

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ สังกะสี ขนาด $7 \times 7 \times 2$ มม จากบริษัท Imetra² ประเทศสหรัฐอเมริกา ชัดเงาเรียบทั้งสองด้าน ผิวหน้าตั้งฉากกับแกน c คลาดเคลื่อนไม่เกิน 8° โดยตัวอย่างแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ชนิดที่ไม่มีสารเจือหรือเซฟไฟร์สังเคราะห์ และ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่เจือด้วยโครเมียม 1.2 เปอร์เซ็นต์ หรือทับทิมสังเคราะห์ มีสีแดง

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์ผลประกอบไปด้วย

- (i) กล้องจุลทรรศน์แสง (Optical Microscope)
- (ii) เครื่องฝังไอออน (Ion Implanter)
- (iii) เครื่องวัดดัชนีหักเห (Refractometer)
- (iv) Spectrophotometer
- (v) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

3.2 การถ่ายภาพอะลูมิเนียมออกไซด์

ทับทิมและเซฟไฟร์สังเคราะห์ทั้ง 20 ตัวอย่าง ก่อนและหลังการฝังไอออนได้ถูกถ่ายรูป และให้ชื่อเรียกทับทิมสังเคราะห์เป็น R1, R2, R3,...,R10 และเรียกเซฟไฟร์สังเคราะห์เป็น S1, S2, S3,...,S10 ตามลำดับ โดยลักษณะตัวอย่างก่อนการฝังไอออน แสดงดังรูป 3.1

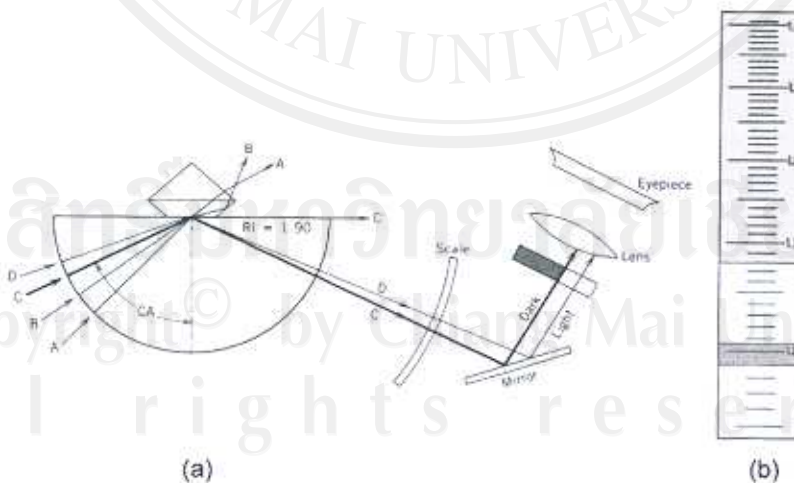
² Imetra Inc., Cross Westchester Executive Park / 200 Clearbrook Road, Elmsford, N.Y. 10523-1396 USA



รูป 3.1 ลักษณะตัวอย่างก่อนการฝังไอออน (ก) ทับทิมสังเคราะห์ (ข) แชนไฟร์สังเคราะห์ กำลังขยาย 16 เท่า

3.3 การวัดดัชนีหักเห

วัดดัชนีหักเหของตัวอย่างทั้ง 20 ชิ้น ก่อนการฝังไอออน หลังการฝังไอออนและหลังการอบ โดยเครื่อง Refractometer ที่ใช้คือ Rayner Illuminated Dialdex refractometer ประเทศอังกฤษ โดยอาศัยหลักการของมุมวิกฤต (critical angle, CA) ส่วนประกอบหลักสำคัญ ได้แก่ แก้วตะกั่ว (lead glass) ซึ่งมีดัชนีหักเหสูงอาจอยู่ในรูปของ ครึ่งวงกลมหรือเป็นปริซึม แหล่งกำเนิดแสงนิยมใช้ sodium light ที่มีแสงสีเหลืองซึ่งมีความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร (Hurlbut et al., 1991) หลักการวัดโดยใช้ critical angle refractometer โดยทั่วไปแสดงดังรูป 3.2



รูป 3.2 (a) แผนภาพของเครื่องวัดดัชนีเห (b) ภาพที่มองเห็นผ่านเลนส์ตา (Klien, 2002) สามารถอ่านค่าดัชนีหักเหได้ 1.72 ซึ่งเป็นดัชนีหักเหของสปีเนล แถบจางๆ ที่ตำแหน่ง 1.81 คือค่าดัชนีหักเหของ contact fluid

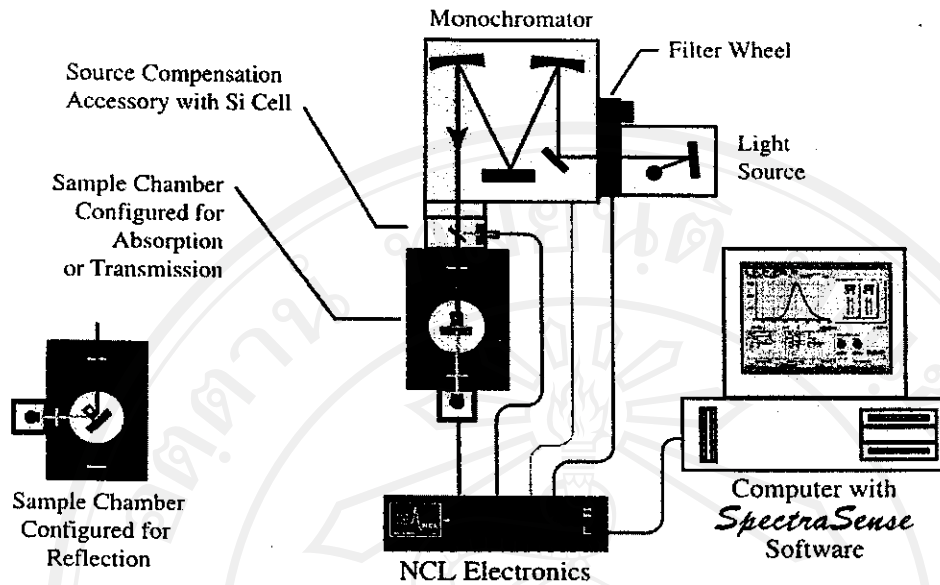
พลอยที่สามารถอ่านค่าดัชนีหักเหได้จะต้องเป็นพลอยที่ขัดเงา (polish) เรียบร้อยแล้ว เครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์สามารถอ่านค่าดัชนีหักเหของแสงในช่วง 1.35-1.81 เท่านั้น หากค่าดัชนีหักเหของแสงในพลอยสูงกว่า 1.81 เรียกว่า "เกินค่าที่อ่านได้" หรือ OTL (Over The Limit) หลักการของเครื่องคือ แสงจากแหล่งกำเนิดที่ตกกระทบกับผิวหน้าชิ้นตัวอย่างด้วยมุมที่น้อยกว่าขนาดของมุมวิกฤต จะทะลุผ่านเข้าไปยังตัวชิ้นงาน แสงตกกระทบที่มีขนาดมากกว่ามุมวิกฤต จะสะท้อนไปยังระบบเลนส์และโฟกัสไปยังเลนส์ตา ทำให้เห็นส่วนมืดและสว่างของแถบบนสเกล ซึ่งเรียกว่า shadow edge (Hurlbut et al., 1991)

