บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้กล่าวถึงอุปกรณ์ เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ตลอดรวมถึงขั้นตอนและวิธีการทดลอง ตั้งแต่การเตรียมฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์การศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ได้แก่ ค่าดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดับสูญและแถบพลังงานซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กรอบแนวคิดของงานวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์นี้เป็น 3 ส่วนคือ (1) การเตรียมฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ (2) การศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์และ (3) การศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์สรุปได้ดังนี้

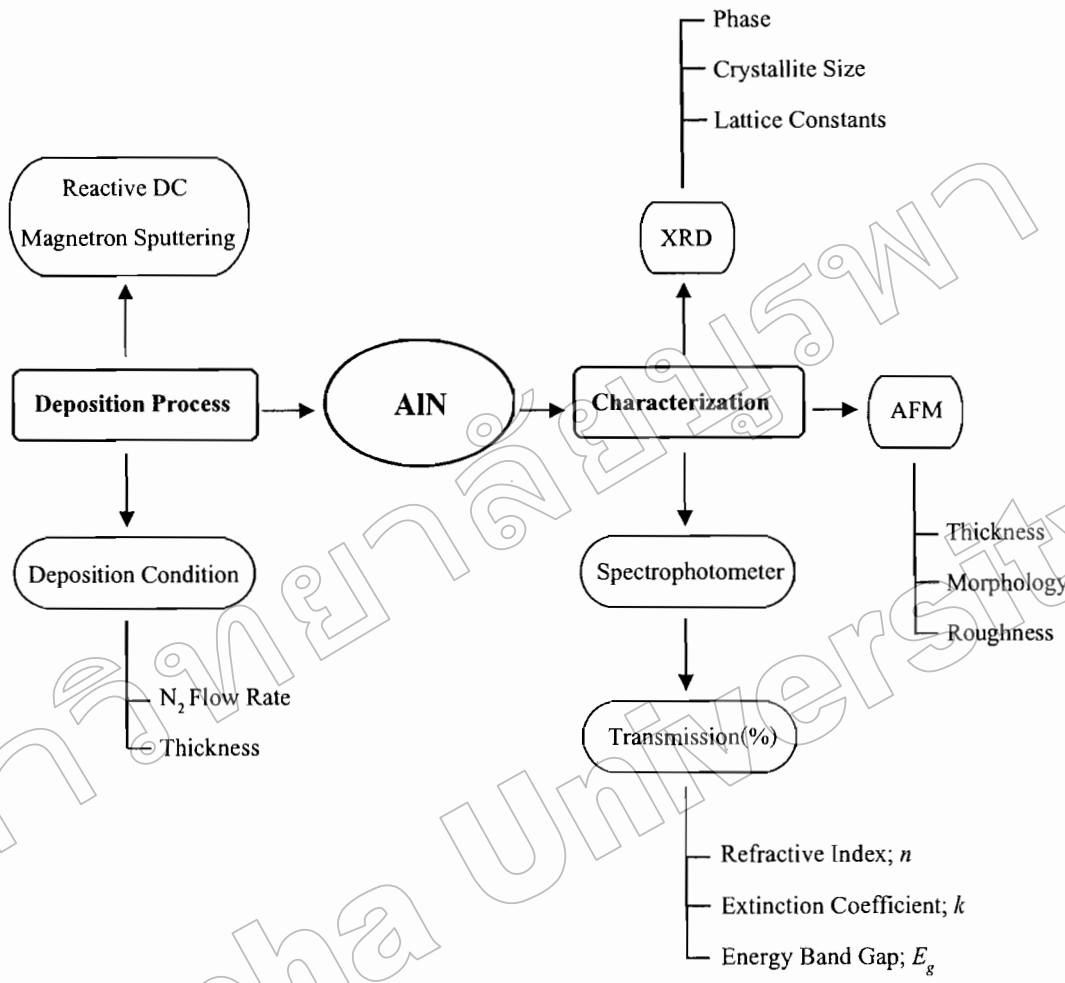
การเตรียมฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์เริ่มจากศึกษาอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเคลือบ ตัวแปรและขั้นตอนการเคลือบ ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ใช้การเคลือบด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง จากนั้นจึงทดลองเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์โดยศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนและความหนาของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ต่อโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

การศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ ด้วยเทคนิค XRD เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึก ขนาดผลึก ค่าคงที่แลตทิซ (Lattice Constants) และใช้เทคนิค AFM เพื่อศึกษาความหนา และลักษณะพื้นผิว

สำหรับสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ศึกษาโดยนำฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ไปวัดค่าการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นนำค่าการส่งผ่านแสงที่ได้ไปคำนวณหาค่าดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดับสูญ และแถบพลังงาน

สุดท้ายเป็นการอธิบายผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนและความหนาต่อโครงสร้างของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์และผลของความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 3-1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

1. การเตรียมฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

1.1 เครื่องเคลือบสุญญากาศระบบ รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ เครื่องเคลือบที่ใช้ในการวิจัยสร้างขึ้นโดยห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (ภาพที่ 3-2)

1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.2.1 เป้าสารเคลือบ (Target) เป็นเป้าอลูมิเนียม มีความบริสุทธิ์ 99.97 %

1.2.2 วัสดุรองรับ (Substrate) มี 2 ชนิดคือ

- กระจกสไลด์ใช้เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์ม
- แผ่นซิลิกอนใช้ในการศึกษาโครงสร้างผลึก ขนาดผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ความหนา และลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

1.2.3 แก๊ส (Gas) ประกอบด้วยแก๊ส 2 ชนิดคือ

- แก๊สอาร์กอน (99.999%) เป็นแก๊สสปัตเตอร์ (Sputtered Gas)
- แก๊สไนโตรเจน (99.995%) เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา (Reactive Gas)

2. การหาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

2.1 X-Ray Diffractrometer สำหรับศึกษาโครงสร้างผลึกงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง X-Ray Diffractrometerรุ่น Rint 2000 (Rigaku Corporation) ของภาควิชาโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 Atomic Force Microscopeสำหรับศึกษาความหนา และลักษณะพื้นผิวงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Atomic Force Microscope รุ่น Nanoscope IV (Veeco Instruments Inc.) ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

3.1 Spectrophotometer สำหรับวัดค่าการส่งผ่านแสงในช่วง 200-2500 nm งานวิจัยนี้จะใช้เครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV-VIS-NIR 3100 (Shimadzu Co., Ltd) ของสายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3.2 คำนวณหาค่าดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดับสูญ และแถบพลังงานของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์จากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ 3-2 เครื่องเคลือบสุญญากาศระบบรีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง ที่ใช้ในงานวิจัย

ภาพที่ 3-3 เครื่อง X-Ray Diffractrometer

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ 3-4 เครื่อง Atomic Force Microscope (AFM)

ภาพที่ 3-5 เครื่อง Spectrophotometer

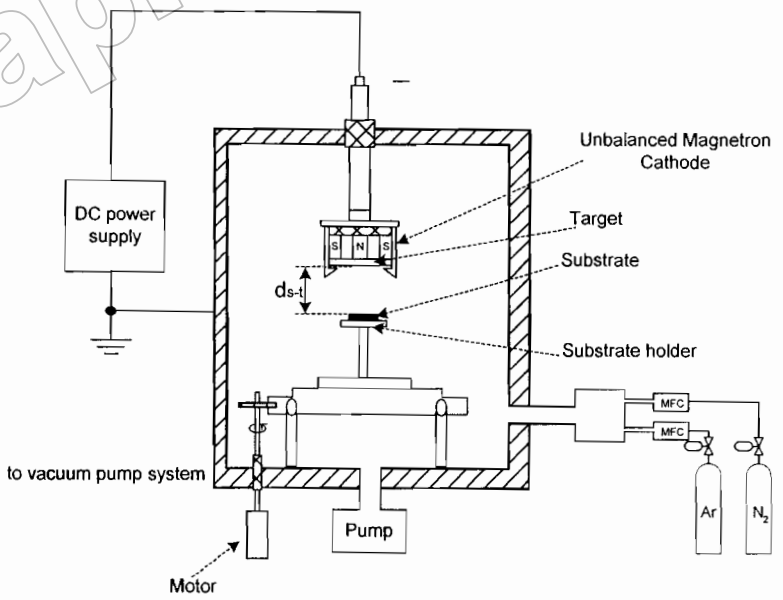
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบ รีแอคตีฟ ดีซี สปัตเตอริง

ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ในงานวิทยานิพนธ์นี้เตรียมจากเครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบ ดีซี อันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง (ภาพที่ 3-6) ด้วยเทคนิครีแอคตีฟ สปัตเตอริง ซึ่งเป็นกระบวนการภายใต้สภาวะสุญญากาศ ดังนั้นเพื่อให้ฟิล์มบางที่ได้มีคุณภาพและสมบัติตามที่ต้องการ จะต้องลดความดันภายในภาชนะสุญญากาศให้อยู่ในระดับ 10^{-5} mbar ส่วนประกอบของเครื่องเคลือบระบบสปัตเตอริงในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของระบบสุญญากาศ (Vacuum System) และ ส่วนของระบบเคลือบ (Coating System) รายละเอียดดังนี้

