

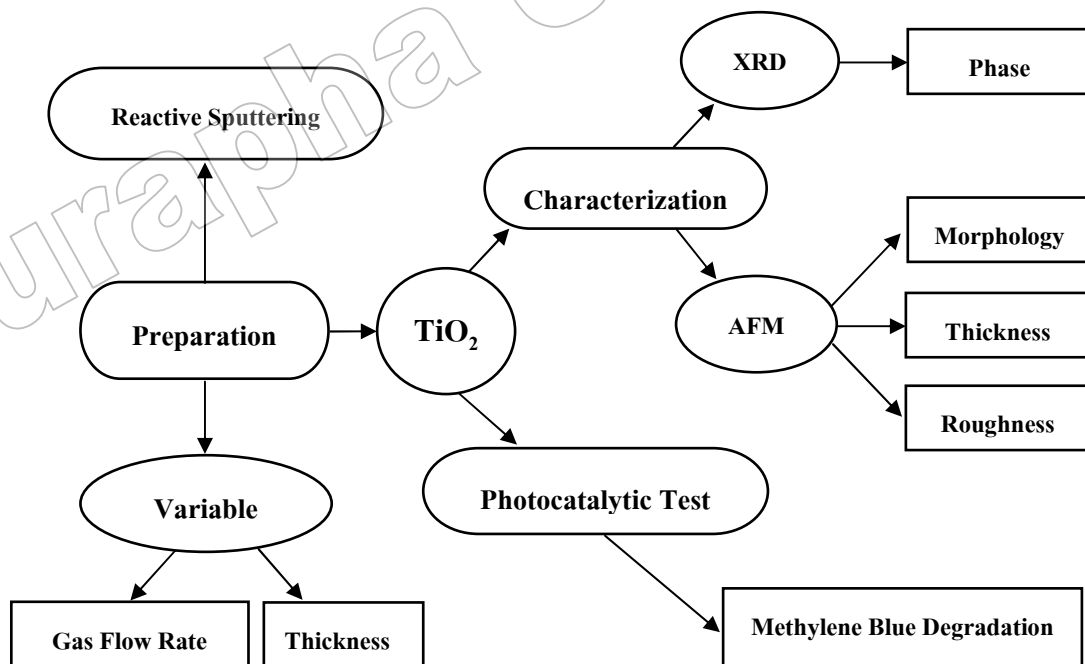
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้กล่าวถึงอุปกรณ์ เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงขั้นตอนและวิธีการทดลอง ตั้งแต่การเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ การศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์และการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกฟิล์ม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กรอบแนวคิดของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นกิจกรรมเป็น 3 ส่วน คือ (1) การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มเพื่อศึกษาผลของตำแหน่งวางวัสดุรองรับต่อการเกิดฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ และผลของอัตราไหลแก๊สต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์ม (2) การทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์โดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สและความหนา โดยพิจารณาจากความสามารถในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูซึ่งใช้เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ (3) สรุปผลโดยนำข้อมูลและผลที่ได้จากการทดลองมาสรุปเพื่ออธิบายผลของอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนและความหนาของฟิล์มที่มีต่อสมบัติโฟโตคะตะไลติกต่อไป



ภาพที่ 3-1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย

เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ (1) ส่วนการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ (2) การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ และ (3) การทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ที่เตรียมได้ มีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

1.1 เครื่องเคลือบสุญญากาศ เป็นระบบเคลือบแบบ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอร์ริง โดยเป็นเครื่องที่ออกแบบและสร้างขึ้นโดยห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบางภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.2.1 เป้าสารเคลือบเป็นเป้าไททาเนียม มีความบริสุทธิ์ 99.97 %

1.2.2 วัสดุรองรับ (Substrate) มี 2 ชนิดคือ ซิลิกอนและกระจกสไลด์ โดยซิลิกอนจะใช้ในการศึกษาโครงสร้างผลึกและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ส่วนแผ่นกระจกสไลด์จะใช้เพื่อทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติก

1.2.3 แก๊ส (Gas) ประกอบด้วยแก๊ส 2 ชนิดคือ แก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์ 99.999% และแก๊สออกซิเจนความบริสุทธิ์ 99.995% โดยที่แก๊สอาร์กอนใช้เป็นแก๊สสปีดเตอร์ (Sputtered Gas) ส่วนแก๊สออกซิเจนใช้เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา (Reactive Gas)

1.2.4 ไม้บรรทัดสแตนเลส สำหรับกำหนดตำแหน่งวางวัสดุรองรับในแนวรัศมี

1.3 สารเคมี

1.3.1 ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) ของบริษัท MERCK

1.3.2 อะซิโตน (Acetone) ของบริษัท MERCK

1.3.3 ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ของบริษัท VWR International Ltd

1.3.4 เอทานอล ของบริษัท MERCK

2. การทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

2.1 การเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู

2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1.1 บีกเกอร์ ขนาด 500 ml

2.1.1.2 แท่งแก้วคนสาร

2.1.1.3 กระดาษดวงสารแบบฟิวมัน

2.11.4 ซ้อนดักสาร

2.1.1.5 ตาชั่งดิจิตอลแบบทศนิยม 5 ตำแหน่ง

2.1.1.6 น้ำปราศจากไอออน (D. I. Water)