การวัดดัชนีหักเหมีขั้นตอนดังนี้

- ก่อนวัดต้องทำความสะอาดกระจกบนเครื่องวัดดัชนีหักเหและตัวอย่างให้สะอาด
- เปิดไฟในเครื่องให้แสงส่องผ่านด้านหลังของเครื่อง
- หยดน้ำยา RI ซึ่งทำหน้าที่เป็น contact fluid เพียงเล็กน้อยลงบนกระจกเพื่อไม่ให้มีฟองอากาศระหว่างผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับปริซึม หากน้ำยามากไปจะทำให้เกิดเงาดำรอบเม็ดพลอยบนแผ่นโลหะใกล้ ๆ แผ่นแก้วที่ใช้สำหรับวางพลอย
- ใช้มือจับตัวอย่าง ค่อย ๆ วางลงทางด้านข้างของกระจกโดยไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นระหว่างผิวตัวอย่างและกระจก
- ค่าดัชนีหักเหหาได้จากการมองผ่านเลนส์ตาที่อยู่ทางด้านหน้าของเครื่อง ค่อย ๆ หมุนแผ่นโพลารอยด์ฟิลเตอร์กลับไปมา จะสังเกตเห็น shadow edge กระจกปรับขึ้นลง ซึ่งแสดงว่าเป็นพลอยชนิดหักเหคู่ (มีค่าดัชนีหักเห 2 ค่า) หมุนพลอยทุก ๆ 45° อ่านค่าตำแหน่งของพลอยเพื่อให้ได้ค่าต่ำสุดและสูงสุด โดยอ่านค่าจากการหมุนปุ่มปรับซึ่งอยู่ทางด้านข้าง ขึ้น-ลง เพื่อปรับแถบดำทางด้านขวาเมื่อมองผ่านเลนส์ตา โดยให้ตรงกับตำแหน่งของ shadow edge ที่มองเห็นผ่านเลนส์ตา เครื่องวัดดัชนีหักเหที่ใช้มีสเกลเพิ่มขึ้นทีละ 0.01 ดังนั้นทศนิยมตำแหน่งที่ 3 จึงเป็นค่าที่ประมาณจากสเกล

3.4 การวัดการดูดกลืนแสง

เครื่องมือที่ใช้วัดการดูดกลืนแสงของทับทิมและแซฟไฟร์สังเคราะห์ทั้งก่อนและหลังฝังไอออน คือ เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) รุ่น SpectraPro -300i จากบริษัท Action Research Corporation³ ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นสเปกตรัมชนิดลำแสงคู่ ควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ แผนภาพการทำงานดังรูป 3.3



รูป 3.3 แผนภาพแสดงการติดตั้งระบบของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สำหรับวัดการดูดกลืนแสง (Acton Research Corporation)

จากรูป 3.3 แสงจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งเป็นหลอดซีนอน (xenon lamp) ขนาด 75 วัตต์ ให้สเปกตรัมต่อเนื่องจาก 190-750 นาโนเมตร สะท้อนผ่านเลนส์เข้าทางช่องขาเข้า (entrance slit) ไปยังกระจกรวมแสง (collimating mirror) และสะท้อนไปยังเกรตติง (grating) ซึ่งทำหน้าที่กระจายแสงออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ และสะท้อนออกจากเกรตติงที่มุมต่างๆ กัน แสงสะท้อนจะผ่านกระจกเพื่อปรับโฟกัสและสะท้อนออกทางช่องขาออก (exit slit) ดังนั้นแสงที่ออกจากช่องขาออกนี้จึงมีความยาวคลื่นค่าเดียว หลังจากนั้นแสงจะแยกออกเป็น 2 ลำด้วย beam splitter ใน source compensation assembly โดยลำหนึ่งจะผ่านไปยังห้องใส่ชิ้นงาน ทะลุผ่านตัวอย่างไปยังหัววัด ซึ่งทำด้วย silicon diode ส่วนแสงอีกลำจะสะท้อนไปยังหัววัดอีกอัน ซึ่งติดกับ source compensation assembly โดยลำแสงนี้มีความเข้มประมาณ 8 % ของความเข้มแสงที่ออกมาทางช่องขาออก สัญญาณที่ได้จากหัววัดที่ผ่านชิ้นตัวอย่างถูกส่งไปในช่องที่ 1 (channel 1) และสัญญาณที่ได้จากหัววัดของลำแสงสะท้อนถูกส่งไปในช่องที่ 2 (channel 2) ซึ่งเป็นช่องสัญญาณอ้างอิง (reference channel) สัญญาณที่ได้จากหัววัดทั้งสองจะถูกส่งไปยังระบบประมวลข้อมูล

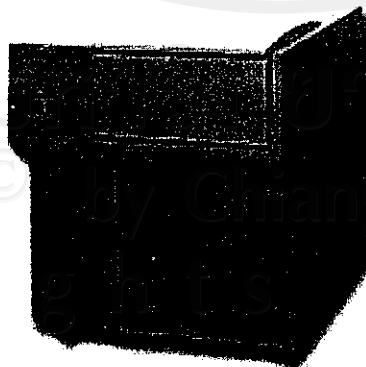
³ Action Research Corporation, 530 Main Street, Action, MA 01720-3310

