑. กำหนดเวลาที่ใช้แพร่ซึมสารเจือปนคงที่ ลงบนแว่นผลึกที่เคลือบด้วยชั้น SiO_2 หนาต่าง ๆ กัน วิธีนี้สิ้นเปลืองมาก เพราะต้องใช้เวลาในการทำชั้น SiO_2 นาน และชั้น SiO_2 ที่ได้ไม่สามารถวัดความหนาได้โดยละเอียดถูกต้อง เนื่องจากเครื่องวัดที่สร้างขึ้นสามารถวัดชั้น SiO_2 ที่หนาอยู่ในช่วงที่ใช้เป็น mask นี้ได้ละเอียดเพียงบางช่วงเท่านั้น

๒. กำหนดความหนาของชั้น SiO_2 คงที่ แล้วเปลี่ยนเวลาในการแพร่ซึมสารเจือปนไป วิธีนี้สิ้นเปลืองน้อยกว่าวิธีที่ ๑. เพราะการแพร่ซึม B และ P ใช้เวลาน้อยกว่าการทำ Oxidation มาก นอกจากนี้ยังสามารถเลือกชั้น SiO_2 ที่หนาอยู่ในช่วงที่เครื่องวัด ๆ ได้โดยละเอียดอีก

ด้วย ดังนั้นจึงเลือกวิธีที่ ๒ ใช้ทดสอบ

ขั้นตอนในการทดสอบ แบ่งได้ดังต่อไปนี้

<u>ทำชั้น SiO_2 ให้มีขนาดที่ต้องการ</u> โดยให้ชั้น SiO_2 ที่ทำขึ้นนี้หนาอยู่ในช่วงที่เครื่องวัดวัดได้ละเอียด และอยู่ในช่วงที่ใช้ทำ mask โดยทั่วไปด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวนี้สามารถเลือกความหนาของชั้น SiO_2 ที่จะใช้ทดสอบคือ

ชั้น SiO_2 หนาประมาณ	.11 μm.	มีสี	น้ำเงิน
" " "	.23 μm.	""	เหลืองทอง
" " "	.35 μm.	""	เขียวเหลือง

การทำชั้น SiO_2 ให้มีความหนาตามต้องการนี้อาศัย Oxidation Chart เข้าช่วยประมาณเวลาที่ใช้ทำ Oxidation ได้

แว่นผลึกที่ใช้ในการทดสอบนี้ขนาดประมาณ 1 x 1 cm. โดยใช้ทั้งชนิด N และชนิด P

<u>การแพร่ซึมสารเจือปนและการตรวจสอบ</u> การแพร่ซึมสารเจือปนแยกได้ ๒ ประเภทคือ

แพร่ซึม B ใช้ BN ที่อุณหภูมิ 1100°C

แพร่ซึม P ใช้ $POCL_3 + N_2$ ที่อุณหภูมิ 1050°C

หลังการแพร่ซึมแต่ละครั้งต้องทำการตรวจสอบว่าสารเจือปนซึมทะลุชั้น SiO_2 หรือไม่เพื่อกำหนดเวลาในการแพร่ซึมของแว่นผลึกตัวต่อไปให้เหมาะสม การตรวจสอบทำได้โดยขัดแว่นผลึกที่แพร่ซึมสารเจือปนแล้วขัดเป็นร่อง เพื่อกัดด้วย HF + HNO_3* 1-2 หยด ซึ่งจะแสดงชั้นที่สารเจือปนซึมลงไปถึงเป็นแนวสีเข้มสังเกตุได้ด้วยกล้องจุลทัศน์

*HF 50%, HNO_3 100%

จากการทดสอบตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น ได้ผลดังต่อไปนี้

ชนิดสารเจือปน	ความหนาขั้น SiO_2 (um.)	วิธีการสร้างขั้น SiO_2	เวลาที่สารเจือปนซึมลงถึงเนื้อ Si (min.)
B	. 11	Dry O_2	25 - 30
	. 23	" "	30 - 40
	. 11	$O_2 + H_2O$	30 - 37
	. 23	" "	30 - 45
P	. 11	Dry O_2	4 - 8
	. 23	" "	13 - 16
	. 11	$O_2 + H_2O$	4 - 8
	. 23	" "	13 - 16
	. 35	" "	39 - 45