1. ส่วนระบบสุญญากาศ ประกอบด้วย ห้องเคลือบทรงกระบอกทำจาก สเตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 255.0 mm สูง 235.0 mm ระบบเครื่องสูบสุญญากาศประกอบด้วยเครื่องสูบแบบแพร่ไอแบบระบายความร้อนด้วยน้ำและมีเครื่องสูบกลโรตารีเป็นเครื่องสูบท้าย การวัดความดันภายในภาชนะสุญญากาศใช้มาตรวัดความดันของ Balzers รุ่น TPG300 โดยใช้หัววัดแบบพิรานี รุ่น TPR010 และหัววัดแบบเพนนิ่งรุ่น IKR050

2. ส่วนของระบบเคลือบ เป็นส่วนเตรียมฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ประกอบด้วย แมกนีตรอนคาโทด 1 หัว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 54.0 mm ระบายความร้อนด้วยน้ำติดตั้งเป้าอลูมิเนียม (99.97%) ที่คาโทดพร้อมภาคจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงใช้แก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์สูง (99.999%) เป็นแก๊สสปัตเตอร์ ใช้แก๊สไนโตรเจนความบริสุทธิ์สูง (99.995%) เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา สำหรับการจ่ายแก๊สอาร์กอน และแก๊สไนโตรเจนในกระบวนการเคลือบควบคุมด้วย Mass Flow Controller ของ MKStype247D



ภาพที่ 3-6 ไดอะแกรมของเครื่องเคลือบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การสร้างสภาวะสุญญากาศ

ก่อนทำการเคลือบฟิล์มด้วยวิธีสปัตเตอริง ต้องทำความดันในภาชนะสุญญากาศให้อยู่ในสภาวะสุญญากาศที่ระดับสุญญากาศสูง (High Vacuum) ความดันประมาณ 10^{-3} - 10^{-5} mbar เพื่อลดการปนเปื้อนของฟิล์มที่เคลือบได้เนื่องจากการคงค้างของแก๊สในภาชนะสุญญากาศ (Residual Gas) การสร้างสภาวะสุญญากาศจะใช้ระบบเครื่องสูบสุญญากาศ ประกอบด้วยเครื่องสูบแบบแพร่ไอ (Diffusion Pump) หนุนหลังด้วยเครื่องสูบกลโรตารี (Rotary Pump) ที่ต่อเข้ากับภาชนะสุญญากาศด้วยท่อและมีวาล์วควบคุมการปิด-เปิด (ภาพที่ 3-7) โดยในตอนต้นจะใช้เครื่องสูบกลโรตารีเพื่อลดความดันในภาชนะสุญญากาศจากความดันบรรยากาศเป็นความดันต่ำประมาณ 10^{-2} mbar ต่อมาจะใช้เครื่องสูบแบบแพร่ไอ เพื่อลดความดันในภาชนะสุญญากาศจาก 10^{-2} mbar ให้ลดลงอยู่ในช่วงความดัน 10^{-5} mbar

สำหรับขั้นตอนการสร้างภาวะสุญญากาศมีดังนี้

1. ตรวจเช็ควาล์วหยาบ (หมายเลข 9) วาล์วท้าย (หมายเลข 11) และวาล์วสุญญากาศสูง (หมายเลข 10) ให้อยู่ในสภาพปิดทั้งหมด

2. เปิดสวิทซ์หลักเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้แก่ระบบต่างๆของเครื่อง เช่น ระบบวัดความดันและระบบควบคุมการทำงานของระบบเครื่องสูบสุญญากาศเป็นต้นหลังจากนั้นเปิดสวิทซ์ Rotary เพื่อให้เครื่องสูบกลโรตารี (หมายเลข 7) ทำงาน

3. เริ่มสูบอากาศจากเครื่องสูบแบบแพร่ไอ โดยใช้เครื่องสูบกลโรตารีโดยเปิดวาล์วท้ายเพื่อให้เครื่องสูบกลโรตารีสูบอากาศออกจากเครื่องสูบกลแบบแพร่ไอ (หมายเลข 6) จนความดันในเครื่องสูบแบบแพร่ไอเมื่ออ่านจากพิรานีเกจ (หมายเลข 4) มีค่าน้อยกว่า 10^{-2} mbar ซึ่งเป็นความดันที่เครื่องสูบแบบแพร่ไอ สามารถทำงานได้ พร้อมทั้งเปิดสวิทซ์ Diffusion เพื่อให้ตัวทำความร้อนของเครื่องสูบแบบแพร่ไอทำงานเป็นการเริ่มต้มน้ำมัน ใช้ประมาณ 20 นาที