(data acquisition system) หรือ NCL electronics เพื่อประมวลผลและนำสัญญาณที่ได้ส่งไปวิเคราะห์และแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ซึ่งมีซอฟต์แวร์นั้นติดตั้งอยู่

ส่วนการวัดการดูดกลืนแสงหลังฝั่งไอออน และหลังการอบ ในช่วงความยาวคลื่น 200-750 นาโนเมตร ในการทดลองนี้ใช้เครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer จากบริษัท HITACHI⁴ รุ่น U-4100 ประเทศญี่ปุ่น ดังรูป 3.4 ซึ่งติดตั้งอยู่ ณ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เครื่องมือควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สามารถเลือกใช้เพื่อศึกษาการดูดกลืนแสง (absorbance, Abs) การผ่านแสง (transmittance, %T) และการสะท้อนแสง (reflectance, %R) ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ถึงอินฟราเรดช่วงใกล้ (near infrared) ที่ความยาวช่วงคลื่นตั้งแต่ 175 ถึง 2600 นาโนเมตร แผนภาพการทำงานของเครื่องแสดงในรูป 3.5

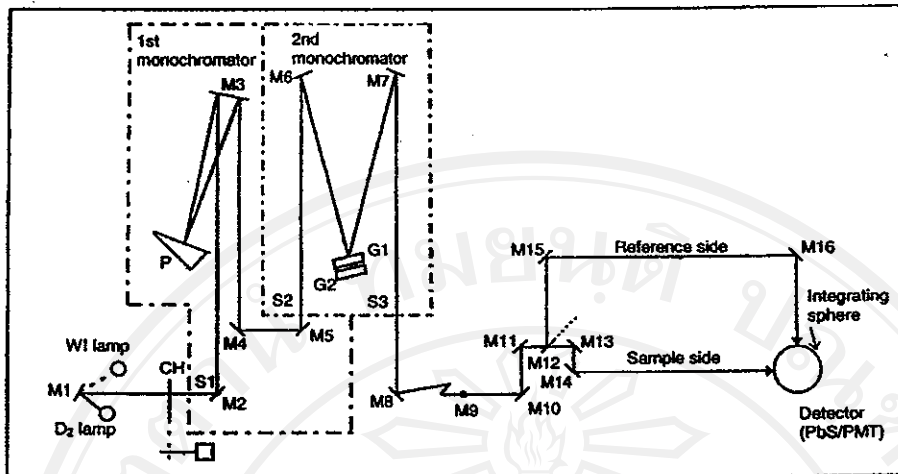
ส่วนประกอบหลักๆ ของ UV-VIS-NIR spectrophotometer คือ

- i) แหล่งกำเนิดแสง ใช้หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน (tungsten halogen lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วงตามองเห็นและอินฟราเรดช่วงใกล้ (visible-near infrared) และใช้หลอดดีวเทอเรียม (deuterium lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงช่วงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet)
- ii) โมโนโครมาเตอร์ (monochromator) 2 ชุด ชุดแรกเป็นปริซึมรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าทำจาก anhydrous fused quartz ทำหน้าที่เป็นตัวรับและกระจายแสง โมโนโครมาเตอร์อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่แยกคลื่นแสงออกเป็นคลื่นเดี่ยว 2 ช่วงคลื่นที่ต่อเนื่องกัน คือ ช่วงอัลตราไวโอเล็ต (UV) และช่วงอินฟราเรดช่วงใกล้ (NIR)
- iii) หัววัด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร เป็น photomultiplier tube ในช่วง UV-VIS และ cooled type PbS ในช่วง NIR



รูป 3.4 UV-VIS-NIR spectrophotometer รุ่น U-4100 ของบริษัท Hitachi

⁴ Hitachi High – Technologies Corporation, Tokyo, Japan



1st monochromator:
Prism, Littrow type
2nd monochromator:
2 diffraction gratings used,
Czerny-Turner type
D₂: Deuterium discharge
lamp, for ultraviolet
region
W1: Tungsten iodide lamp,
for visible-near infrared
region
P: Prism made of
anhydrous synthetic
quartz and having an
apex angle of 30°

G1: Multi-blaze grating for
ultraviolet-visible region
G2: Multi-blaze grating for
near infrared region
CH: Mechanical chopper
M1: Light source mirror
M2: Toroidal mirror
M3: Collimating mirror
M4: Plane mirror
M5: Plane mirror
M6: Collimating mirror
M7: Camera mirror
M8: Toroidal mirror
M9: Plane mirror
S1, S2, S3: Slit

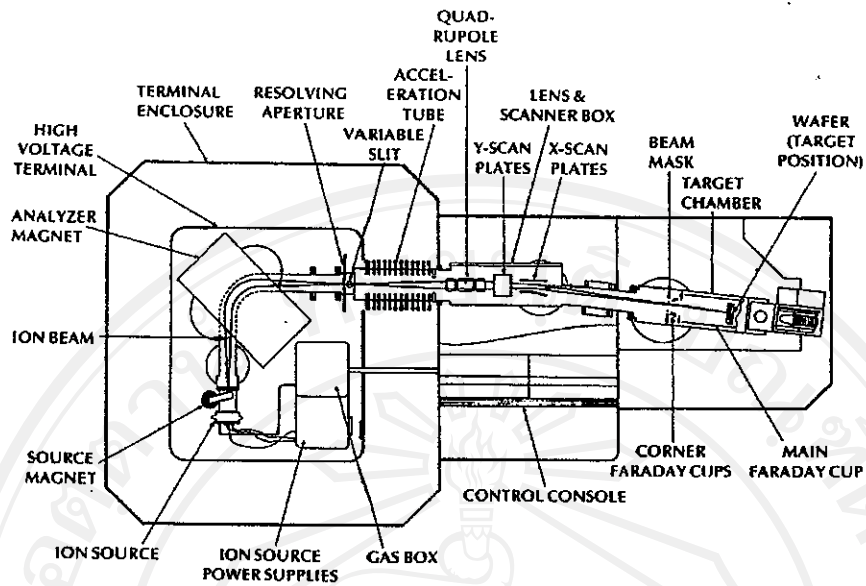
M10: Plane mirror
M11: Toroidal mirror
M12: Sector mirror
M13: Plane mirror
M14: Plane mirror
M15: Plane mirror
M16: Toroidal mirror
PbS: Detector for near
infrared region (cooled
type)
PMT: Detector for ultraviolet-
visible region (R-928)