2.1.1.7 สารเมทิลีนบลู ($C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 2H_2O$) ของบริษัท Asia Pacific Specialty Chemical Limited

2.2 การทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

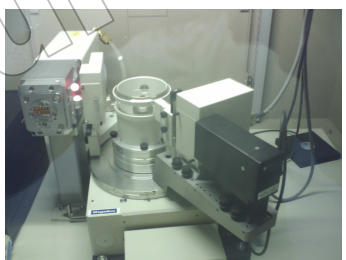
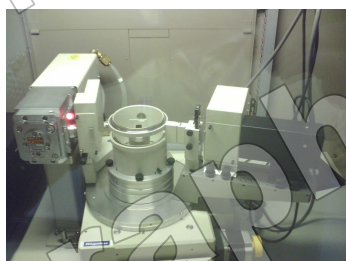
2.2.1 กล้องฉายแสง UV ขนาด กว้าง 22 cm ยาว 35 cm สูง 15 cm

2.2.2 หลอด UV ยี่ห้อ Philips รุ่น CLEO 15 W จำนวน 2 หลอด
ผลิตจากประเทศฮอลแลนด์

2.2.3 เครื่อง Spectrophotometer for color รุ่น UltraScan XE
บริษัท HunterLAB ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

3. ส่วนการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

3.1 X-Ray Diffractometer สำหรับศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ งานวิจัยนี้ใช้เครื่อง X-Ray Diffractometer รุ่น Rint 2000 (Rigaku Corporation) ของภาควิชาโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3-2 เครื่อง X-Ray Diffractometer



ภาพที่ 3-3 เครื่อง Spectrophotometer for Color

3.2 Spectrophotometer for Color สำหรับวัดค่าการส่งผ่านแสง งานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Spectrophotometer รุ่น UltraScan XE ของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (ภาพที่ 3-3)

3.3 Atomic Force Microscope สำหรับศึกษาลักษณะพื้นผิวและความหนาของ फिल्मบางไททานเนียมไดออกไซด์ งานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Atomic Force Microscope รุ่น Nanoscope IV (Veeco Instruments Inc.) ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ภาพที่ 3-4)



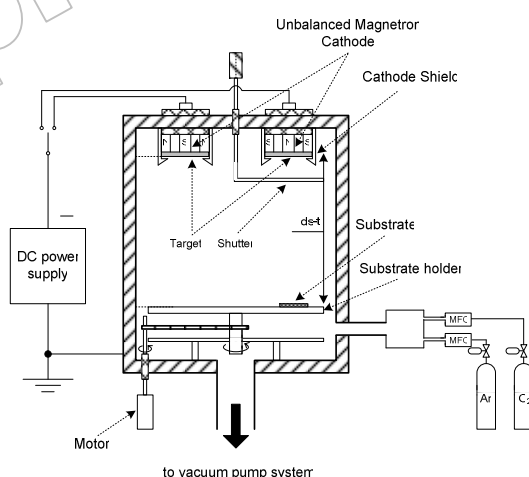
ภาพที่ 3-4 เครื่อง Atomic Force Microscope

เครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบ รีแอคทีฟ ดีซี สเป็คเตอรืง

ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ในงานวิจัยนี้เตรียมจากเครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบ ดีซี แมกนีตรอน สเป็คเตอรืง ((ภาพที่ 3-5) - (ภาพที่ 3-7)) ด้วยเทคนิค รีแอคทีฟ สเป็คเตอรืง ซึ่งเป็น กระบวนการเตรียมภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อให้ฟิล์มบางที่สมบัติตามที่ต้องการ โดยความดัน ภายในภาชนะสุญญากาศให้อยู่ในระดับ 10^{-5} mbar ทั้งนี้ส่วนประกอบของเครื่องเคลือบระบบ สเป็คเตอรืงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของระบบสุญญากาศ (Vacuum System) และ ส่วนของระบบเคลือบ (Coating System) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ส่วนระบบสุญญากาศ ประกอบด้วย ห้องเคลือบทรงกระบอกทำจาก สแตนเลส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 310.0 mm สูง 370.0 mm ระบบเครื่องสูบล้างสุญญากาศของเครื่องเคลือบ ประกอบด้วยเครื่องสูบบางแบบเพอร์โอบแบบระบายความร้อนด้วยน้ำและมีเครื่องสูบล้างโรตารีเป็น เครื่องสูบล้าง สำหรับการวัดความดันภายในภาชนะสุญญากาศใช้มาตรวัดความดันของ Balzers รุ่น TPG300 โดยใช้หัววัดแบบพิรามิ รุ่น TPR010 และหัววัดแบบเพนนิ่งรุ่น IKR050

2. ส่วนของระบบเคลือบ เป็นส่วนในการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ประกอบด้วย แมกนีตรอนคาโทด 2 หัว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 54.0 mm ระบายความร้อนด้วยน้ำ ติดตั้งเป้าไททาเนียม (99.97%) ที่คาโทด พร้อมภาคจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ใช้แก๊สอาร์กอน ความบริสุทธิ์สูง (99.999%) เป็นแก๊สสปัดเตอร์ ใช้แก๊สออกซิเจนความบริสุทธิ์สูง (99.999%) เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา สำหรับการจ่ายแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนในกระบวนการเคลือบ จะควบคุมด้วย Mass Flow Controller ของ MKS type247D