รูปแว่นผลึกแสดงไว้ในรูปที่ ๔.๑

จากรูป ๔.๑ เมื่อสังเกตุความแตกต่างระหว่างขั้น SiO_2 ที่สร้างจาก O_2 แห้งและ $O_2 + H_2O$ ปรากฏว่าชนิดหลังทนการแพร่ซึมสารเจือปนได้ดีกว่า โดยสังเกตุจากเวลาที่ใช้แพร่-ซึมสารเจือปน และร่องรอยของสารเจือปนในเนื้อ Si แต่ความแตกต่างนี้ลดลงเมื่อ mask หนามากขึ้น

จากข้อมูลที่ได้นี้สามารถเขียนกราฟของความหนาขั้น SiO_2 ที่ใช้ทำ mask กับเวลาในการแพร่ซึมได้ดังรูป ๔.๒ ข้อมูลนี้ใช้ประโยชน์ได้โดยตรงในการสร้างขั้น SiO_2 เพื่อใช้เป็น mask ป้องกันการแพร่ซึมสารเจือปน

P Diffusion

ชั้น SiO_2 หนา = .119 μm.
ทำด้วย O_2 แห้ง เวลา*8 min.

ชั้น SiO_2 หนา = .118 μm.
ทำด้วย O_2 แห้ง เวลา*4 min.

ชั้น SiO_2 หนา = .121 μm.
ทำด้วย $O_2 + H_2O$ เวลา* 8 min.

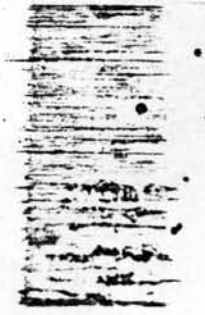
ชั้น SiO_2 หนา = .120 μm.
ทำด้วย $O_2 + H_2O$ เวลา* 4 min.

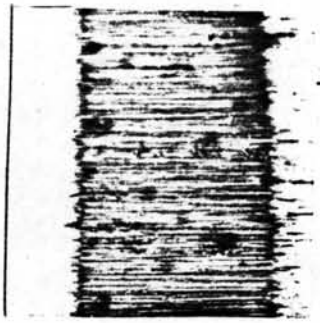
ชั้น SiO_2 หนา = .241 μm.
ทำด้วย O_2 แห้ง เวลา* 16 min.

ชั้น SiO_2 หนา = .236 μm.
ทำด้วย O_2 แห้ง เวลา*13 min.

ชั้น SiO_2 หนา = .234 μm.
ทำด้วย $O_2 + H_2O$ เวลา* 16 min.

ชั้น SiO_2 หนา = .240 μm.
ทำด้วย $O_2 + H_2O$ เวลา* 13 min.



