

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ (1) การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (2) การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์

1.1 เครื่องเคลือบสุญญากาศระบบรีแอคทีฟโคสเปดเตอร์ริง ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องเคลือบที่สร้างขึ้น โดยห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (ภาพที่ 3-1)

1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.2.1 เป้าสารเคลือบ มี 2 ชนิดคือ

- ไทเทเนียม (Ti) ความบริสุทธิ์ 99.97%
- อะลูมิเนียม (Al) ความบริสุทธิ์ 99.9995 %

1.2.2 วัสดุรองรับ มี 2 ชนิดคือ

- กระดาษสไลด์
- แผ่นซิลิกอน

1.2.3 แก๊สในกระบวนการเคลือบ มี 2 ชนิดคือ

- แก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์ 99.999% เป็นแก๊สสปัตเตอร์ (Sputtered Gas)
- แก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.999% เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา (Reactive Gas)

2. การหาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์

2.1 X-Ray Diffractometer สำหรับศึกษาโครงสร้างผลึก งานวิจัยนี้ใช้เครื่อง X-ray Diffractometer Bruker รุ่น D8 โดยใช้ $\text{Cu-K}\alpha$ ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$) ของคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี (ภาพที่ 3-2)

2.2 Atomic Force Microscope สำหรับศึกษาความหนา และลักษณะพื้นผิว งานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Atomic Force Microscope รุ่น Nanoscope IV (Veeco Instruments Inc.) ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ภาพที่ 3-3)

2.3 Field Emission Scanning Electron Microscope สำหรับศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค งานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Field Emission Scanning Electron Microscope รุ่น Hitashi S-4700 ของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Thai Microelectronics Center, TMEC) (ภาพที่ 3-4)

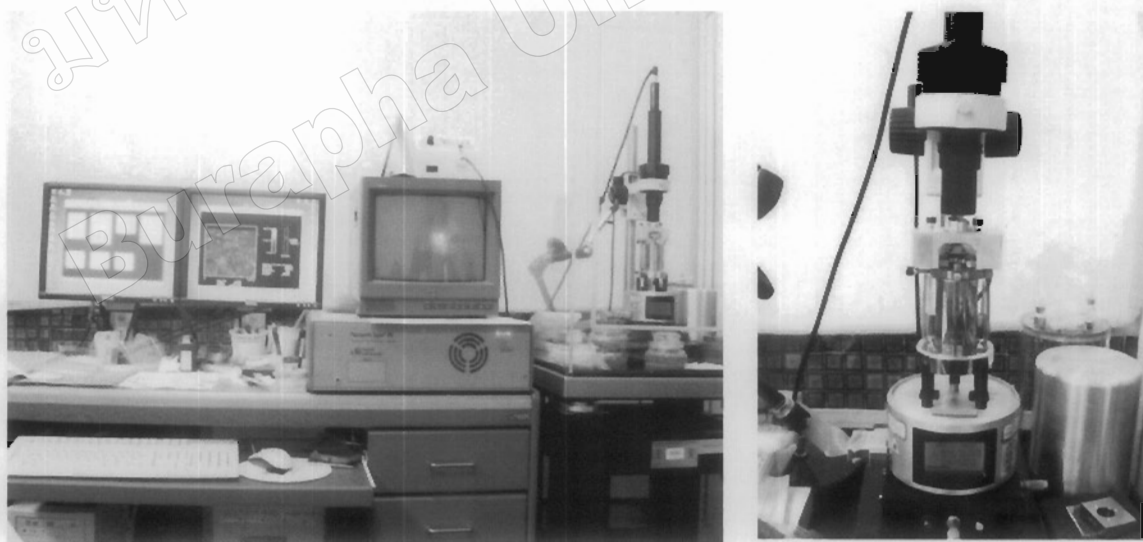
2.4 Energy Dispersive X-ray Spectroscopy สำหรับศึกษาองค์ประกอบธาตุทางเคมี (ภาพที่ 3-5) งานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectroscopy รุ่น LEO1450VP ของศูนย์ปฏิบัติการกล้องจุลทรรศน์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา



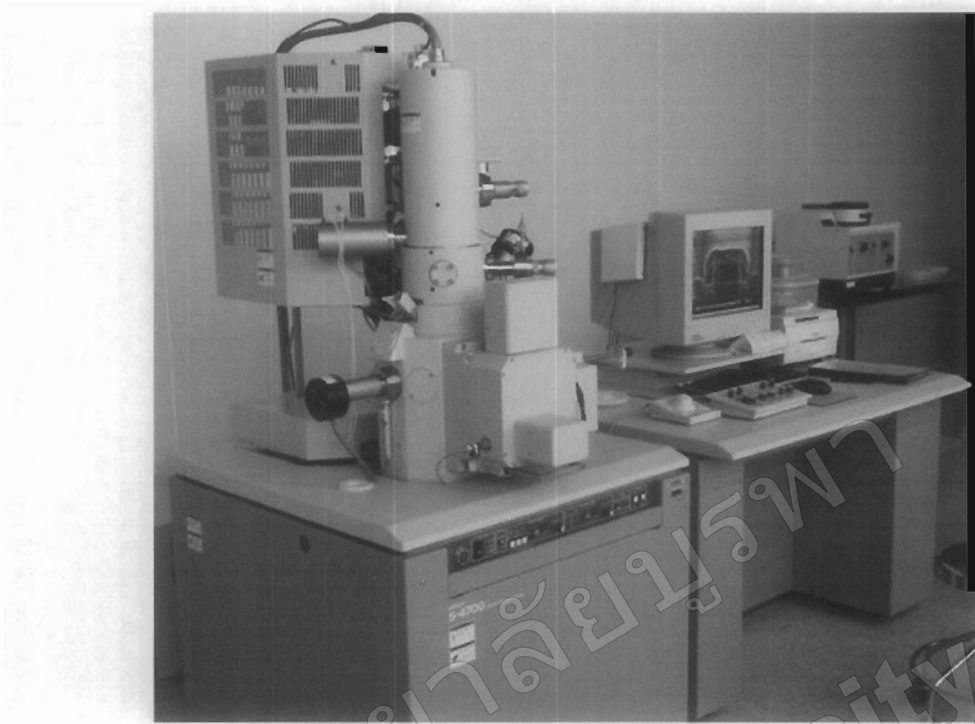
ภาพที่ 3-1 เครื่องเคลือบสุญญากาศระบบรีแอคทีฟโคสปีดเตอริงที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 3-2 เครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)