ภาพที่ 3-5 ส่วนประกอบหลักของระบบการเคลือบของเครื่องเคลือบ



ภาพที่ 3-6 เครื่องเคลือบในสุญญากาศที่ใช้ในงานวิจัย

- (a) ลักษณะของเครื่องทั้งระบบ
- (b) ภาชนะสุญญากาศ (ห้องเคลือบ)
- (c) ลักษณะภายในภาชนะสุญญากาศ (ห้องเคลือบ)
- (d) แผ่นปิดบนติดตั้งคาโทดขนาด 2 นิ้ว
- (e) ทรานสดิวเซอร์สำหรับจ่ายแก๊สและแก๊สที่ใช้
- (f) ระบบเครื่องสูบล้างสุญญากาศ
- (g) ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องเคลือบ

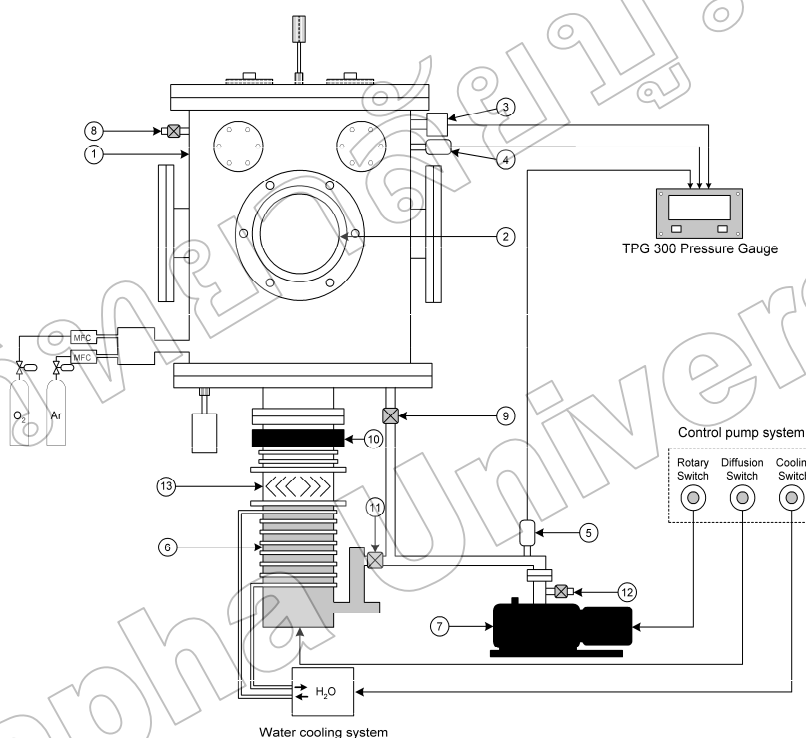
การสร้างสถานะสุญญากาศ

ก่อนทำการเคลือบฟิล์มในสถานะสุญญากาศด้วยวิธีสปีดเทอริง ต้องทำความดันในสถานะสุญญากาศให้อยู่ในสถานะสุญญากาศที่ระดับสุญญากาศสูง (High Vacuum) ความดันประมาณ $10^{-3} - 10^{-5}$ mbar เพื่อลดการปนเปื้อนของฟิล์มที่เคลือบได้ เนื่องจากการค้างอยู่ของแก๊สในสถานะสุญญากาศ (Residual Gas) โดยในการสร้างสถานะสุญญากาศจะใช้ระบบเครื่องสูบลสุญญากาศ ประกอบด้วยเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ (Diffusion Pump) ต่อพ่วงด้วยเครื่องสูบลโรตารีสำหรับเป็นปั๊มส่วนท้าย (Rotary Pump) และต่อเข้ากับสถานะสุญญากาศด้วยท่อและมีวาล์วควบคุมการปิด-เปิดดังแสดงในภาพที่ 3-7 โดยในตอนต้นจะใช้เครื่องสูบลโรตารีเพื่อลดความดันในสถานะสุญญากาศจากความดันบรรยากาศเป็นความดันต่ำประมาณ 10^{-2} mbar ต่อมาจะใช้เครื่องสูบบแบบแพร่ไอ เพื่อลดความดันในสถานะสุญญากาศจาก 10^{-2} mbar ให้ลดลงอยู่ในช่วงความดัน 10^{-5} mbar สำหรับขั้นตอนการสร้างภาวะสุญญากาศมีดังนี้