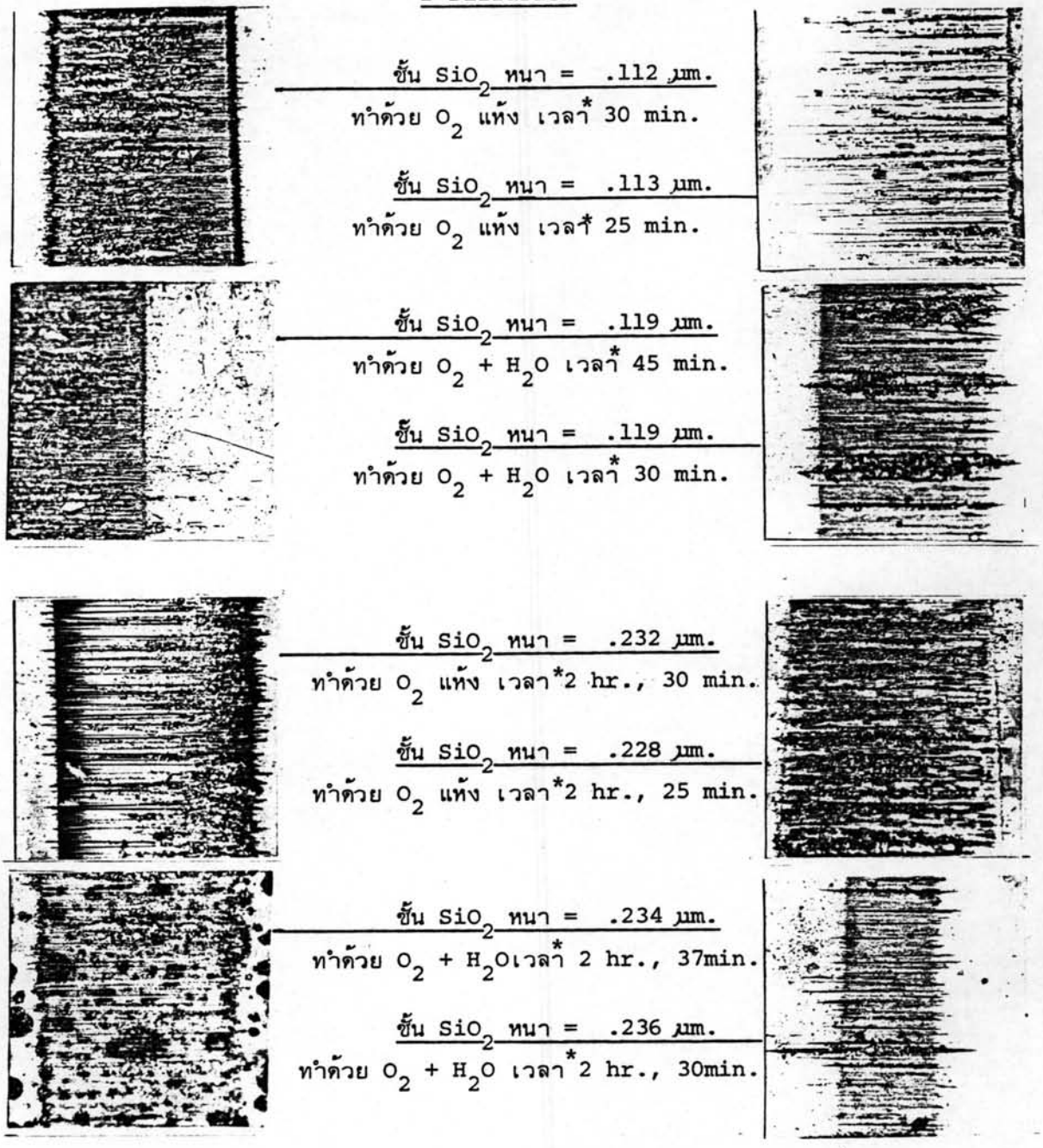


ชั้น SiO_2 หนา = .362 μm.
ทำด้วย $O_2 + H_2O$ เวลา* 45 min.

ชั้น SiO_2 หนา = .362 μm.
ทำด้วย $O_2 + H_2O$ เวลา* 49 min.

รูปที่ ๔.๑ (ก)