ภาพที่ 3-3 เครื่อง Atomic Force Microscope (AFM)



ภาพที่ 3-4 เครื่อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM)

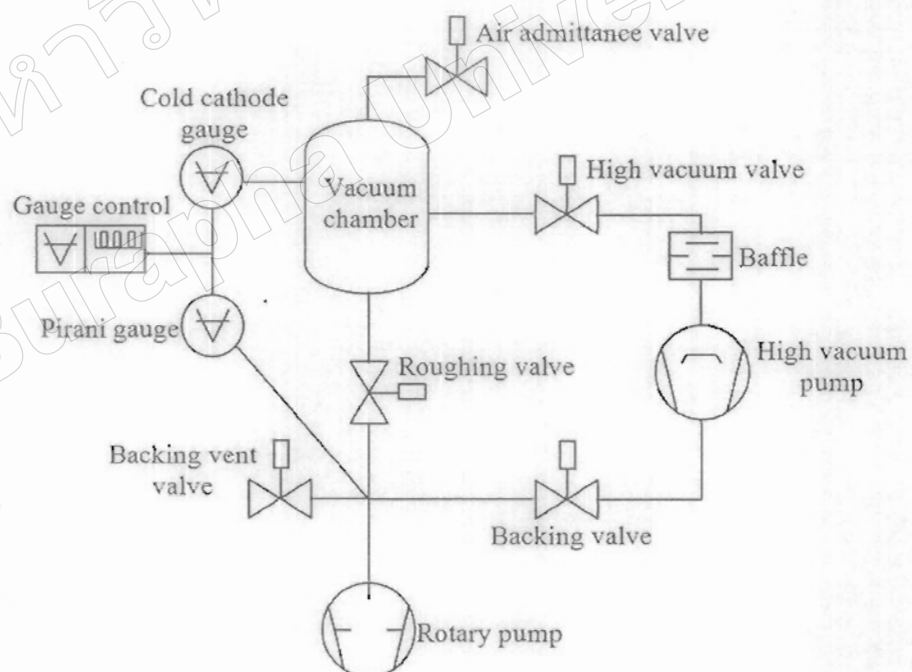


ภาพที่ 3-5 เครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX)

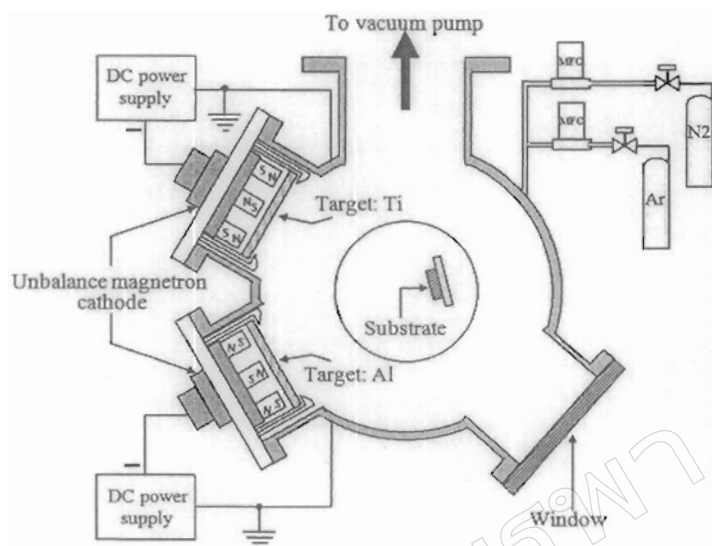
เครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบรีแอกตีฟโคสปีดเตอริง

การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิครีแอกตีฟโคสปีดเตอริง ซึ่งเป็นกระบวนการภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังนั้นเพื่อให้ฟิล์มบางที่ได้มีคุณภาพและสมบัติตามที่ต้องการ ต้องลดความดันพื้น (Base Pressure) ภายในภาชนะสุญญากาศให้อยู่ในระดับ 10^{-5} mbar ส่วนประกอบของเครื่องเคลือบระบบสปีดเตอริงแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ระบบสุญญากาศ (Vacuum System) และระบบการเคลือบ (Coating System) มีรายละเอียดดังนี้

1. ระบบสุญญากาศ (Vacuum System) ประกอบด้วย ห้องเคลือบทรงกระบอกทำจากสแตนเลส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 310.0 mm สูง 310.0 mm ระบบเครื่องสูบล้างสุญญากาศของเครื่องเคลือบประกอบด้วยเครื่องสูบบางแปรไอแบบระบายความร้อนด้วยน้ำและมีเครื่องสูบล้างโรตารีเป็นเครื่องสูบล้าง สำหรับการวัดความดันภายในภาชนะสุญญากาศใช้มาตรวัดความดันของ PFEIFFER ซึ่งใช้ส่วนแสดงผลรุ่น TPG262 และ มาตรวัดความดันชนิด Compact Full Range Gauge รุ่น PKR251 ภาพที่ 3-6 เป็นผังระบบสุญญากาศของเครื่องเคลือบ ส่วน ภาพที่ 3-7 เป็นไดอะแกรมของเครื่องเคลือบที่ใช้ในงานวิจัย

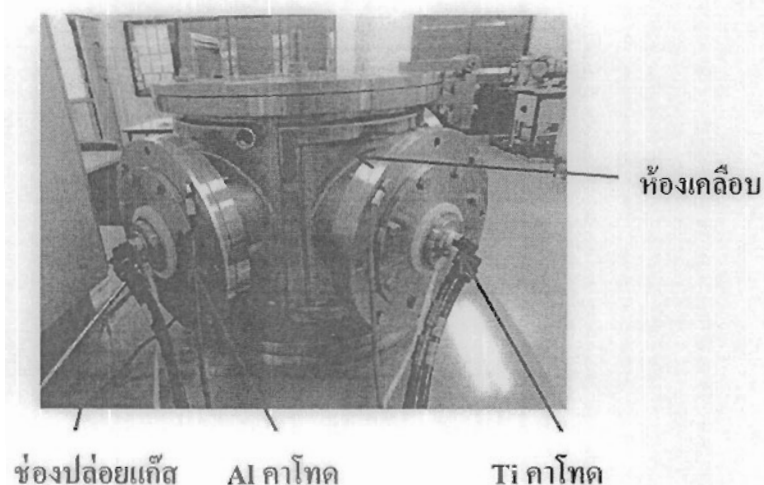


ภาพที่ 3-6 ผังระบบสุญญากาศของเครื่องเคลือบที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 3-7 ลักษณะของเครื่องเคลือบที่ใช้ในงานวิจัยเมื่อมองจากด้านบน