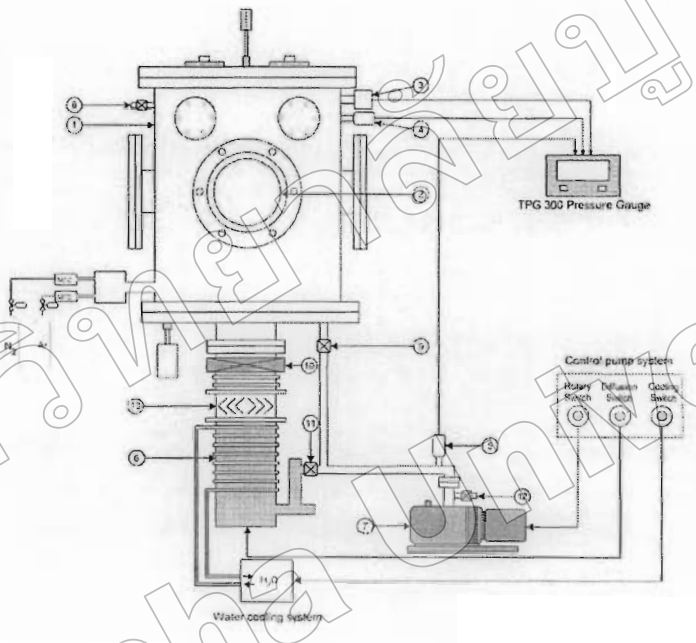
4. ในระหว่างการต้มน้ำมันนำวัสดุรองรับที่ต้องการเคลือบวางในภาชนะสุญญากาศ โดยก่อนวางวัสดุรองรับต้องตรวจความดันใน ภาชนะสุญญากาศยังคงอยู่ในสภาวะเป็นสุญญากาศหรือไม่ ถ้ายังเป็นสุญญากาศก็ทำการเปิดวาล์วปล่อย เพื่อให้อากาศเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศจนความดันในภาชนะสุญญากาศเท่ากับความดันบรรยากาศหลังจากนั้นทำการเปิดฝาครอบภาชนะสุญญากาศออก นำวัสดุรองรับที่ต้องการเคลือบไปวาง ปิดฝาครอบและปิดวาล์วปล่อยให้สนิท

5. สร้างสภาวะสุญญากาศขั้นต้นในภาชนะสุญญากาศโดยใช้เครื่องสูบกลโรตารี โดยการปิดวาล์วท้าย แล้วเปิดวาล์วหยาบเพื่อให้เครื่องสูบกลโรตารีสูบอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศ จนความดันในภาชนะสุญญากาศมีค่าประมาณ 10^{-2} mbar เมื่ออ่านความดันจากมาตรวัดความดันแบบช่วงกว้าง (หมายเลข 3)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

6. เมื่อต้มน้ำมันจนครบ 20 นาที ทำการสร้างสภาวะสุญญากาศสูงในภาชนะสุญญากาศด้วยเครื่องสูบแบบแพร่ไอโดยปิดวาล์วหยาบแล้วเปิดวาล์วท้ายหลังจากนั้นเปิดวาล์วสุญญากาศสูงเพื่อให้เครื่องสูบแบบแพร่ไอสูบอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศเพื่อทำความดันในภาชนะสุญญากาศให้อยู่ในระดับสภาวะสุญญากาศสูง หรืออยู่ในช่วง10^{-5}- 10^{-6} mbar

7. จับเวลาและรอจนความดันในภาชนะสุญญากาศมีค่าประมาณ 5 x 10^{-5} mbar ซึ่งกำหนดให้เป็นค่าความดันพื้น (P_b) ก่อนเริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์



ภาพที่ 3-7 ไดอะแกรมระบบเครื่องสูบสุญญากาศของระบบเครื่องเคลือบ

1. ภาชนะสุญญากาศ (Vacuum Chamber)
2. หน้าต่าง (Window)
3. มาตรวัดความดันเพนนิ่ง (Penning Gauge)
4. มาตรวัดความดันพิรานี (Pirani Gauge)
5. มาตรวัดความดันแบบพิรานี (Pirani Gauge)
6. เครื่องสูบแบบแพร่ไอ (Diffusion Pump)
7. เครื่องสูบกลโรตารี (Rotary Pump)
8. วาล์วปล่อย (Vent Valve)
9. วาล์วหยาบ (Roughing Valve)
10. วาล์วสุญญากาศสูง (High Vacuum Valve)
11. วาล์วท้าย (Backing Valve)
12. วาล์วปล่อย (Vent Valve)
13. แบฟเฟิล (Baffle)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การเตรียมวัสดุรองรับสำหรับการเคลือบฟิล์ม