B Diffusion

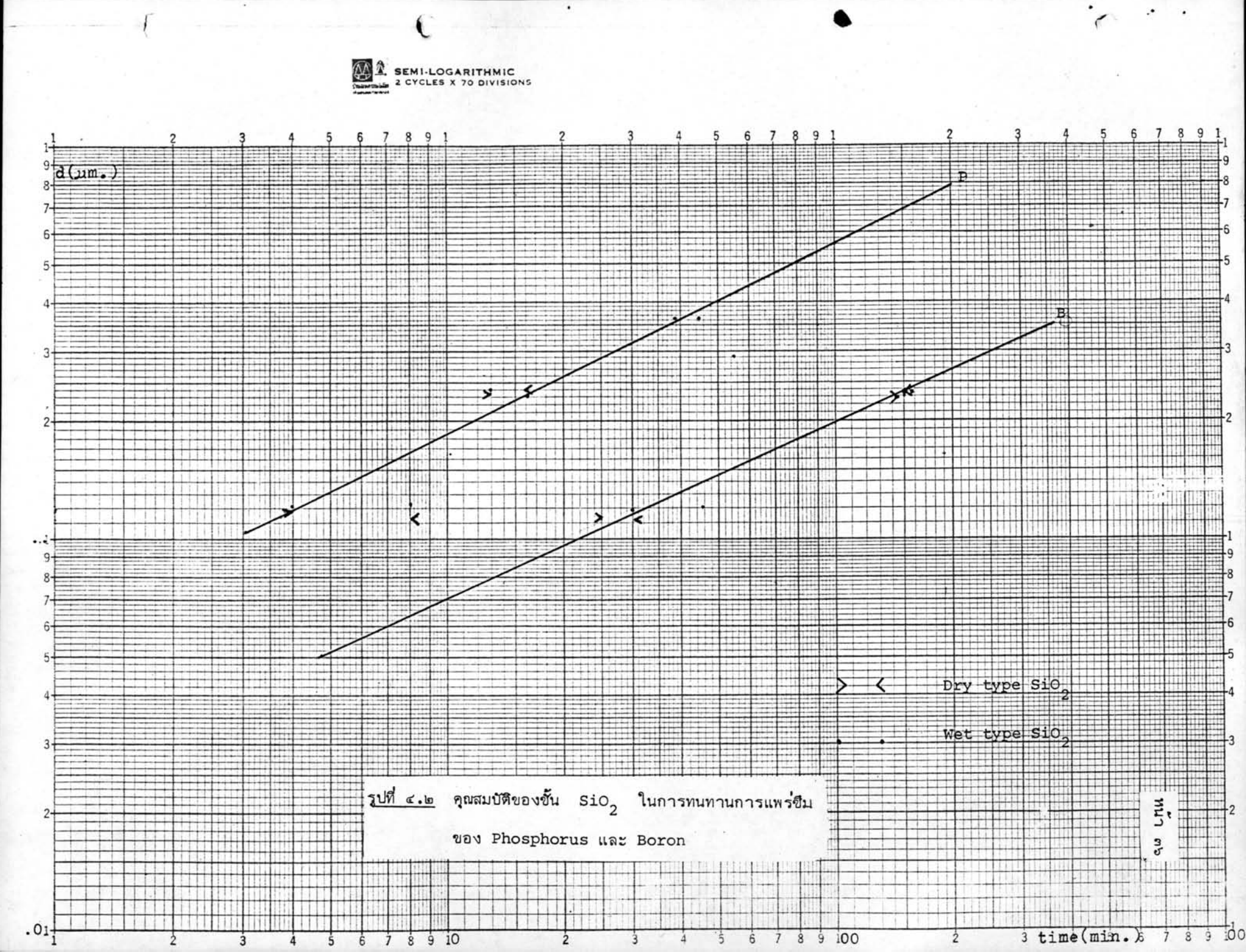


รูปที่ ๔.๑ (ข)

ภาพถ่ายแว่นผลึกที่ใช้ทดสอบ masking properties

*เวลาที่กล่าวถึงในรูปนี้หมายถึงเวลาในการแพร่ซึมสารเจือปน

แถวซ้ายเป็นแว่นผลึกที่สารเจือปนซึมเข้าถึง ส่วนแถวขวาสารเจือปนยังซึมไม่ถึง



รูปที่ ๔.๒ คุณสมบัติของชั้น SiO_2 ในการทนทานการแพร่ซึม
ของ Phosphorus และ Boron

การทดสอบความคงทนในการใช้ชั้น SiO_2 เป็นฉนวน

ประโยชน์ในทางปฏิบัติของชั้น SiO_2 ข้อหนึ่งคือใช้เป็นชั้นฉนวน การทดสอบนี้ทำขึ้น เพื่อหาค่าความคงทนในการเป็นฉนวนของชั้น SiO_2 ที่สร้างขึ้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