รูป 3.5 แผนภาพระบบทางแสงของเครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer รุ่น U-4100 ของบริษัท Hitachi

3.5 การฝังไอออนของอาร์กอนและออกซิเจน

เครื่องไอออนอิมพลานเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นของบริษัท Varian⁵ ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น 200-DF5 เป็นเครื่องชนิด pre-analysis คือ ไอออนจะถูกกรองก่อนเพิ่มพลังงาน สามารถผลิตไอออนในช่วงพลังงาน 10-200 keV ระบบกรองไอออนเป็นแบบแม่เหล็กเดี่ยวเบน 90 องศา ไอออนที่ผ่านแม่เหล็กเดี่ยวเบนแล้ว จะวิ่งต่อไปยังท่อเร่ง (accelerating tube) โดยท่อเร่งสามารถเพิ่มพลังงานให้ไอออนได้ระหว่าง 0 - 180 keV แต่เนื่องจากไอออนเมื่อผ่านท่อเร่งจะกระจายออก ดังนั้นเลนส์ quadrupole triplet ที่ติดตั้งถัดจากท่อเร่งจะช่วยปรับลำไอออนให้ได้ขนาดตามต้องการ ขณะเดียวกันก็สามารถปรับพื้นที่ในการกวาดโดยปรับค่า X-Y scan เพื่อให้ลำไอออนครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ลักษณะแผนภาพการทำงานของเครื่องเวเรียนอิมพลานเตอร์ ดังรูป 3.6

⁵ Varian/Extrion Division, Massachusetts, USA



รูป 3.6 แผนภาพของแวเรียนอิมพลานเตอร์ รุ่น 200-DF5 (Varian/Extrion Division, 1980)

การฝังไอออนของอาร์กอนและออกซิเจนลงบนทับทิมและแซฟไฟร์สังเคราะห์ แบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือ R1–R5 และ S1–S5 ฝังด้วยอาร์กอนไอออน กลุ่มที่สองคือ R6–R10 และ S6–S10 ฝังด้วยออกซิเจนไอออน โดยใช้พลังงานของไอออน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่โดสต่างๆ ดังตารางที่ 3.1 โดยตัวอย่างที่มีรหัสเหมือนกันจะถูกฝังไอออนพร้อมกัน

ตารางที่ 3.1 โดสของ Ar^+ และ O^+ ที่ฝังในทับทิมและแซฟไฟร์สังเคราะห์

ชนิดของไอออน	รหัสตัวอย่าง	โดส (ไอออน/ซม ²)
Ar^+	S1, R1	1×10^{17}
	S2, R2	1×10^{16}
	S3, R3	1×10^{18}
	S4, R4	5×10^{15}
	S5, R5	5×10^{16}
O^+	S6, R6	1×10^{17}
	S7, R7	1×10^{16}
	S8, R8	5×10^{15}
	S9, R9	5×10^{17}
	S10, R10	1×10^{18}

เนื่องจากกระแสที่ได้จากการวัดโดย faraday cup ในการทดลองแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ซึ่งปริมาณกระแสนี้สามารถทราบได้หลังจากใส่ตัวอย่างในห้องฝังแล้ว ดังนั้นโดสที่ใช้จึงพิจารณาจากกระแสของลำไอออนเป็นหลัก หากได้ค่ากระแสสูง ก็จะฝังโดสที่สูงก่อน หลังการฝังไอออน ได้อบขึ้นตัวอย่างทุกชิ้นที่อุณหภูมิ 800 ° ซ เวลา 1 ชั่วโมง อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 15°ซ /นาที่

การศึกษาพื้นผิวหลังการฝังไอออนและหลังการอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ผลิตโดยบริษัท JEOL รุ่น JSM 840A เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประกอบอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงที่เกิดขึ้น

3.6 การคำนวณโดสจากการฝังไอออน

ในการฝังไอออน ปริมาณของไอออนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เรียกว่า โดส (dose) ซึ่งมีหน่วยเป็น ไอออน/ซม² สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$Dose = \frac{It}{1.6 \times 10^{-19} A} \quad (3.1)$$

เมื่อ	I	=	กระแสที่วัดได้จาก faraday cup หน่วย μA
	t	=	เวลาที่ใช้ในการฝังไอออน หน่วย วินาที
	A	=	พื้นที่ที่ใช้ในการฝังไอออน หน่วย cm^2

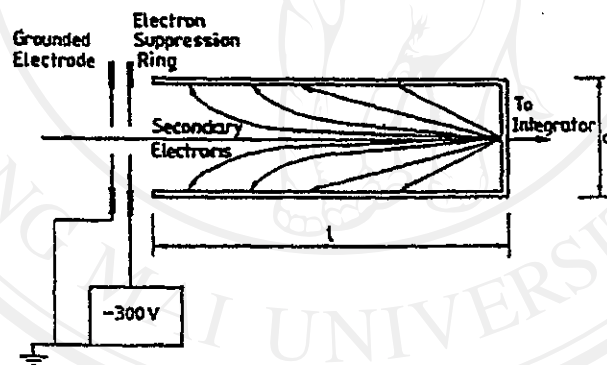
การวัดกระแสสามารถวัดได้โดยใช้หลักการ faraday cup (รูป 3.7) คือลำไอออนจะวิ่งผ่าน electron suppression ring ซึ่งกั้นอิเล็กตรอนภายนอกห้องเป้าเข้ามาและอิเล็กตรอนที่เกิดจากการชนของไอออนภายในออกไป เมื่อไอออนบวกรั้งเข้าสู่ faraday cup และชนกับเป้าซึ่งอยู่บริเวณก้นของ faraday cup อิเล็กตรอนจากกรวดจะวิ่งผ่านมิเตอร์วัดกระแสมาที่เป้าเพื่อให้เป้าเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงสามารถวัดค่ากระแสของลำไอออนได้แต่เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่นำไฟฟ้า ดังนั้นจึงยึดขึ้นตัวอย่างไว้บนแท่นจับ (holder) ซึ่งเจาะรูรัศมี 0.2 ซม. บนแท่นจับเพื่อให้ลำไอออนสามารถทะลุผ่านไปยัง center faraday cup (รูป 3.8) ที่อยู่ด้านหลังได้ ดังนั้นจึงมี faraday cup 2 ส่วน เพื่อวัดกระแสก่อนฝังและขณะฝังไอออน โดยตัวห้องเป้าหมายมีลักษณะคล้าย Faraday cup ขนาดใหญ่ (main faraday cup) ดังรูป 3.9 โดยก่อนที่ลำไอออนจะผ่านเข้าสู่ห้องใส่ตัวอย่าง จะต้องผ่าน main bias ring ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้ากระแสตรง -500 โวลต์ ผลักอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) กระแสที่ได้จาก main faraday cup คือกระแสของลำ