ทั้งนี้ก่อนนำวัสดุรองรับมาเคลือบฟิล์มต้องนำมาทำความสะอาดเพื่อขจัดสิ่งสกปรก ได้แก่ คราบฝุ่นไขมันสารอินทรีย์ต่าง ๆ ก่อน ซึ่งจะทำให้ได้ผิววัสดุรองรับที่ได้มีความสะอาด ทำให้ฟิล์มที่เคลือบยึดติดแน่นลงบนผิวหน้าของวัสดุรองรับ สำหรับการทำความสะอาดวัสดุรองรับเริ่มจากนำวัสดุรองรับไปล้างด้วยไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) โดยใช้อัลตราโซนิกส์ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยอะซิโตนโดยใช้อัลตราโซนิกส์เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปล้างต่อด้วยไอโซโพรพานอล (Isopropanal) โดยใช้อัลตราโซนิกส์อีก 5 นาที นำวัสดุรองรับขึ้นด้วยคีมคีบเป่าด้วยลมร้อนให้แห้ง จากนั้นนำวัสดุรองรับใส่เข้าในภาชนะสุญญากาศเพื่อรอการเคลือบ ดังแสดงในภาพที่ 3-8

ภาพที่ 3-8 การล้างวัสดุรองรับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

การเคลือบฟิล์มบางในภาชนะสุญญากาศด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง มีรายละเอียดพอสรุปได้ดังนี้ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงถูกติดตั้งเข้ากับระบบเคลือบโดยต่อศักย์ไฟฟ้าลบเข้ากับขั้วคาโทดและต่อศักย์ไฟฟ้าบวก (Ground) กับภาชนะสุญญากาศ เป้าอลูมิเนียมจะถูกติดตั้งกับขั้วคาโทด โดยด้านบนของคาโทดจะต่อกับระบบไหลเวียนน้ำเย็นเพื่อใช้ระบายความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณคาโทดจากการสปัตเตอร์ของไอออนอาร์กอนที่บริเวณผิวหน้าเป้าสารเคลือบ ส่วนวัสดุรองรับถูกวางบนแผ่นรองรับที่ติดตั้งบนแท่นวางที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้โดยชัตเตอร์ (Shutter) ใช้สำหรับกั้นระหว่างวัสดุรองรับกับเป้าสารเคลือบ เพื่อป้องกันการเคลือบผิววัสดุรองรับในระหว่างกระบวนการทำความสะอาดหน้าเป้า (Pre Sputtering) และอุปกรณ์ Control Unit ที่เชื่อมต่อกับ Mass Flow Controller (MFC) ใช้บังคับการทำงานของเครื่องควบคุมการปล่อยแก๊สอย่างละเอียดเพื่อควบคุมอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนและ แก๊สไนโตรเจนที่เข้าสู่ภาชนะสุญญากาศโดยค่าอัตราการไหลของแก๊สจะมีหน่วยเป็น Standard Cubic Centimeter per Minute at STP (sccm)

ขั้นตอนในการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์มีรายละเอียดดังนี้

1. นำวัสดุรองรับที่ต้องการเคลือบวางไว้บนแท่นวางวัสดุรองรับ ปิดชัตเตอร์หน้าเป้าไทเทเนียมแล้วปิดฝาภาชนะสุญญากาศ

2. ลดความดันภายในภาชนะสุญญากาศเท่ากับ 5×10^{-5} mbar กำหนดเป็นค่าความดันพื้น (P_b) ของระบบก่อนทำการเคลือบฟิล์ม บันทึกค่าความดัน P_b ที่อ่านได้