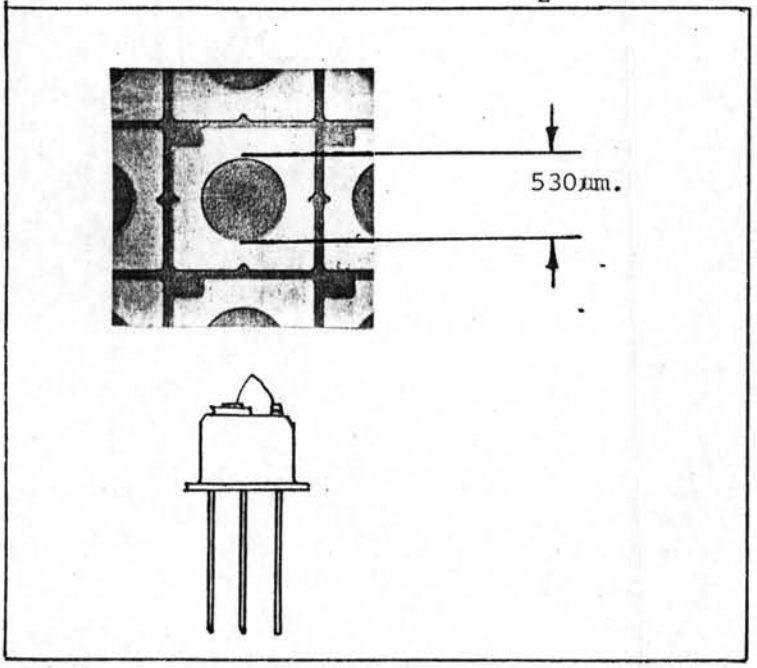
การเตรียมแว่นผลึก แว่นผลึกที่จะใช้ทดสอบต้องผ่านขั้นตอนต่าง ๆ คือ

๑. ทำชั้น SiO_2 ในกรณีนี้เลือกความหนาของชั้น SiO_2 0.2 μm. และ 1 μm. สร้างด้วย O_2แห้ง และ $O_2 + H_2O$ ตามลำดับ

๒. ฉาบผิว SiO_2 ด้วยโลหะ Al หนาประมาณ 6000°A เพื่อใช้ทำขั้วไฟฟ้าจากนั้นผ่านขั้นตอนกัดผิว Al ที่ไม่ต้องการทิ้งเหลือพื้นที่ขั้วโลหะเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 530 μm. ตลอดแว่นผลึก

๓. ตัดแว่นผลึกเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วเชื่อม แต่ละชิ้นลงบนแท่นแล้วต่อขั้วสายแว่นผลึกสำเร็จที่พร้อมจะใช้วัดมีลักษณะดังรูป ๔.๓

การวัดหาค่าความคงทนในการใช้เป็นฉนวน ทำได้โดยให้ศักดาระหว่างขั้วโลหะกับชั้นฐาน แล้วเพิ่มศักดาขึ้นช้า ๆ จนชั้น SiO_2 เสียคุณสมบัติในการเป็นฉนวน (Break down)