2. ระบบการเคลือบ (Coating System) เป็นส่วนเคลือบฟิล์มบาง ประกอบแหล่งกำเนิดสารเคลือบแบบแมกนีตรอนคาโทด ระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75.0 mm จำนวน 2 ชุด ตั้งด้านข้างของห้องเคลือบ พร้อมภาคจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงขนาด 1000 V 3 A การจ่ายแก๊สในกระบวนการเคลือบ (แก๊สอาร์กอนและแก๊สไนโตรเจน) ควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอัตราไหลมวลแก๊ส (Mass Flow Controller) ของ MKS รุ่น type247D (ภาพที่ 3-8) ภายในห้องเคลือบมีแท่นวางชิ้นงานที่กลางห้องเคลือบซึ่งสามารถปรับระยะห่างจากหน้าเป้าสารเคลือบได้



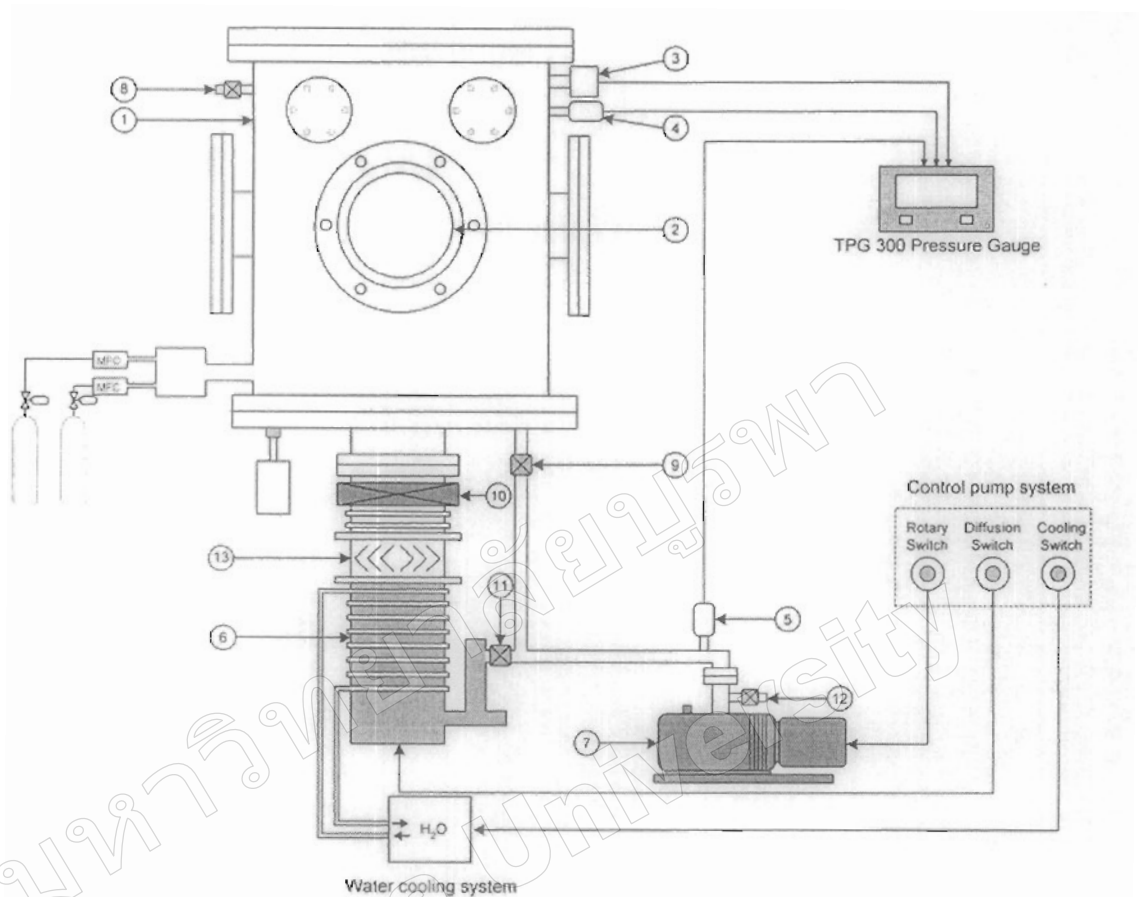
ภาพที่ 3-8 ลักษณะ/ ตำแหน่งของคาโทดทั้งสองชุดที่ใช้ในกระบวนการเคลือบ

การสร้างสถานะสุญญากาศ

การเคลือบฟิล์มด้วยวิธีสปัตเตอร์ ต้องทำความดันในภาชนะสุญญากาศให้อยู่ในสถานะสุญญากาศที่ระดับสุญญากาศสูง (High Vacuum) การสร้างสถานะสุญญากาศใช้ระบบเครื่องสูบลสุญญากาศ ประกอบด้วยเครื่องสูบบแบบแพร่ไอหนูนหลังด้วยเครื่องสูบลโรตารี ที่ต่อกับภาชนะสุญญากาศด้วยท่อและมีวาล์วควบคุมการปิด-เปิด (ภาพที่ 3-9) ตอนต้นใช้เครื่องสูบลโรตารีเพื่อลดความดันในภาชนะสุญญากาศจากความดันบรรยากาศเป็นความดันต่ำประมาณ 10^{-2} mbar ต่อมาใช้เครื่องสูบบแบบแพร่ไอ เพื่อลดความดันในภาชนะสุญญากาศให้อยู่ในช่วงความดัน 10^{-5} mbar