ไอออนก่อนฝังไอออน ปรับพื้นที่กวาดของลำไอออนให้ครอบคลุมทั้งตัวอย่างและรูที่ทะลุผ่านไปยัง center faraday cup โดยเมื่อเริ่มฝังไอออนจึงปรับแท่น (plate) ที่ยึดชิ้นงานไว้ตั้งขึ้น ดังนั้นลำไอออนจึงผ่านเข้าสู่ center faraday cup ทำให้สามารถวัดกระแสของลำไอออนในขณะที่ทำการฝังไอออนได้ โดยที่โดสต่ำจะวัดค่ากระแสทุก 1 นาที และทุก 3 นาทีที่โดสสูง พื้นที่ของรูคือ 0.1257 ซม² สามารถคำนวณโดสได้ดังนี้

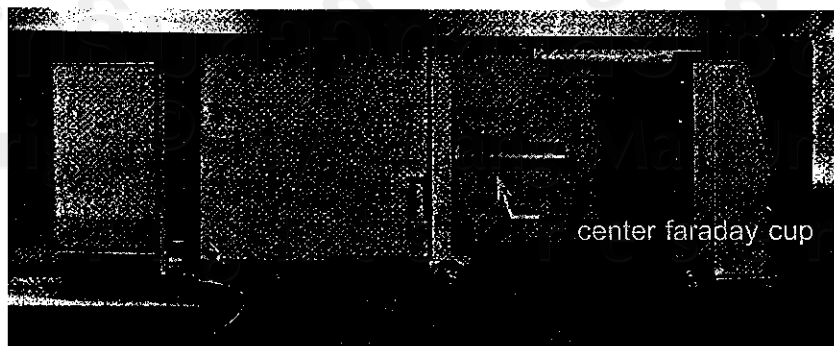
จากสมการ (3.1) แทนค่า $t = 180$ วินาที (กรณีที่วัดกระแสทุกๆ 3 นาที) และ $A=0.1257$ ซม² จะได้

$$\begin{aligned} \text{Dose} &= \frac{I(180)}{1.6 \times 10^{-19} (0.1257)} \\ \text{Dose} &= 8.95 \times 10^{21} I \end{aligned} \quad (3.2)$$

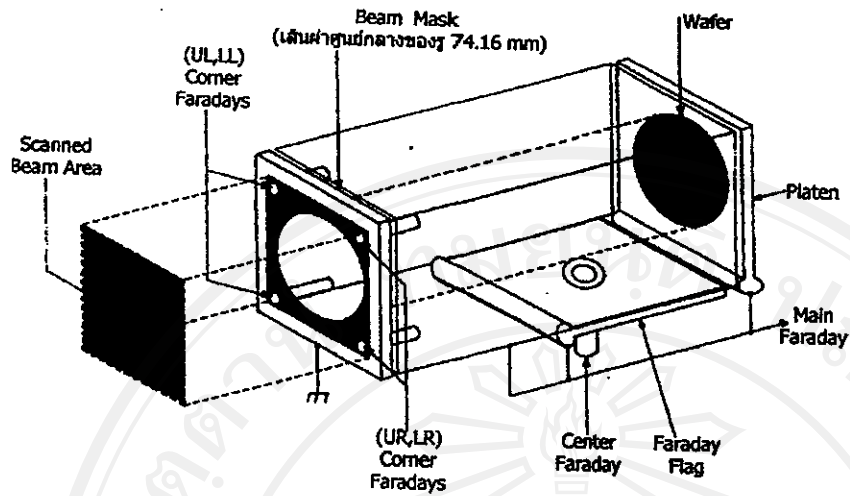
แทนค่า I ที่วัดได้แต่ละครั้งในสมการ (3.2) และนำค่า dose ที่ได้แต่ละครั้งมาบวกรวมกัน จนกระทั่งได้ค่า dose รวมตามที่ต้องการ



รูป 3.7 แผนภาพ faraday cup (Liangdeng, 1997)



รูป 3.8 ลักษณะ center faraday cup ของเครื่องเวเรียนิมพลาสมเตอร์

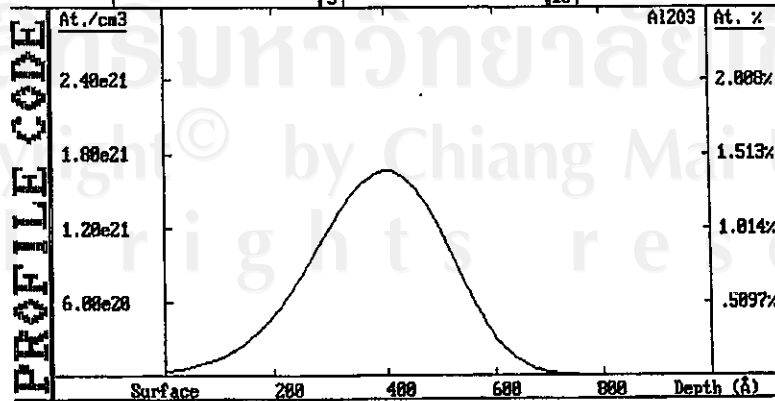


รูป 3.9 ลักษณะของ main faraday cup และ center faraday cup (Varian/Extrion Division, 1980)