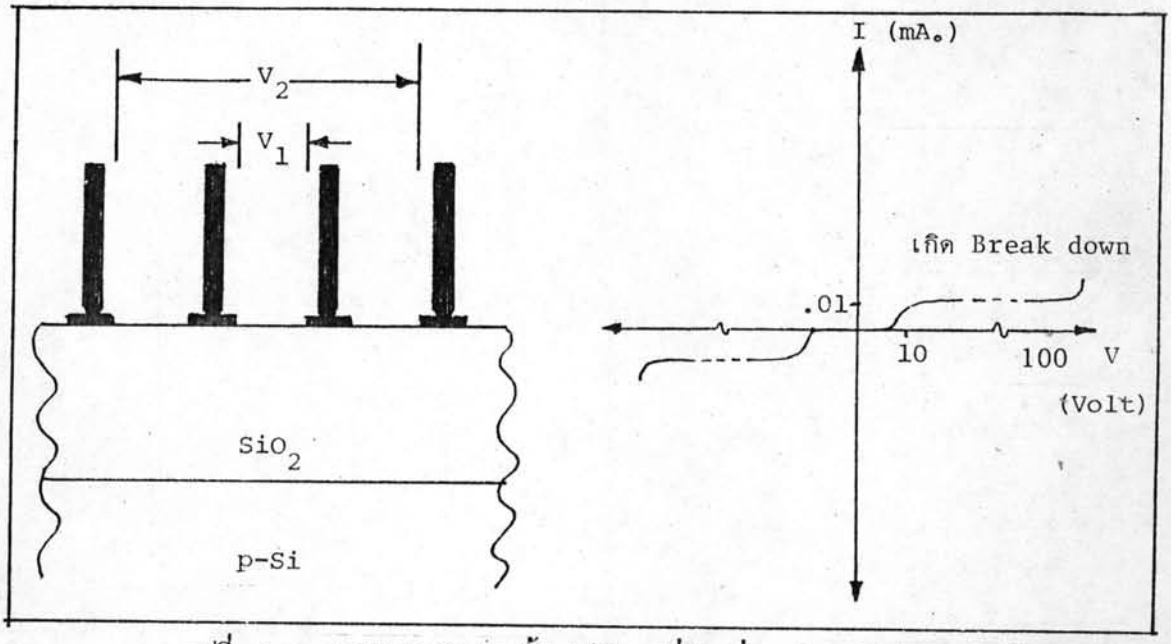
รูปที่ ๔.๓

รูปแว่นผลึกสำเร็จ ๑ ชิ้นและการติดตั้งบนหัวต่อ เพื่อใช้วัด Dielectric Break down voltage

ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

- ชั้น SiO_2 ที่เตรียมด้วย $O_2 + H_2O$ มีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดีจากการทดสอบพบว่ามีค่าความคงทนในการเป็นฉนวน (Dielectric Strength) ประมาณ 400 Volt/μm.

- ชั้น SiO_2 ที่เตรียมจาก O_2 แห้ง ซึ่งหนา 0.2 μm. ไม่แสดงคุณสมบัติฉนวน และจากการทดสอบทางแนวระดับ ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ ๔.๔ ปรากฏว่าพบ Break down ๒ ครั้ง ที่ค่าศักดาต่ำ ๆ และที่ศักดา 100-150 V.



รูปที่ ๔.๔ แสดงการทดสอบชั้น SiO_2 เพื่อหาค่า Break down voltage ในแนวระดับ

ค่า Break down ดังกล่าวนี้ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางระหว่างขั้วไฟฟ้าตามแนวระดับ จึงสรุปได้ว่า การ Break down ที่ศักดาต่ำเป็นการ Break down ของชั้น SiO_2 ที่มีคุณภาพต่ำ ส่วน Break down ที่ศักดาสูง อาจเป็นคุณสมบัติระหว่างขั้วโลหะกับขั้วฐานแบบ P ซึ่งเป็น Rectifying contact การเกิดปรากฏการณ์นี้เป็นการเกิดระหว่างชั้นโลหะกับชั้นฐานชนิด P ในแนวดิ่ง

จากข้อสรุปดังกล่าวแสดงว่าชั้น SiO_2 ที่ทำขึ้นโดยใช้ O_2 แห้งนี้ ไม่สามารถนำไปใช้เป็นชั้นฉนวนได้ ส่วนชั้นที่เตรียมด้วย $O_2 + H_2O$ สามารถนำไปใช้เป็นชั้นฉนวนได้ดี

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทสรุป

ชั้น SiO_2 มีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เพราะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นหน้ากากป้องกันการแพร่ซึมสารเจือปน ใช้ป้องกันผิวหน้าสิ่งประดิษฐ์ และใช้เป็นชั้นฉนวนโดยทั่วไป

ชั้น SiO_2 ที่ทำได้ในห้องปฏิบัติการใช้ขบวนการ Oxidation ภายใต้บรรยากาศของ O_2 แห้ง หรือ $O_2 + H_2O$ อุณหภูมิ ๔๐๐°C - ๑๒๐๐°C ชั้น SiO_2 ที่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์นี้ทำจากขบวนการดังกล่าวทั้งสิ้น

การวัดความหนาชั้น SiO_2 โดยทั่วไป มีหลายวิธี แต่วิธีที่เลือกศึกษาคือวิธี VAMFO (Variable Angle Monochromatic Fringe Observation Method) วิธีนี้อาศัยปรากฏการณ์เสริมกันหรือหักล้างกัน ของคลื่นแสงที่สะท้อนที่ผิวล่างและผิวบนของชั้น SiO_2 จากค่ามุมตกกระทบที่ความเข้มแสงสะท้อนต่ำสุดหรือสูงสุด สามารถคำนวณความหนาของชั้น SiO_2 นั้นได้