สำหรับขั้นตอนการสร้างภาวะสุญญากาศมีดังนี้

1. ตรวจเช็ควาล์วหยาบ (หมายเลข 9) วาล์วท้าย (หมายเลข 11) และวาล์วสุญญากาศสูง (หมายเลข 10) ให้อยู่ในสภาพปิดทั้งหมด
2. เปิดสวิตช์หลัก เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้แก่ระบบต่าง ๆ ของเครื่อง เช่น ระบบวัดความดันและระบบควบคุมการทำงานของระบบเครื่องสูบลสุญญากาศ เป็นต้น หลังจากนั้นเปิดสวิตช์ Rotary เพื่อให้เครื่องสูบลโรตารี (หมายเลข 7) ทำงาน
3. เริ่มสูบลอากาศจากเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ ด้วยเครื่องสูบลโรตารี โดยเปิดวาล์วท้าย ให้เครื่องสูบลโรตารีสูบลอากาศออกจากเครื่องสูบลแบบแพร่ไอ (หมายเลข 6) จนความดันในเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ เมื่ออ่านจากพิรานี่เกจ (หมายเลข 4) มีค่าน้อยกว่า 10^{-2} mbar เปิดตัวทำความร้อนของเครื่องสูบบแบบแพร่ไอทำงานเป็นการเริ่มต้นน้ำมัน ใช้ประมาณ 20 นาที
4. ระหว่างการต้มน้ำมันนำวัสดุรองรับที่ต้องการเคลือบวางในห้องเคลือบ ปิดฝาครอบและปิดวาล์วปล่อยให้สนิท
5. สร้างสถานะสุญญากาศขั้นต้นในภาชนะสุญญากาศโดยใช้เครื่องสูบลโรตารี โดยการปิดวาล์วท้าย แล้วเปิดวาล์วหยาบเพื่อให้เครื่องสูบลโรตารีสูบลอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศ จนความดันในภาชนะสุญญากาศ มีค่าประมาณ 10^{-2} mbar เมื่ออ่านความดันจากมาตรวัดความดันแบบช่วงกว้าง (หมายเลข 3)
6. เมื่อต้มน้ำมันจนครบ 20 นาที ทำการสร้างสถานะสุญญากาศสูง ในภาชนะสุญญากาศด้วยเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ โดยปิดวาล์วหยาบ แล้วเปิดวาล์วท้าย จากนั้นเปิดวาล์วสุญญากาศสูง ให้เครื่องสูบบแบบแพร่ไอสูบลอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศเพื่อทำความดันในภาชนะสุญญากาศให้อยู่ในระดับสถานะสุญญากาศสูง หรืออยู่ในช่วง $10^{-5} - 10^{-6}$ mbar
7. จัปเวลาและรอจนความดันในภาชนะสุญญากาศมีค่าประมาณ 5×10^{-5} mbar จึงกำหนดให้เป็นค่าความดันพื้น (P_0) ก่อนเริ่มกระบวนการเคลือบ



ภาพที่ 3-9 ไดอะแกรมระบบเครื่องสูบลู่วสุญญากาศ ของระบบเคลือบสเป็คเตอริง

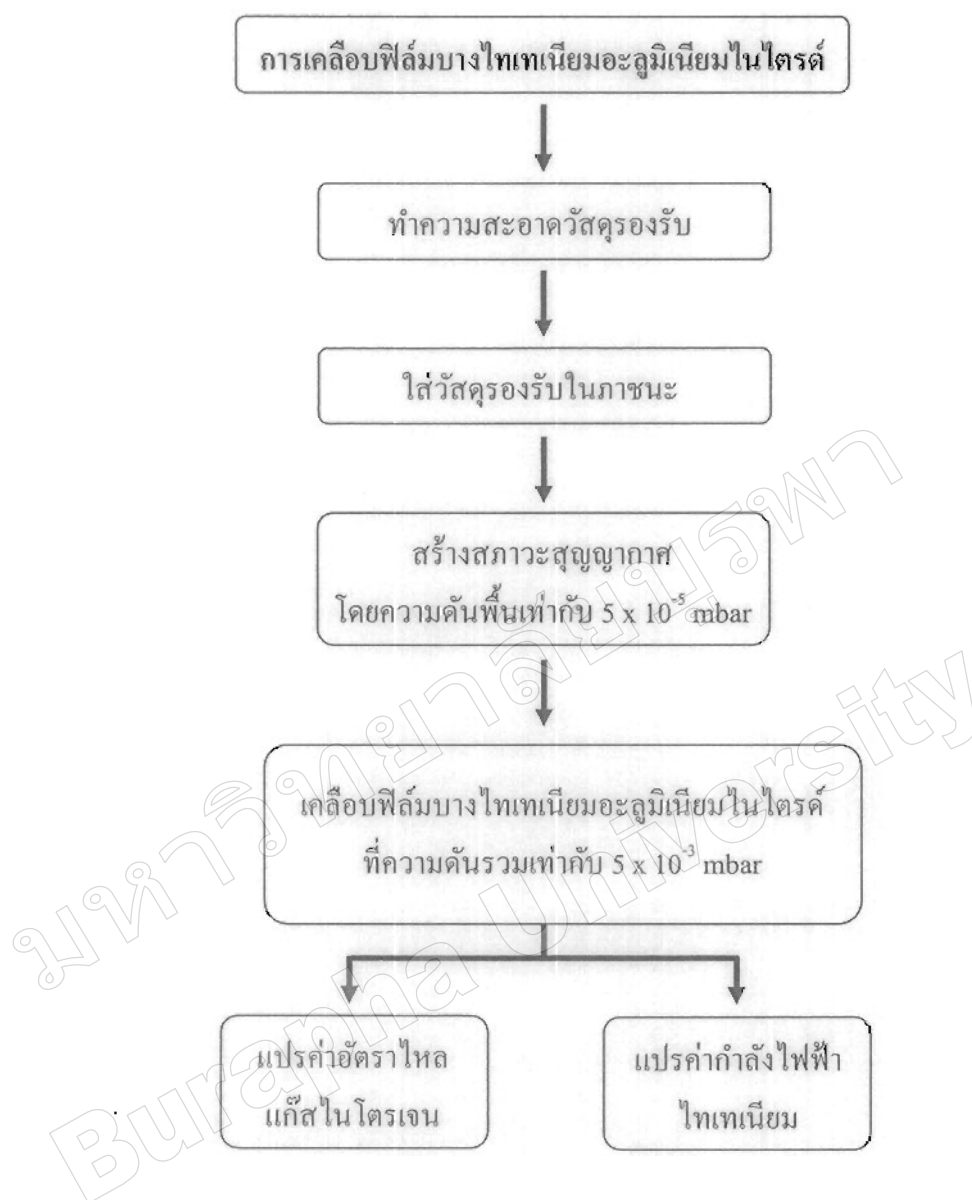
- | | |
|---|--|
| 1. ภาชนะสุญญากาศ (Vacuum Chamber) | 2. หน้าต่าง (Window) |
| 3. มาตรวัดความดันเพนนิง (Penning Gauge) | 4. มาตรวัดความดันพิรานี (Pirani Gauge) |
| 5. มาตรวัดความดันแบบพิรานี (Pirani Gauge) | 6. เครื่องสูบบแบบแพร่ไอ (Diffusion Pump) |
| 7. เครื่องสูบกกลโรตารี (Rotary Pump) | 8. วาล์วปล่อย (Vent Valve) |
| 9. วาล์วหยาบ (Roughing Valve) | 10. วาล์วสุญญากาศสูง (High Vacuum Valve) |
| 11. วาล์วท้าย (Backing Valve) | 12. วาล์วปล่อย (Vent Valve) |
| 13. แบริล (Baffle) | |

การเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์

การเคลือบฟิล์มบางในภาชนะสุญญากาศด้วยวิธีแอคทีฟ โคสปีดเตอริง มีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงถูกติดตั้งเข้ากับระบบเคลือบ โดยต่อสัคย์ไฟฟ้าลบเข้ากับขั้วคาโทดและต่อสัคย์ไฟฟ้าบวก (Ground) กับภาชนะสุญญากาศ โดยเป่าไทเทเนียมและเป่าอะลูมิเนียมถูกติดตั้งกับขั้วคาโทด คาโทดต่อกับระบบไหลเวียนน้ำเย็นเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการสปัดเตอร์หน้าเป้าสารเคลือบ ส่วนวัสดุรองรับถูกวางบนแผ่นรองรับที่ติดตั้งบนแท่นวางอุปกรณ์ Control Unit ต่อกับ Mass Flow Controller (MFC) สำหรับควบคุมการปล่อยแก๊สอย่างละเอียด เพื่อควบคุมอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนและไนโตรเจน ที่เข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ โดยค่าอัตราการไหลของแก๊สจะมีหน่วยเป็น Standard Cubic Centimeter per Minute at STP (sccm)

ขั้นตอนในการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ มีรายละเอียดดังนี้

1. นำวัสดุรองรับที่ต้องการเคลือบวางไว้บนแท่นวางวัสดุรองรับ แล้วปิดฝาภาชนะสุญญากาศ
2. ลดความดันภายในภาชนะสุญญากาศเท่ากับ 5×10^{-5} mbar กำหนดเป็นค่าความดันพื้น (P_0) ของระบบก่อนทำการเคลือบฟิล์ม บันทึกค่าความดัน P_0 ที่อ่านได้
3. ขั้นตอนนี้เป็นการเคลือบฟิล์มโดยเริ่มจากการปล่อยแก๊สอาร์กอนและแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ ตามค่าที่กำหนดไว้ในเงื่อนไขการทดลอง
4. จ่ายสัคย์ไฟฟ้าลบให้แก่คาโทด จนเกิดโกลว์ดิซชาร์จ เมื่อความต่างสัคย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้คาโทดและกระแสคาโทดที่วัดได้ไม่เปลี่ยนแปลง เริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มลงบนวัสดุรองรับ พร้อมทั้งบันทึกผลค่าความต่างสัคย์ไฟฟ้า (V) ค่ากระแสไฟฟ้า (I) และความดันรวม (P_t) ที่เกิดขึ้นขณะเริ่มเคลือบฟิล์ม และทำการเคลือบฟิล์ม ตามเวลา (t) ที่กำหนด
5. หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเคลือบฟิล์ม ปิดแหล่งจ่ายไฟ ปิดแก๊สอาร์กอน ปิดแก๊สไนโตรเจน และปล่อยอากาศเข้าไปในภาชนะสุญญากาศ เพื่อนำวัสดุรองรับออก



ภาพที่ 3-10 การเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์

การศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง

งานวิจัยนี้ แบ่งการศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางที่เคลือบได้ออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) โครงสร้างผลึกของฟิล์ม (2) ลักษณะพื้นผิวและความหนาฟิล์ม (3) องค์ประกอบธาตุทางเคมีของฟิล์ม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. โครงสร้างผลึกของฟิล์ม ขั้นนี้เป็นการนำฟิล์มบางที่เคลือบได้มาศึกษาโครงสร้างผลึกขนาดผลึก ค่าคงที่แลตทิซ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 โครงสร้างผลึกของฟิล์ม ศึกษาโดยนำแผ่นซิลิกอนที่เป็นวัสดุรองรับที่เคลือบแล้ว มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer โดยใช้ $\text{Cu-K}\alpha$ เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ตรวจวัดใน Mode Low Angle ด้วยมุมตกกระทบคงที่เท่ากับ 2° กำหนดมุมวัดอยู่ในช่วง $20^\circ - 80^\circ$ สเปกตรัมที่วัดได้บันทึกในรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