1. ตรวจสอบเช็ควาล์วหยาบ (หมายเลข 9) วาล์วท้าย (หมายเลข 11) และวาล์วสุญญากาศสูง (หมายเลข 10) ให้อยู่ในสภาพปิดทั้งหมด
2. เปิดสวิตช์หลัก เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้แก่ระบบต่าง ๆ ของเครื่อง เช่น ระบบวัดความดัน และระบบควบคุมการทำงานของระบบเครื่องสูบลสุญญากาศ เป็นต้น หลังจากนั้นเปิดสวิตช์ Rotary เพื่อให้เครื่องสูบลโรตารี (หมายเลข 7) ทำงาน
3. ทำการสูบลอากาศออกจากเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ โดยใช้เครื่องสูบลโรตารี โดยเปิดวาล์วท้าย เพื่อให้เครื่องสูบลโรตารีสูบลอากาศออกจากเครื่องสูบลแบบแพร่ไอ (หมายเลข 6) จนความดันในเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ เมื่ออ่านจากพิรานีเกจ (หมายเลข 4) มีค่าน้อยกว่า 10^{-2} mbar ซึ่งเป็นความดันที่เครื่องสูบบแบบแพร่ไอสามารถทำงานได้ พร้อมทั้งเปิดสวิตช์ Diffusion เพื่อให้แผ่นทำความร้อนของเครื่องสูบบแบบแพร่ไอทำงานเป็นการเริ่มต้มน้ำมัน ใช้เวลาประมาณ 20 นาที
4. ในระหว่างการต้มน้ำมันนำวัสดุรองรับที่ต้องการเคลือบวางในสถานะสุญญากาศ โดยก่อนวางวัสดุรองรับต้องตรวจความดันใน สถานะสุญญากาศยังคงอยู่ในสถานะเป็นสุญญากาศหรือไม่ ถ้ายังเป็นสุญญากาศก็ทำการเปิดวาล์วปล่อย เพื่อให้อากาศเข้าสู่สถานะสุญญากาศ จนความดันในสถานะสุญญากาศเท่ากับความดันบรรยากาศ หลังจากนั้นทำการเปิดฝาครอบสถานะสุญญากาศออก นำวัสดุรองรับที่ต้องการเคลือบไปวาง ปิดฝาครอบและปิดวาล์วปล่อยให้สนิท
5. สร้างสถานะสุญญากาศขั้นต้นในสถานะสุญญากาศโดยใช้เครื่องสูบลโรตารี โดยการปิดวาล์วท้าย แล้วเปิดวาล์วหยาบเพื่อให้เครื่องสูบลโรตารีสูบลอากาศออกจากสถานะสุญญากาศ จนความดันในสถานะสุญญากาศ มีค่าประมาณ 10^{-2} mbar เมื่ออ่านความดันจากมาตรวัดความดันแบบช่วงกว้าง (หมายเลข 3)

6. เมื่อคัมม้ำมันของเครื่องสูบบแบบแพร่ไอจนครบ 20 นาที ทำการสร้างสภาวะสุญญากาศสูง ในภาชนะสุญญากาศ ด้วยเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ โดยปิดวาล์วหยาบ แล้วเปิดวาล์วท้าย หลังจากนั้นเปิดวาล์วสุญญากาศสูง เพื่อให้เครื่องสูบบแบบแพร่ไอสูบอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศเพื่อทำความดันให้อยู่ในระดับสุญญากาศสูง ในช่วง 10^{-5} - 10^{-6} mbar

7. จับเวลาและรอนความดันในภาชนะสุญญากาศมีค่าประมาณ 5.0×10^{-5} mbar ซึ่งกำหนดให้เป็นค่าความดันพื้น (P_0) ก่อนเริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์

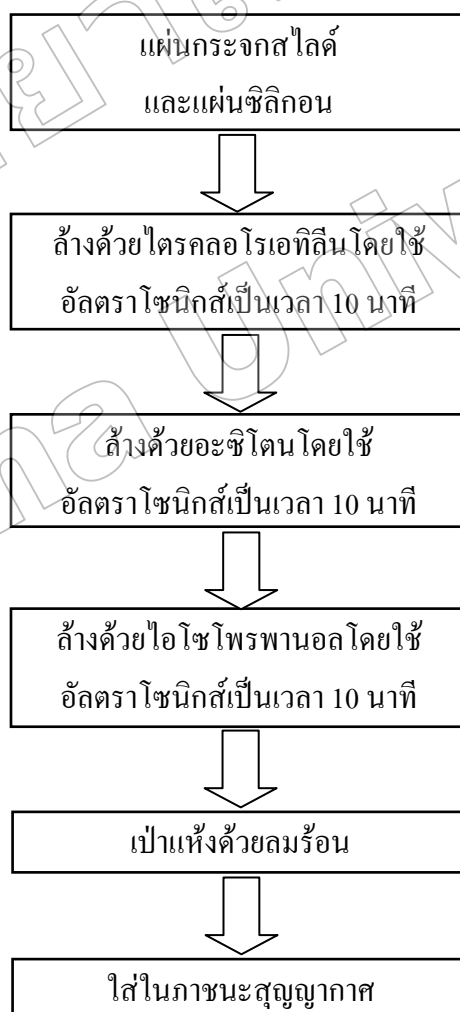


ภาพที่ 3-7 ไดอะแกรมระบบเครื่องสูบสุญญากาศ ของระบบเคลือบสปีดเตอร์ริง

- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| 1. ภาชนะสุญญากาศ | 8. วาล์วปล่อย |
| 2. หน้าต่าง | 9. วาล์วหยาบ |
| 3. มาตรวัดความดันแบบเพนนิ่ง | 10. วาล์วสุญญากาศสูง |
| 4. มาตรวัดความดันแบบพิราณี | 11. วาล์วท้าย |
| 5. มาตรวัดความดันแบบพิราณี | 12. วาล์วปล่อย |
| 6. เครื่องสูบบแบบแพร่ไอ | 13. แบริเยิล |
| 7. เครื่องสูบกกลโรตารี | |