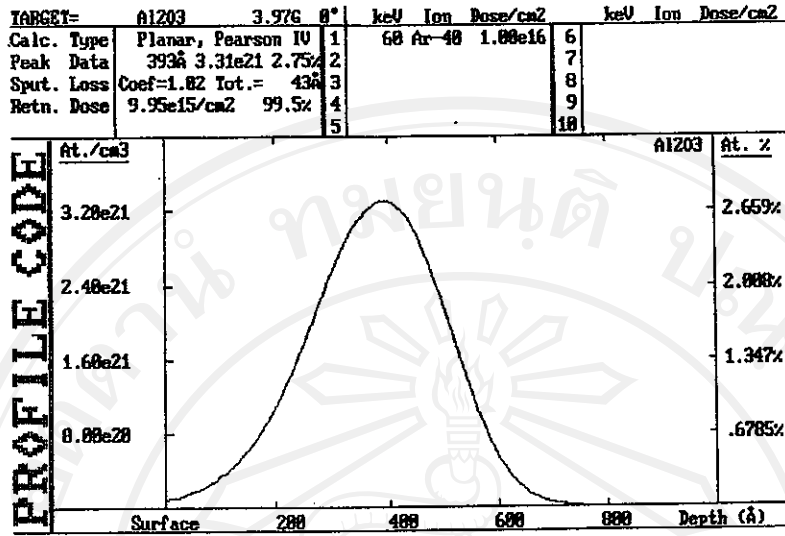
3.7 การใช้โปรแกรม Profile คำนวณการฝังไอออนของอาร์กอนและออกซิเจนในอะลูมิเนียมออกไซด์

การทำ profile จากการฝังไอออนของอาร์กอนและออกซิเจนในอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ที่โดสต่างๆ ในการทดลองนี้ใช้โปรแกรม Profile Code version 3.2 ของบริษัท Implant Science Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา profile ของ Ar^+ ที่โดสต่างๆ แสดงในรูป 3.10 – 3.14 และ O^+ แสดงในรูป 3.15 – 3.19

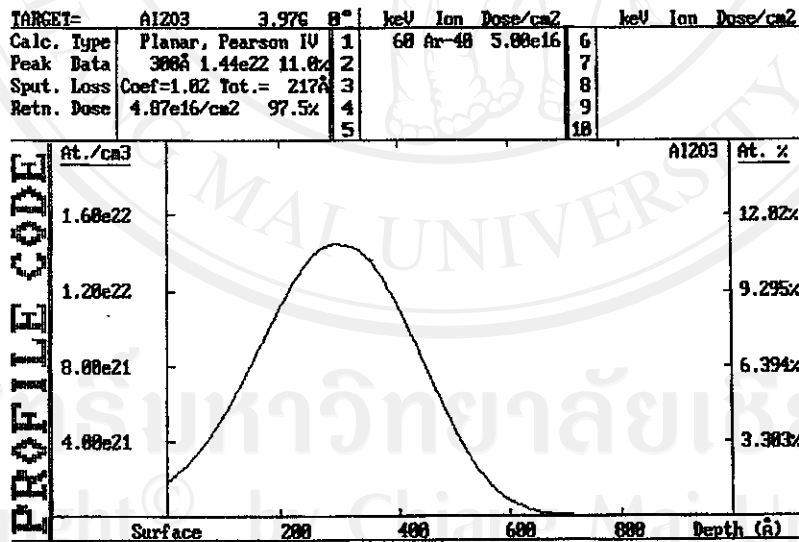
TARGET=	Al203	3.97G	0°	keV	Ion	Dose/cm2	keV	Ion	Dose/cm2
Calc. Type	Planar, Pearson IV	1		68	Ar-48	5.88e15	6		
Peak Data	483Å 1.66e21 1.48%	2					7		
Sput. Loss	Coef=1.82 Tot.= 22Å	3					8		
Retn. Dose	4.98e15/cm2 99.6%	4					9		
		5					10		



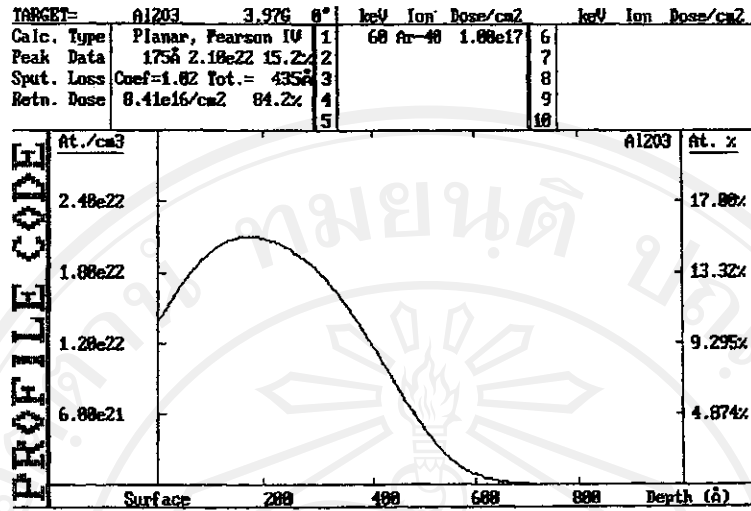
รูป 3.10 Profile ของ Ar^+ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดส 5×10^{15} ไอออน/ซม²



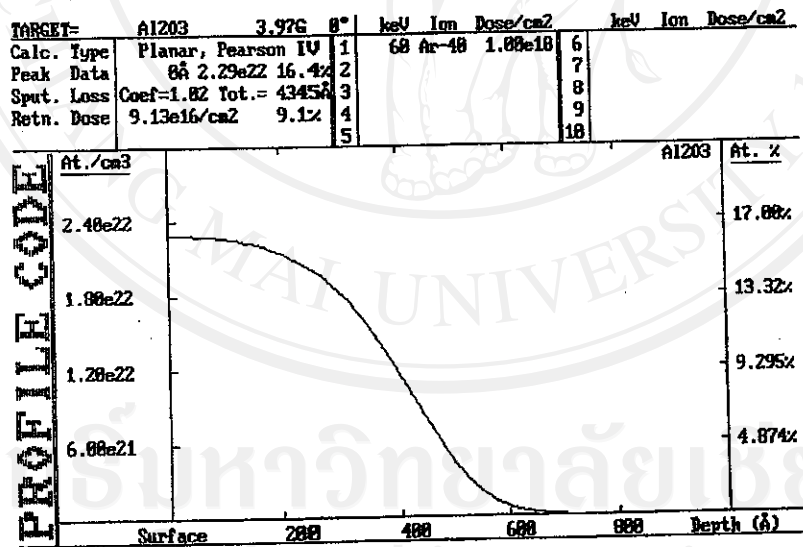
รูป 3.11 Profile ของ Ar⁺ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดส 1×10^{16} ไอออน/ซม²