การระบุหรือยืนยัน โครงสร้างผลึกของวัสดุใดๆ สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัสดุที่ต้องการทราบกับฐานข้อมูล JCPDS สำหรับในงานวิจัยนี้ วัสดุหรือชั้นเคลือบที่ศึกษาคือ ฟิล์มไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ซึ่งเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่รวมตัวกันของธาตุ 3 ชนิดในลักษณะสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ทำให้ยังไม่มีข้อมูลในฐานข้อมูล JCPDS ทั้งนี้การระบุหรือยืนยันโครงสร้างของฟิล์มที่เคลือบได้ ในงานวิจัยนี้ ใช้การเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่เคลือบได้กับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไทเทเนียมไนไตรด์ และอะลูมิเนียมไนไตรด์ โดยอาศัยแนวคิดที่ว่า การแทนที่ของอะตอมอะลูมิเนียมในโครงสร้างของไทเทเนียมไนไตรด์ จะทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบ (d) ของผลึกลดลง ทั้งนี้อะตอมอะลูมิเนียมมีขนาดเล็กกว่าอะตอมไทเทเนียม ทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกในโครงสร้างหลัก (TiN) มีค่าลดลง ส่งผลให้มุมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับไทเทเนียมไนไตรด์ (Liu, Duh, Chung, & Wang, 2005) ในทำนองเดียวกัน จากการแทนที่ของอะตอมไทเทเนียมในโครงสร้างอะลูมิเนียมไนไตรด์นั้น อะตอมไทเทเนียมมีขนาดใหญ่กว่าอะลูมิเนียม ทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกในโครงสร้างหลัก (AlN) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มุมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ลดลง เมื่อเทียบกับอะลูมิเนียมไนไตรด์ ดังนั้นมุมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เคลือบได้ ต้องมีค่าอยู่ระหว่างมุมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไทเทเนียมไนไตรด์และอะลูมิเนียมไนไตรด์ สอดคล้องกับสมการการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากผลึก (Bragg's Law) ดังสมการ

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda \quad (3-1)$$

โดย λ คือความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ n คือลำดับของการสะท้อน d_{hkl} คือระยะห่างระหว่างระนาบ ($h k l$) และ θ คือมุมตกกระทบและมุมสะท้อนเมื่อวัดจากแนวระนาบที่พิจารณา

1.2 ขนาดผลึกของฟิล์ม สำหรับการหาขนาดผลึกของฟิล์มที่เคลือบได้ หากจากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่เคลือบได้ โดยใช้ สมการของ Scherrer ในการคำนวณหาขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่ได้หลังการเคลือบ ดังสมการ

$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3-2)$$

เมื่อ L คือ ขนาดของผลึกฟิล์มไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์

k คือ ค่าคงที่เท่ากับ 0.9

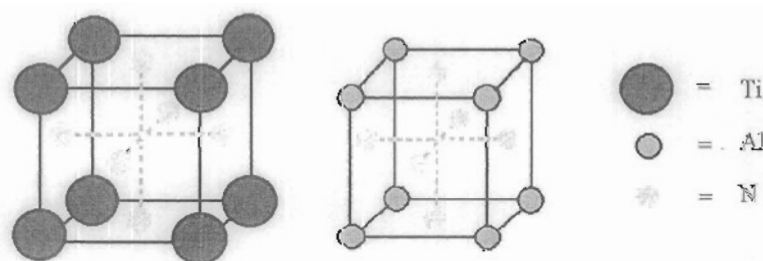
λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ ($\text{CuK}\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$)

β คือ ความกว้างครึ่งหนึ่งของพีคที่มีค่าความเข้มสูงสุด

θ คือ ครึ่งหนึ่งของมุมตรงจุดศูนย์กลางพีค

1.3 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์ม (a, b, c) หากจากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เคลือบได้ โดยใช้สมการการหาระยะห่างระหว่างระนาบผลึกของฟิล์มไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ซึ่ง Fanghua et al. (2005) ได้ศึกษาโครงสร้างของฟิล์มบาง (Ti,Al)N แล้วพบว่าโครงสร้างแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก (FCC) ดังภาพที่ 3-11 การแทนที่ของอะตอมในโครงสร้างของไทเทเนียมไนไตรด์หรืออะลูมิเนียมไนไตรด์นั้น จึงส่งผลให้ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มที่เคลือบได้ ต้องมีค่าอยู่ระหว่างค่าคงที่แลตทิซของไทเทเนียมไนไตรด์และอะลูมิเนียมไนไตรด์

ระยะห่างระหว่างระนาบผลึกแบบคิวบิก; $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (3-3)$



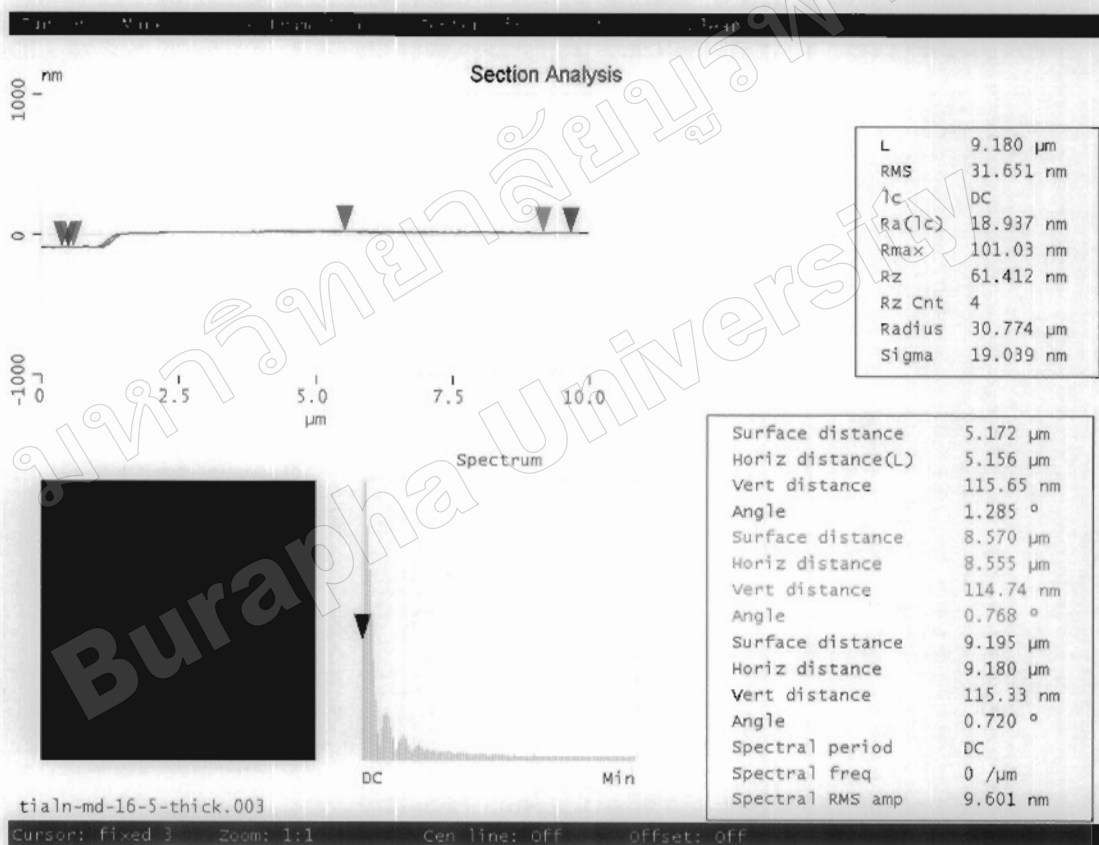
(a)