ขั้นตอนการเตรียมวัสดุรองรับสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง

การเตรียมวัสดุรองรับเพื่อเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มี 2 ชนิด คือ แผ่นซิลิกอนและแผ่นกระจกสไลด์ ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ชนิด วัสดุรองรับต้องทำความสะอาด เพื่อขจัดสิ่งสกปรกก่อนนำไปเคลือบฟิล์ม ทำให้ฟิล์มที่เคลือบยึดติดแน่นลงบนผิวหน้าของวัสดุรองรับ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ เริ่มจากนำวัสดุรองรับไปล้างด้วยไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) โดยใช้อัลตราโซนิกส์ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยอะซิโตนโดยใช้อัลตราโซนิกส์ เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปล้างด้วยไอโซโพรพานอล (Isopropanol) โดยใช้อัลตราโซนิกส์อีก 10 นาที นำวัสดุรองรับเป่าด้วยลมร้อนจนแห้ง จากนั้นนำวัสดุรองรับใส่ไว้ในภาชนะสุญญากาศเพื่อรอการเคลือบ ดังแสดงในภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 ขั้นตอนการล้างวัสดุรองรับ

ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบาง

การเคลือบฟิล์มบางในภาชนะสุญญากาศด้วยวิธี รีแอกทีฟ ดีซี สปีดเตอริง มีรายละเอียดดังนี้ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงถูกติดตั้งเข้ากับระบบเคลือบโดยต่อสัคย์ไฟฟ้าลบเข้ากับขั้วคาโทด และต่อสัคย์ไฟฟ้าบวก (Ground) กับภาชนะสุญญากาศ เป้าไททานเนียมจะถูกติดตั้งกับขั้วคาโทด โดยด้านบนของคาโทดจะต่อกับระบบไหลเวียนน้ำเย็นเพื่อใช้ระบายความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณคาโทดจากการสปัตเตอร์ของไอออนอาร์กอนที่บริเวณผิวหน้าเป้าสารเคลือบ ส่วนวัสดุรองรับถูกวางบนไม้บรรทัดสแตนเลสที่ติดตั้งบนแท่นวางที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ และมีชัตเตอร์ (Shutter) ใช้สำหรับกั้นระหว่างวัสดุรองรับกับเป้าสารเคลือบ เพื่อป้องกันการเคลือบผิววัสดุรองรับ ในระหว่างกระบวนการทำความสะอาดหน้าเป้า (Pre Sputtering) และอุปกรณ์ Control Unit ที่เชื่อมต่อกับ Mass Flow Controller (MFC) ใช้บังคับการทำงานของเครื่องควบคุมการปล่อยแก๊สอย่างละเอียด เพื่อควบคุมอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนและออกซิเจนที่เข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ โดยค่าอัตราการไหลของแก๊สจะมีหน่วยเป็น Standard Cubic Centimeter per Minute at STP (sccm)

ขั้นตอนในการเคลือบฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์มีรายละเอียดดังนี้

1. นำวัสดุรองรับที่ต้องการเคลือบวางไว้บนแท่นวางวัสดุรองรับ ปิดชัตเตอร์หน้าเป้าไททานเนียม แล้วปิดฝาภาชนะสุญญากาศ
2. ลดความดันภายในภาชนะสุญญากาศ จนมีค่าเท่ากับ 3×10^{-5} mbar กำหนดเป็นค่าความดันพื้น (P_0) ของระบบก่อนทำการเคลือบฟิล์ม บันทึกค่าความดันพื้น ที่อ่านได้
3. ทำความสะอาดหน้าเป้าสารเคลือบด้วยกระบวนการ Pre-Sputtering เป็นเวลา 5 นาที ในบรรยากาศแก๊สอาร์กอน
4. ขั้นตอนนี้เป็นการเคลือบฟิล์มโดยเริ่มจากการปล่อยแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในเงื่อนไขการทดลอง
5. จ่ายสัคย์ไฟฟ้าลบให้แก่คาโทด จนเกิดโกลว์ดิสชาร์จ (ชัตเตอร์ยังคงปิดอยู่) เมื่อความต่างสัคย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้คาโทดและกระแสคาโทดขณะเคลือบคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง จะเริ่มการเคลือบฟิล์มบาง โดยเปิดชัตเตอร์ที่ปิดหน้าเป้าออก เพื่อเริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มลงบนวัสดุรองรับ พร้อมทั้งบันทึกผลค่าความต่างสัคย์ไฟฟ้า (V) ค่ากระแสคาโทด (I) และความดันรวม (P_0) ที่เกิดขึ้นขณะเริ่มเคลือบฟิล์ม และทำการเคลือบฟิล์มตามเวลา (t) ที่กำหนด
6. หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเคลือบฟิล์ม ปิดแหล่งจ่ายไฟ ปิดแก๊สอาร์กอน ปิดแก๊สออกซิเจน และปล่อยอากาศเข้าไปในภาชนะสุญญากาศ เพื่อนำวัสดุรองรับออก

การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

การศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ วิเคราะห์โครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิค XRD และการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว ความหนาของฟิล์มด้วยเทคนิค AFM รายละเอียดมีดังนี้

1. การศึกษาลักษณะทางโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer โดยจะใช้ $\text{Cu-K}\alpha$ เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ใน Mode Low Angle กำหนดมุมวัดอยู่ในช่วง $20^\circ - 65^\circ$ สเปกตรัมที่วัดได้จะบันทึกอยู่ในรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เปรียบเทียบกับค่ามุม 2θ ที่ตำแหน่งความเข้มสูงสุดกับมาตรฐานอ้างอิงของเฟส JCPDS เพื่อหารูปแบบโครงสร้างผลึกของฟิล์มที่เคลื่อนได้ต่อไป

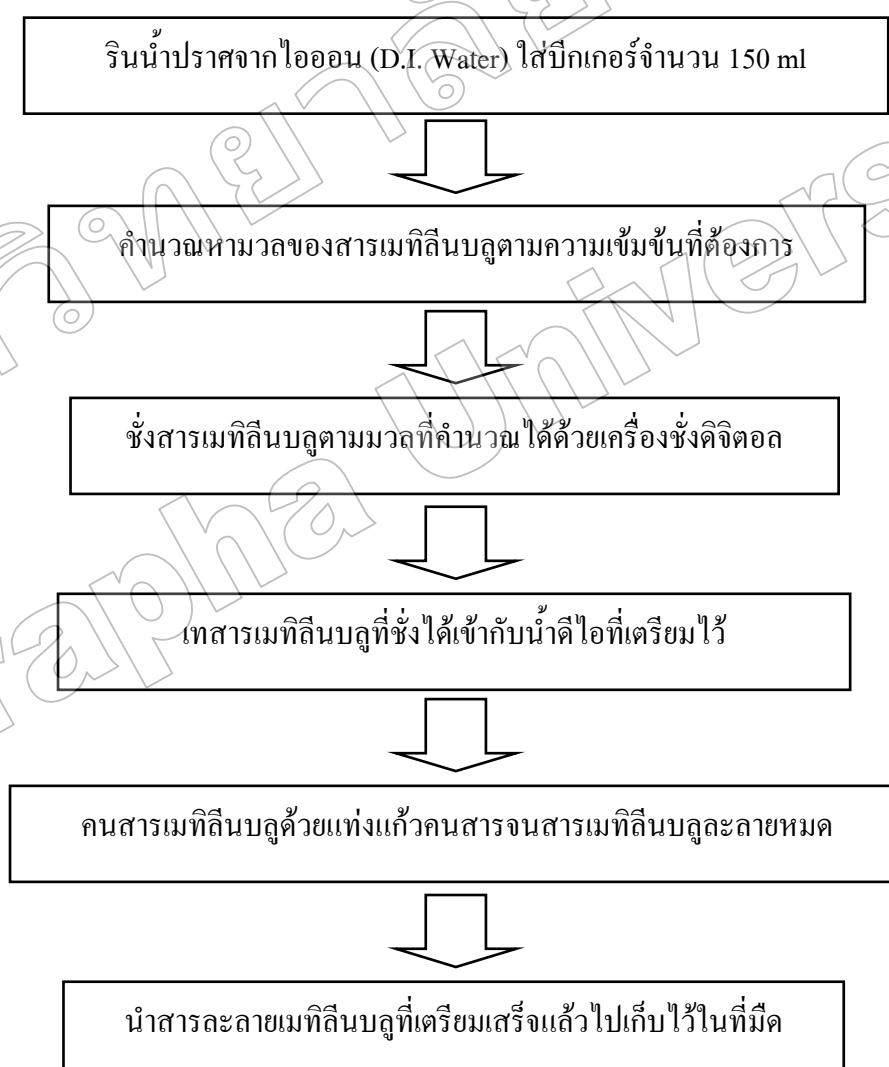
2. การหาลักษณะพื้นผิวและความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่องด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope ที่ใช้เข็มขนาดเล็กทำจากซิลิกอนไนไตรด์เคลื่อนที่บนผิวของฟิล์มบางที่มีระดับต่างกันเพื่อตรวจวัดความหนา ส่วนลักษณะพื้นผิวของฟิล์มจะใช้พื้นที่ในการวิเคราะห์เท่ากับ $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ พร้อมทั้งวัดค่าความหยาบผิว

การเตรียมสารละลายเมทิลีนบลูสำหรับทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติก