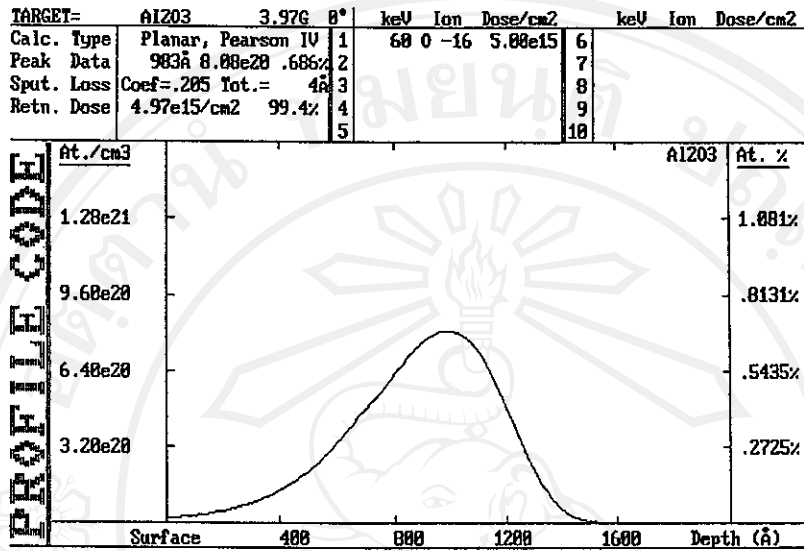
รูป 3.12 Profile ของ Ar⁺ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดส 5×10^{16} ไอออน/ซม²



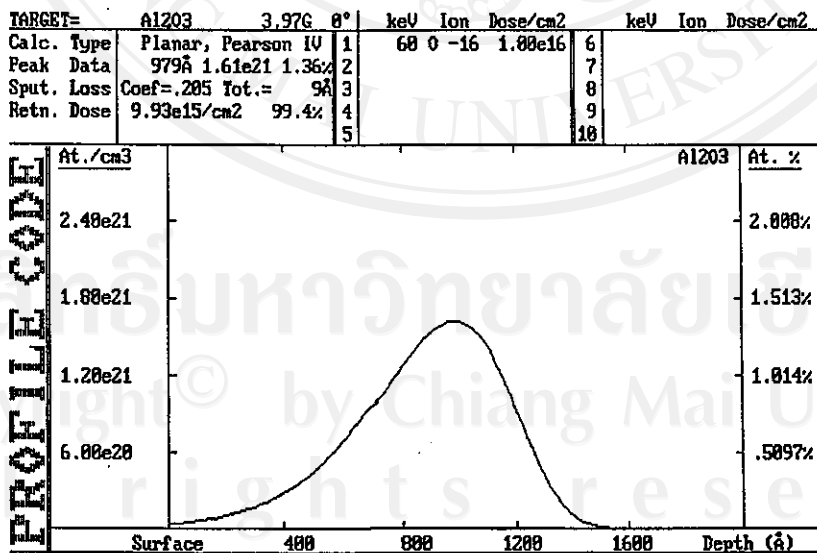
รูป 3.13 Profile ของ Ar⁺ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดส 1×10^{17} ไอออน/ซม²



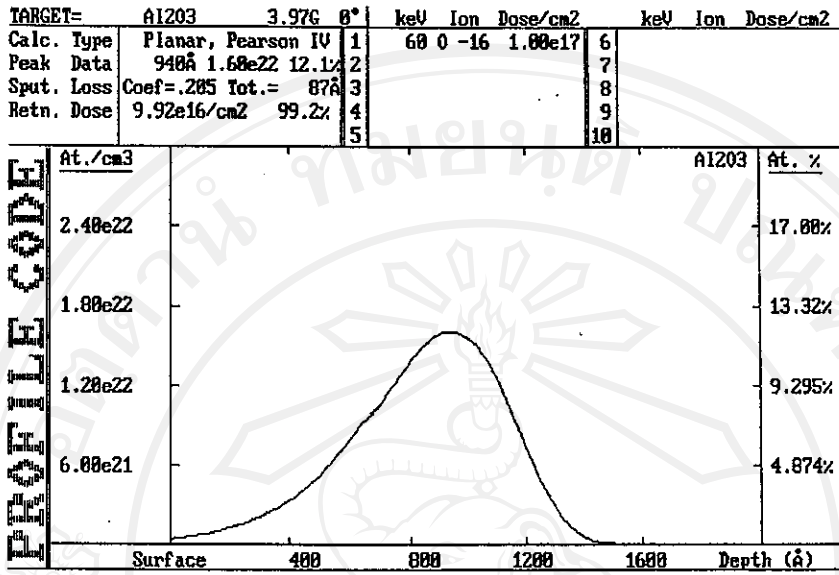
รูป 3.14 Profile ของ Ar⁺ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดส 1×10^{18} ไอออน/ซม²



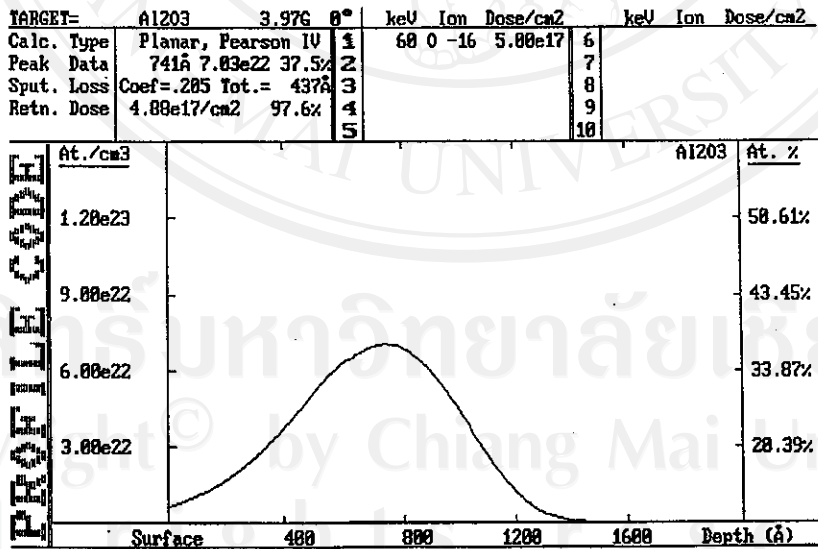
รูป 3.15 Profile ของ O⁺ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดส 5 x 10¹⁵ ไอออน/ซม²