(b)

ภาพที่ 3-11 ระบบผลึกแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก (a) ไทเทเนียมไนไตรด์ (b) อะลูมิเนียมไนไตรด์

2. ลักษณะพื้นผิวและความหนาฟิล์ม ขั้นตอนนี้เป็น การนำฟิล์มบางที่เคลือบได้มาศึกษา ลักษณะพื้นผิวและความหนาด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การหาความหนาฟิล์ม โดยนำวัสดุรองรับที่เป็นแผ่นซิลิกอนที่ผ่านกระบวนการเคลือบแล้ว ไปวิเคราะห์ความหนาด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope โดยใช้เข็มขนาดเล็กทำจากซิลิกอนไนไตรด์ เคลื่อนที่กราดบนผิวฟิล์มบางที่มีความสูงต่ำแตกต่างกันไป โดยตัวคานามีเข็มเกาะติดอยู่มีการโค้งงอ บริเวณด้านบนจะมีแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ และมีโฟโตดีเทคเตอร์สำหรับวัดการ โค้งงอของคานาขึ้น แสดงผลดังภาพที่ 3-12

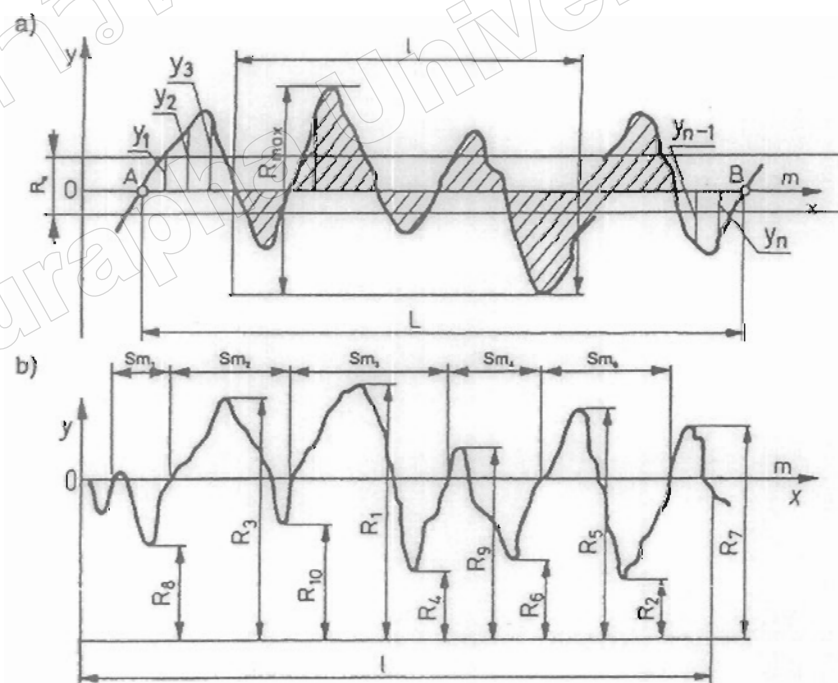


ภาพที่ 3-12 ตัวอย่างผลการตรวจวัดความหนาฟิล์มด้วยเทคนิค AFM

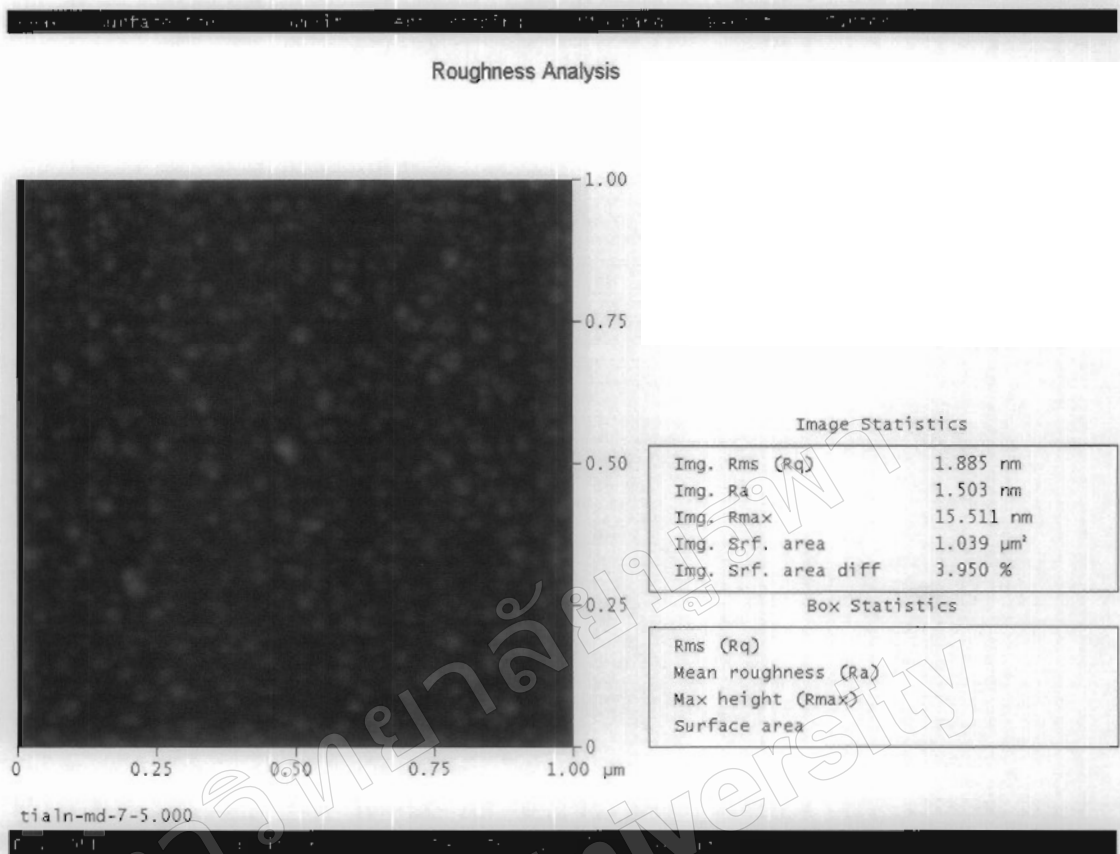
2.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม นำแผ่นซิลิกอน (วัสดุรองรับ) ที่เคลือบแล้วไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope มีความละเอียดในระดับนาโน โดยใช้พื้นที่ในการวิเคราะห์เท่ากับ $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ พร้อมวัดค่าความหยาบผิว โดยใช้เข็มตรวจวัดขนาดเล็กที่ทำจากซิลิกอนไนไตรด์ เคลื่อนที่กราดไปทั่วบริเวณต่าง ๆ ของผิววัสดุ สภาพผิวที่แตกต่างกันไปจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับเข็มตรวจวัด โดยตัวคานามีเข็มเกาะติดอยู่จะโค้งงอ ซึ่งตรวจวัดด้วยโฟโตดีเทคเตอร์ (ภาพที่ 3-14) ค่าความหยาบผิว (Root-Mean-Square Roughness, R_{rms}) หาจากสมการ