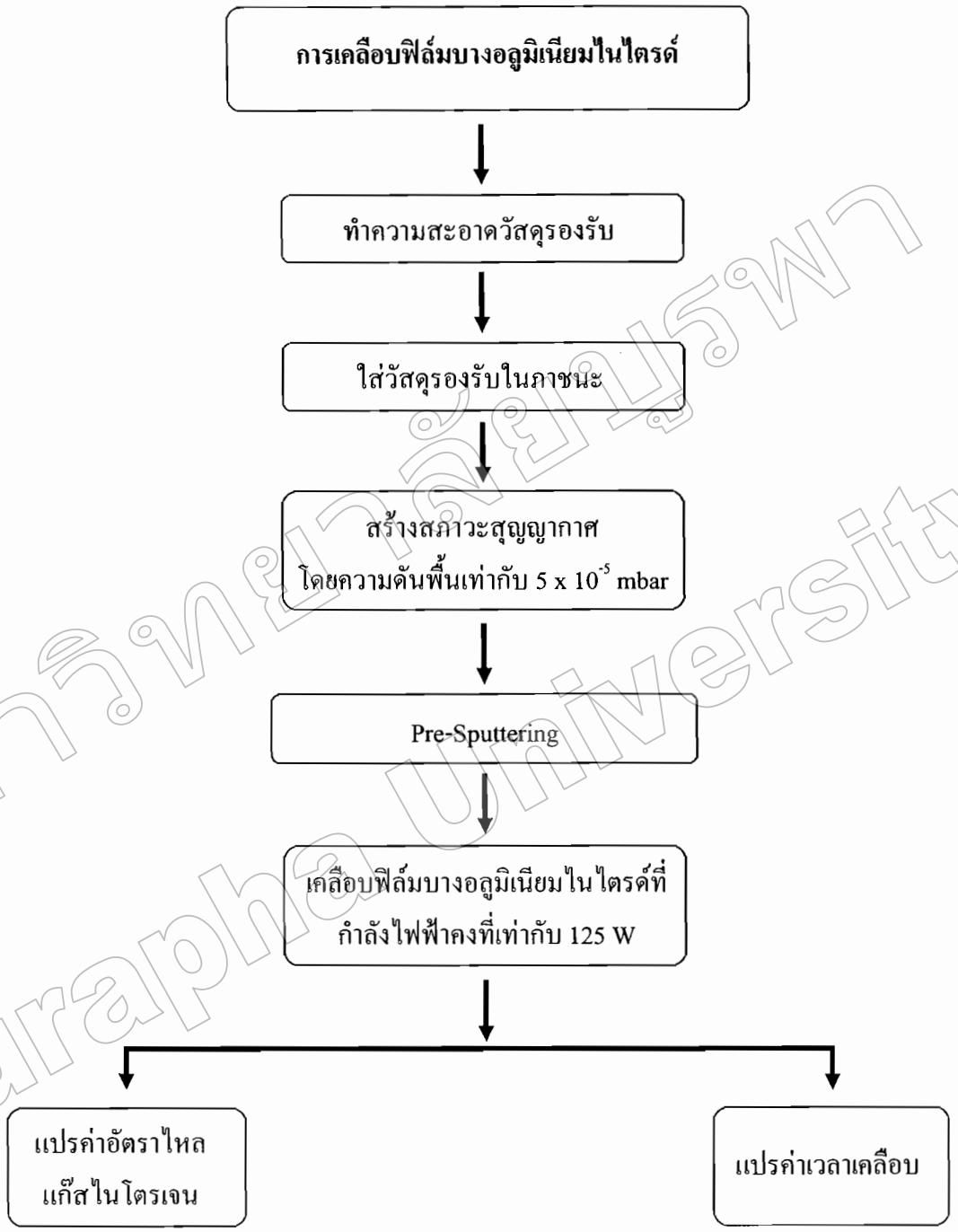
3. ทำความสะอาดหน้าเป้าสารเคลือบด้วยกระบวนการ Pre-Sputtering เป็นเวลา 3นาที

4. ขั้นตอนนี้เป็นการเคลือบฟิล์มโดยเริ่มจากการปล่อยแก๊สอาร์กอน และแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศตามค่าที่กำหนดไว้ในเงื่อนไขการทดลอง

5. จ่ายศักย์ไฟฟ้าลบให้แก่คาโทด จนเกิดโกลว์ดิสชาร์จ (ชัตเตอร์ยังคงปิดอยู่) เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้คาโทดและกระแสคาโทดที่วัดได้ไม่เปลี่ยนแปลง จะเริ่มการเคลือบฟิล์มบางโดยเปิดชัตเตอร์ที่ปิดหน้าเป้าออก เพื่อเริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มลงบนวัสดุรองรับ พร้อมทั้งบันทึกผลค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ค่ากระแสไฟฟ้า (I) และความดันรวม (P_t) ที่เกิดขึ้นขณะเริ่มเคลือบฟิล์ม และทำการเคลือบฟิล์มตามเวลา (t) ที่กำหนด

6. หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเคลือบฟิล์ม ปิดแหล่งจ่ายไฟ ปิดแก๊สอาร์กอนและแก๊สไนโตรเจน และปล่อยอากาศเข้าไปในภาชนะสุญญากาศ เพื่อนำวัสดุรองรับออก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 3-9 การเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิเคราะห์ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

การวิเคราะห์ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) โครงสร้างผลึกและลักษณะเฉพาะทางกายภาพของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์และ (2) สมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

ภาพที่ 3-10 การวิเคราะห์ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. โครงสร้างผลึกและลักษณะเฉพาะทางกายภาพของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ขั้นตอนนี้เป็นการนำฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่ได้มาศึกษาโครงสร้างผลึก ขนาดผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ลักษณะพื้นผิวและความหนา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์โดยนำวัสดุรองรับที่เป็นแผ่นซิลิกอนที่ผ่านการเคลือบแล้ว มาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractrometer เพื่อหาโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เกิดขึ้น โดยจะใช้ Cu-k_{α} เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ ใน Mode Low Angle กำหนดมุมวัดอยู่ในช่วง 20^{o} - 80^{o} สเปกตรัมที่วัดได้นำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์มาตรฐานอ้างอิงของแฟ้ม JCPDS

1.2 การหาขนาดผลึกของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์สำหรับการหาขนาดผลึกของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์สามารถหาได้จากรูปแบบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางที่เคลือบได้จากเครื่อง X-Ray Diffractrometer โดยใช้ Seherrer Equation ในการคำนวณหาขนาดผลึกของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่ได้หลังการเคลือบ