เครื่องวัดความหนาที่สร้างขึ้นนั้น มีส่วนรับแสงสะท้อนจากแว่นผลึก ซึ่งหมุนตามลำแสงสะท้อนตลอดเวลา ทำให้อ่านค่าความเข้มแสงสะท้อนนั้นได้ต่อเนื่อง จึงสังเกตุความเข้มสูงสุดและต่ำสุดได้ชัดเจน ส่วนแหล่งกำเนิดแสงใช้ He-Ne Laser ซึ่งมีความยาวคลื่น 6328°A

ในการออกแบบกำหนดให้สามารถเปลี่ยนมุมตกกระทบได้ในช่วง 0°-60° เพราะเมื่อมุมตกกระทบมากกว่าBrewster angleแล้ว parallel component ของแสงที่สะท้อนกลับออกจากแว่นผลึกจะเปลี่ยน phase ไป180°แล้วรบกวนการสังเกตุ fringeแม้จะใช้ Polarizer ตัด parallel component ออก ผลการวัดก็ไม่ดีขึ้น เพราะแสงสะท้อนกลับที่ผิวบนเป็นส่วนใหญ่จึงสังเกตุ fringe ไม่ได้เช่นกัน

เครื่องมือนี้สามารถให้ความแม่นยำถึง ๐.๐๑ μ m. ในกรณีที่ชั้น SiO_2 หนามากกว่า ๐.๕๔ μ m. ขึ้นไป ส่วนชั้น SiO_2 ที่บางมากนั้นจะวัดได้ละเอียดเพียงบางช่วงความหนา ช่วง

ความหนาที่ไม่สามารถวัดด้วยเครื่องมือนี้ ต้องอาศัยการสังเกตุสี และ Oxidation chart ประกอบ ซึ่งแม่นยำน้อยกว่า จุดบอดของเครื่องมือดังกล่าวเกิดจากลำแสงที่ใช้มีความยาวคลื่นมากเกินไป การปรับปรุงเครื่องวัดให้ดีขึ้นอาจทำได้โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าเข้าประกอบด้วยจะทำให้ช่วงที่สามารถวัดความหนาได้ละเอียด มีมากขึ้นหรือกว้างขึ้น

เครื่องวัดที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้ได้ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติการเป็น mask ของชั้น SiO_2 พบว่าชั้น SiO_2 ที่ทำด้วย $O_2 + H_2O$ มีความคงทนในการเป็น mask ได้ดีกว่าชั้น SiO_2 ที่ทำด้วย O_2 แห้ง ในกรณีที่ mask มีขนาดบาง ส่วน mask หนา ๆ จะสังเกตุความแตกต่างนี้ไม่ออก จากการศึกษานี้ สามารถหาความหนาชั้น SiO_2 ที่เหมาะจะใช้เป็นหน้ากากป้องกันการแพร่ซึมสารเจือปนได้โดยอาศัยรูปกราฟที่ ๔.๒ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ยังใช้เครื่องวัดความหนาประกอบการศึกษาความคงทนในการเป็นชั้นฉนวนของชั้น SiO_2 พบว่าชั้น SiO_2 ที่ทำด้วย $O_2 + H_2O$ มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่ดีคือ มีค่า Dielectric Strength 380-410 V/μm. เปรียบเทียบกับชั้น SiO_2 ที่ทำด้วยวิธีเดียวกันโดยผ่านขั้นตอนที่ดี ซึ่งมี Dielectric Strength 390-430 V/μm. (8) เห็นได้ว่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงนับเป็นชั้นฉนวนที่ดี ส่วนชั้น SiO_2 ที่ทำจาก O_2 แห้ง หนา 0.2 μm. ไม่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนอันอาจเป็นผลจากขบวนการทำชั้น SiO_2 ดังกล่าวยังไม่สมบูรณ์เพียงพอ