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (3-4)$$

เมื่อ n คือ จำนวนตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของบริเวณพื้นที่ผิวที่ทำการวัด
 Z_i คือ ค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของแต่ละตำแหน่งบนพื้นผิว
 $\bar{Z}$ คือ ความสูงเฉลี่ย

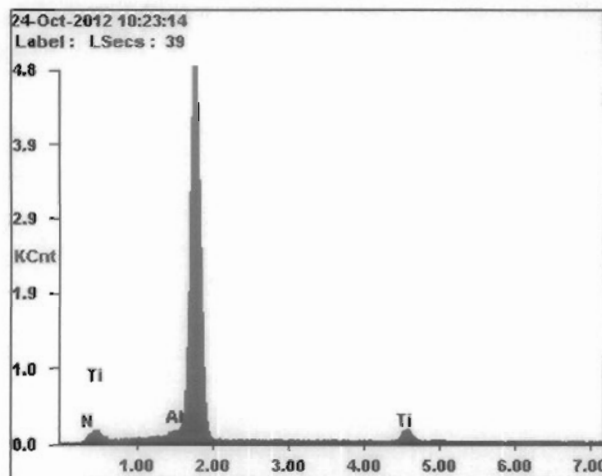


ภาพที่ 3-13 ตัวอย่างการหาความหยาบผิวเฉลี่ย (หนึ่งฤทัย แก้วไข, 2555)



ภาพที่ 3-14 ตัวอย่างผลการตรวจวัดลักษณะพื้นผิวฟิล์มด้วยเทคนิค AFM

3. องค์ประกอบธาตุทางเคมีของฟิล์ม ขั้นตอนนี้เป็น การนำฟิล์มที่เคลือบได้มาศึกษา องค์ประกอบของธาตุทางเคมี ด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) แสดงผล ดังภาพที่ 3-15



<i>N</i>	45.38	69.74
<i>Al</i>	16.41	13.09
<i>Ti</i>	38.21	17.17

ภาพที่ 3-15 ตัวอย่างผลการตรวจวัดองค์ประกอบธาตุของฟิล์มด้วยเทคนิค EDX

แนวทางการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้เตรียมฟิล์มไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์บนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ จากนั้นนำฟิล์มที่เคลือบได้ไปศึกษาลักษณะเฉพาะ แบ่งเป็น 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่อสมบัติของฟิล์มที่ได้

วิธีการทดลอง

1. การเคลือบฟิล์ม ขั้นตอนนี้เป็น การเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์บนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนโดยการแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดเงื่อนไขการเคลือบดังตารางที่ 3-1

2. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มที่ได้ โดยศึกษาโครงสร้างผลึก ขนาดผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ความหนา ลักษณะพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุ

ตารางที่ 3-1 เงื่อนไขการเคลือบเมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

เงื่อนไข	รายละเอียด
เป้าสารเคลือบ	ไทเทเนียม, อะลูมิเนียม
วัสดุรองรับ	กระจกสไลด์ และแผ่นซิลิกอน
ความดันพื้น (mbar)	5.0×10^{-5}
ความดันรวม (mbar)	5.0×10^{-3}
อัตราไหลแก๊สอาร์กอน (sccm)	16
อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน (sccm)	2, 4, 6, 8, 10
กำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม (W)	230
กำลังไฟฟ้าของเป้าอะลูมิเนียม (W)	65
เวลาเคลือบ (min)	60

การทดลองที่ 2 ผลของกำลังไฟฟ้าของเป่าไทดเนียม

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าของเป่าไทดเนียมต่อสมบัติของฟิล์มที่ได้

วิธีการทดลอง

1. การเคลือบฟิล์ม ขั้นตอนนี้เป็นการเคลือบฟิล์มบางไทดเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์บนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนโดยการแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป่าไทดเนียม ซึ่งมีรายละเอียดเงื่อนไขการเคลือบดังตารางที่ 3-2

2. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มที่ได้ โดยศึกษาโครงสร้างผลึก ขนาดผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ความหนา ลักษณะพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุ

ตารางที่ 3-2 เงื่อนไขการเคลือบเมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป่าไทดเนียม

เงื่อนไข	รายละเอียด
เป่าสารเคลือบ	ไทดเนียม, อะลูมิเนียม
วัสดุรองรับ	กระจกสไลด์ และแผ่นซิลิกอน
ความดันพื้น (mbar)	5.0×10^{-5}
ความดันรวม (mbar)	5.0×10^{-3}
อัตราไหลแก๊สอาร์กอน (sccm)	16
อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน (sccm)	10
กำลังไฟฟ้าของเป่าไทดเนียม (W)	100, 230, 360
กำลังไฟฟ้าของเป่าอะลูมิเนียม (W)	65
เวลาเคลือบ (min)	60