1.3 การหาค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์สำหรับการค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์สามารถหาได้จากรูปแบบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางที่เคลือบได้จากเครื่อง X-Ray Diffractrometer โดยใช้สมการการหาระยะห่างระหว่างระนาบผลึกของฟิล์มที่มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล ในการคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่ได้หลังการเคลือบ

1.4 การหาความหนาของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์โดยนำวัสดุรองรับที่เป็นแผ่นซิลิกอนที่ผ่านกระบวนการเคลือบแล้ว ไปวัดความหนาด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope โดยใช้เข็มขนาดเล็กทำจากซิลิคอนไนไตรด์เคลื่อนที่กราดบนผิวฟิล์มบางเพื่อตรวจวัดความหนา

1.5 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์โดยนำวัสดุรองรับที่เป็นแผ่นซิลิกอนที่ผ่านกระบวนการเคลือบแล้วไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope โดยมีความละเอียดในระดับนาโนและใช้พื้นที่ในการวิเคราะห์เท่ากับ 1 x 1 μm^2 พร้อมวัดค่าความหยาบผิว

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. สมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณหาค่าคงที่ทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์วัดค่าการส่งผ่านแสงบนกระจกสไลด์ที่เป็นวัสดุรองรับแล้วนำมาคำนวณหาดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดับสูญ และแถบพลังงาน

2.1 การหาดัชนีหักเหและสัมประสิทธิ์การดับสูญจากสเปคตรัมการส่งผ่านแสง

ดัชนีหักเหและสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางหาจากวิธี Envelope โดยใช้ข้อมูลจากสเปคตรัมการส่งผ่านแสงในการคำนวณ (จินดาวรรณ ธรรมปรีชา, 2553) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.1.1 การหาดัชนีหักเห (n)

2.1.1.1 นำฟิล์มบางที่เคลือบบนกระจกสไลด์ไปทำการวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2.1.1.2 นำเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงไปเขียนกราฟ โดยให้แกน x เป็นแกนของความยาวคลื่น และแกน y เป็นแกนของเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสง

2.1.1.3 สร้างซองครอบสเปกตรัมการส่งผ่านแสงโดยการลากเส้นผ่านค่าสูงสุด (T_M) และค่าต่ำสุด (T_m) ของสเปกตรัมการส่งผ่านแสงตลอดช่วงความยาวคลื่นที่สนใจดังภาพที่ 3-10

2.1.1.4 ลากเส้นตรงตั้งฉากกับแกน x ที่ความยาวคลื่นที่สนใจให้ตัดกับซองที่สร้างขึ้นเพื่อหาค่า T_M และ T_m ดังภาพที่ 3-11

2.1.1.5 นำค่า T_M และ T_m ที่ได้ไปแทนในสมการ 3-1

$$N = 2s\left(\frac{T_M - T_m}{T_M T_m}\right) + \frac{s^2+1}{2} \qquad (3\text{-}1)$$

เมื่อ $$s = \frac{1}{T_s} + \sqrt{\frac{1}{T_s^2} - 1} \qquad (3\text{-}2)$$

เมื่อ s คือดัชนีหักเหของกระจกสไลด์ และ T_s เป็นเปอร์เซ็นต์ค่าการส่งผ่านแสงของกระจกสไลด์ ($\lambda > 350\ nm$).

2.1.1.6 นำค่า N ที่ได้จากสมการ 3-1 ไปแทนในสมการ 3-3 จะได้ดัชนีหักเห (n) ของแต่ละความยาวคลื่นในช่วงที่สนใจ

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - s^2}} \qquad (3\text{-}3)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.1.2 การหาสัมประสิทธิ์การดับสูญ (k)

2.1.2.1 สัมประสิทธิ์การดูดกลืน ($\alpha_{(\lambda)}$) คำนวณได้จากสมการที่ 3-4 โดย d เป็นความหนาของฟิล์ม

$$\alpha_{(\lambda)} = -\frac{1}{d}\ln x \tag{3-4}$$

เมื่อ

$$x = \frac{F-\sqrt{F^2-\left(n^2-1\right)^3\left(n^2-s^4\right)}}{\left(n-1\right)^3\left(n-s^4\right)} \tag{3-5}$$