โดยทั่วไปการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ จะทดสอบในสารอินทรีย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้สารเมทิลีนบลูเป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ ซึ่งในการเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนเตรียมสารละลายเมทิลีนบลูและส่วนทดสอบการย้อมติดบนกระจกที่เคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ของสารละลายเมทิลีนบลู ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู งานวิจัยนี้ต้องใช้สารละลายเมทิลีนบลูในการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกสำหรับขั้นตอนในการเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู เริ่มจากการนำบีกเกอร์สำหรับใส่สารละลายเมทิลีนบลูและเครื่องแก้วทุกชนิดยกเว้นกระดาษตวงสาร มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสบู่ โดยใช้ฟองน้ำ เมื่อล้างน้ำสบู่แล้วล้างด้วยน้ำเปล่าอีกครั้ง เสร็จแล้วเป่าภาชนะให้แห้งด้วยลมร้อน หากยังมีคราบอยู่ให้ล้างใหม่อีกครั้ง ขั้นตอนการเตรียมสารละลายเมทิลีนบลูแสดงรายละเอียดในภาพที่ 3-9 เมื่อล้างภาชนะเสร็จแล้วนำบีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 200 ml มารินน้ำปราศจากไอออนลงไปจำนวน 150 ml และปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยด์ เพื่อป้องกันฝุ่นละอองตกลงไปในน้ำ จากนั้นนำกระดาษมันมารองสารเมทิลีนบลูในขณะที่ทำการชั่ง โดยวางกระดาษมันลงบนเครื่องชั่งดิจิตอลและปรับค่ามวลเริ่มต้นเป็นศูนย์ จากนั้นตักเมทิลีนบลูด้วยช้อนตักสารเหลวบนตาชั่งตามปริมาณที่ต้องการสำหรับความเข้มข้นที่กำหนด ซึ่งจาก

การศึกษางานวิจัยของนักวิจัยอื่นที่รายงานไว้ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูที่ใช้ในการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกมีหลายค่า ดังนั้นการเตรียมสารละลายเมทิลีนบลูในครั้งนี้จึงแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูดังนี้ 0.05 mmol/l 0.5 mmol/l 1 mmol/l 10 mmol/l และ 40 mmol/l เมื่อตวงสารเมทิลีนบลูได้มวลตามต้องการแล้ว จึงเทสารเมทิลีนบลูลงในน้ำปราศจากไอออนที่เตรียมไว้แล้ว 150 ml และคนด้วยแท่งแก้วคนสารจนสารเมทิลีนบลูละลายหมด เมื่อได้สารละลายเมทิลีนบลูแล้วให้ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์แล้วนำไปเก็บไว้ในที่มืดเพื่อนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มาทดสอบการย่อยสลาย ตัวอย่างของสารละลายเมทิลีนบลูที่เตรียมได้แสดงในภาพที่ 3-10