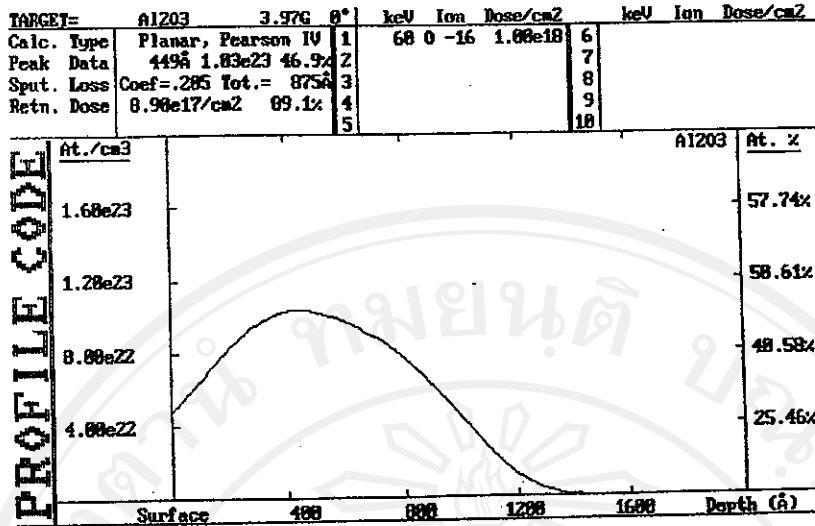
รูป 3.16 Profile ของ O⁺ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดส 1 x 10¹⁶ ไอออน/ซม²



รูป 3.17 Profile ของ O⁺ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดส 1 x 10¹⁷ ไอออน/ซม²

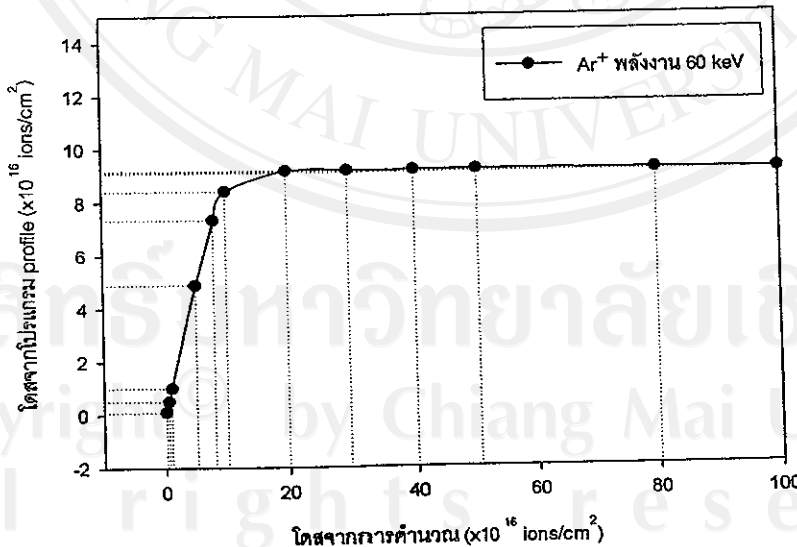


รูป 3.18 Profile ของ O⁺ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดส 5 x 10¹⁷ ไอออน/ซม²

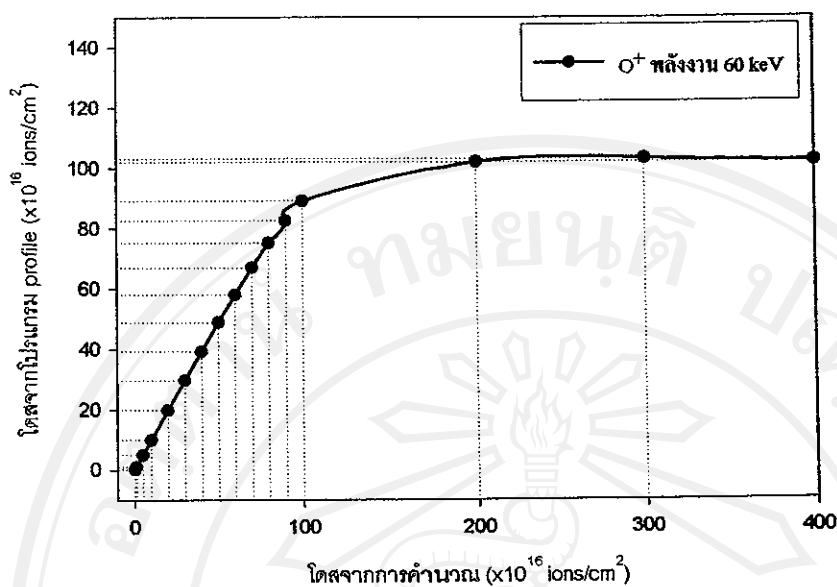


รูป 3.19 Profile ของ O⁺ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ โดส 1 x 10¹⁸ ไอออน/ซม²

การใช้ Profile code เพื่อคำนวณการฝัง Ar⁺ และ O⁺ พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ บน Al₂O₃ ดังแสดงในรูป 3.20 และ 3.21 ตามลำดับ พบว่า Ar⁺ ที่ฝังบน Al₂O₃ จะคงที่ตั้งแต่ที่ 2 x 10¹⁷ ไอออน/ซม² ส่วนการฝัง O⁺ บน Al₂O₃ ปริมาณไอออนจะเริ่มคงที่ที่ 2 x 10¹⁸ ไอออน/ซม² พบว่าเมื่อเพิ่มโดสในการฝังไอออน ปริมาณของไอออนที่ฝังบนชิ้นงานจะคงที่ไม่เพิ่มขึ้นตามปริมาณโดสที่ใช้ ดังนั้นความเข้มข้นของไอออนจะถูกจำกัดอยู่ที่ค่าหนึ่งเนื่องจากการเกิด sputtering ที่บริเวณผิววัสดุ (Townsend et al., 1994)



รูป 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างโดสจากการคำนวณและโดสจากโปรแกรม Profile เมื่อฝัง Ar⁺ พลังงาน 60 keV บน Al₂O₃



รูป 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างโดสจากการคำนวณและโดสจากโปรแกรม Profile เมื่อฝัง O^+ พลังงาน 60 keV บน Al_2O_3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เลขหมู่.....
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่