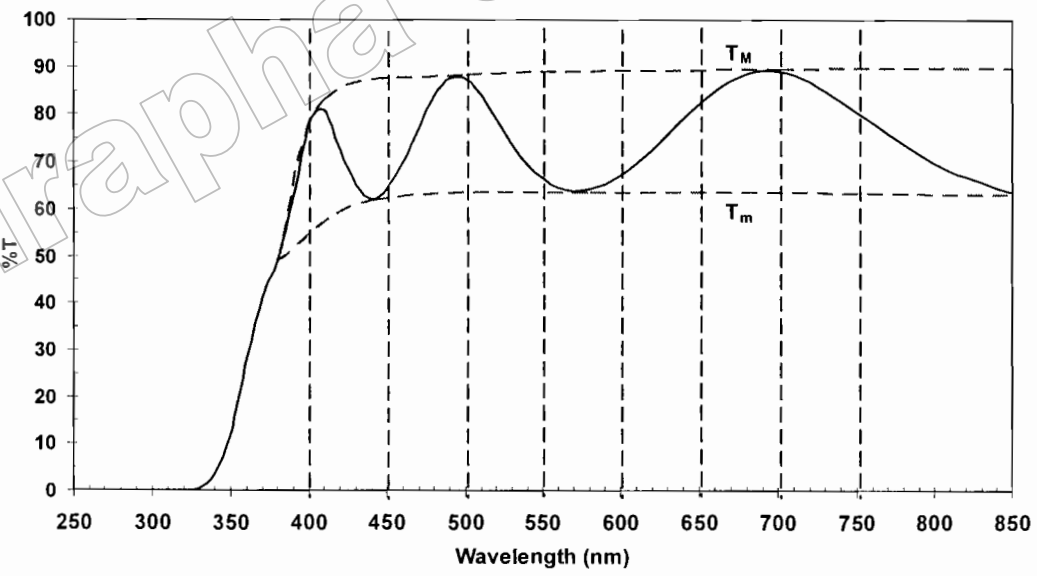
$$F = \frac{8n^2 s}{T_i} \tag{3-6}$$

และ

$$T_i = \frac{2T_M T_m}{T_M + T_m} \tag{3-7}$$

2.1.2.2 แทนค่า α จากสมการที่ 3-4 ในสมการที่ 3-8 จะได้สัมประสิทธิ์การดับสูญ (k) ของแต่ละความยาวคลื่นในช่วงที่สนใจ

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \tag{3-8}$$



ภาพที่ 3-11 ตัวอย่างซอง (Envelope) และการกำหนดค่าความยาวคลื่นของสเปคตรัมการส่งผ่านแสงสำหรับใช้ในการคำนวณหาดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดับสูญ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แนวทางการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเตรียมฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์บนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ จากนั้นนำฟิล์มอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ไปวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางกายภาพ และศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองมีขั้นตอนการทดลองสรุปได้ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

วัตถุประสงค์ เพื่อหาอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

1. การเตรียมฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ ขั้นตอนนี้เป็นการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์บนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนโดยการแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนในกระบวนการเคลือบ เพื่อหาอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3-1

2. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ขั้นตอนนี้เป็นการนำฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้มาศึกษาโครงสร้างผลึก ขนาดผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ความหนาและลักษณะพื้นผิว

ตารางที่ 3-1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ

เงื่อนไข	รายละเอียด
เป้าสารเคลือบ	อลูมิเนียม (99.97%)
วัสดุรองรับ	กระจกสไลด์ และแผ่นซิลิกอน
ความดันพื้น (mbar)	5.0×10^{-5}
กำลังไฟฟ้า (watt)	125
ระยะระหว่างเป้าสารเคลือบถึงวัสดุรองรับ (cm)	10
อัตราไหลแก๊สอาร์กอน (sccm)	15
อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน (sccm)	5, 10, 15
เวลาเคลือบ (min)	120

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของความหนา

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของความหนาต่อโครงสร้างของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

1. การเตรียมฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาต่าง ๆ ขั้นตอนนี้เป็นการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์บนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนโดยการแปรค่าความหนาจากเวลาเคลือบเพื่อศึกษาความหนาต่อโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3-2

2. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ขั้นตอนนี้เป็นการนำฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้มาศึกษาโครงสร้างผลึก ขนาดผลึกค่าคงที่แลตทิซ ความหนาและลักษณะพื้นผิว

ตารางที่ 3-2 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

เงื่อนไข	รายละเอียด
เป้าสารเคลือบ	อลูมิเนียม(99.99%)
วัสดุรองรับ	กระจกสไลด์ และแผ่นซิลิกอน
ความดันพื้น (mbar)	5.0×10^{-5}
กำลังไฟฟ้า (watt)	145
ระยะระหว่างเป้าสารเคลือบถึงวัสดุรองรับ (cm)	10
อัตราไหลแก๊สอาร์กอน (sccm)	15
อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน (sccm)	5
เวลาเคลือบ (min)	30, 60, 90, 120

การทดลองที่ 3 การศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

การศึกษาสมบัติทางแสง และแถบพลังงานของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบนกระจกสไลด์ จากการทดลองที่ 2 ไปวัดค่าการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แล้วนำมาคำนวณหาดัชนีหักเห และสัมประสิทธิ์การดับสูญ ด้วยวิธี Envelope

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University