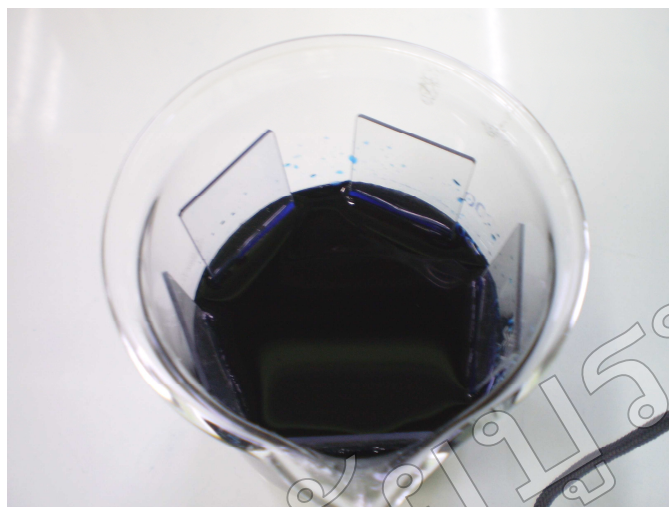


ภาพที่ 3-9 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู

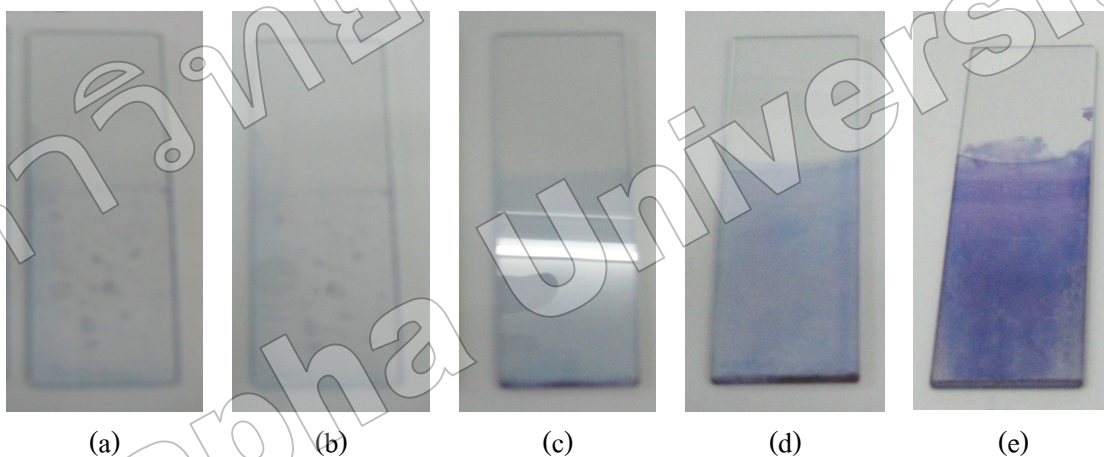


ภาพที่ 3-10 ตัวอย่างสารละลายเมทิลีนบลูที่เตรียมได้

2. การย้อมติดสารเมทิลีนบลูบนกระจกเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ ก่อนที่จะนำฟิล์มที่เคลือบได้ไปทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติก จะต้องหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายเมทิลีนบลู เพื่อให้สารเมทิลีนบลูย้อมติดบนกระจกที่เคลือบด้วยฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ สำหรับความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูที่จะนำมาทดสอบการย้อมติดได้เตรียมไว้ 5 ความเข้มข้น คือ 0.05 mmol/l 0.5 mmol/l 1 mmol/l 10 mmol/l และ 40 mmol/l และในการทดสอบจะใช้ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบไว้เพื่อเป็นฟิล์มทดสอบ สำหรับการทดลองหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม ก่อนที่จะใช้ฟิล์มชุดที่เคลือบตามเงื่อนไขจริงมาทดสอบ ในการทดสอบทำโดยนำฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ชุดทดสอบมาแช่ในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ภาพที่ 3-11) เมื่อแช่ครบตามเวลาให้นำฟิล์มที่ขึ้นจากสารละลายเมทิลีนบลูมาเก็บไว้ในที่มีดจนสารละลายที่ติดอยู่บนผิวของฟิล์มแห้ง จากนั้นสังเกตลักษณะการย้อมติดของสารเมทิลีนบลูบนผิวหน้าฟิล์ม (ภาพที่ 3-12) เมื่อได้สารเมทิลีนบลูแห้ง ติดอยู่บนผิวหน้าฟิล์มแล้ว จึงนำฟิล์มไปทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกโดยดูผลการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูจากค่าแอมชอร์แบนซ์ที่เปลี่ยนไป เพื่อพิจารณาว่าความเข้มข้นใดเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์ม ซึ่งหากค่าแอมชอร์แบนซ์ของสารเมทิลีนบลูบนฟิล์มลดลงแสดงว่าเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ การทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ชุดทดสอบแสดงในภาพที่ 3-13

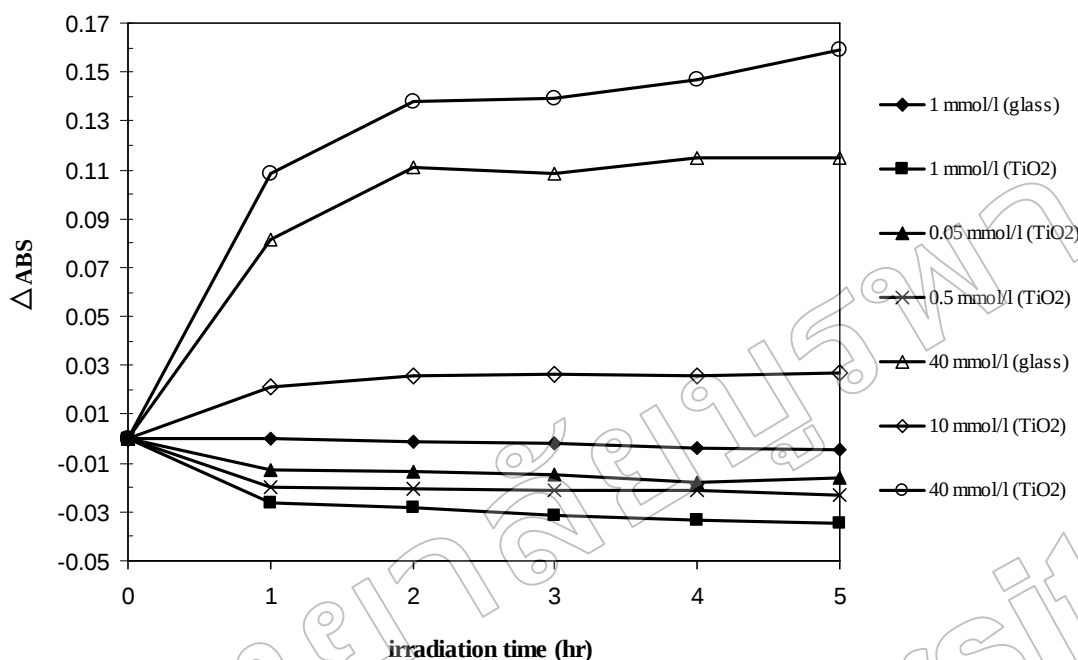


ภาพที่ 3-11 การแช่กระจกเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในสารละลายเมทิลีนบลู



ภาพที่ 3-12 เมทิลีนบลูแห้งบนกระจกเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

- (a) สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0.05 mmol/l
- (b) สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0.5 mmol/l
- (c) สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1.0 mmol/l
- (d) สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 10 mmol/l
- (e) สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 40 mmol/l



ภาพที่ 3-13 ค่าแอมพลิจูดของสารเมทิลีนบลูความเข้มข้นต่าง ๆ บนฟิล์มชุดทดสอบ เมื่อฉายแสงยูวี 5 ชั่วโมง

จากภาพที่ 3-12 เห็นได้ว่าเมื่อนำกระจกเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ไปแช่ในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นต่าง ๆ กัน แล้วนำขึ้นมาปล่อยให้แห้งในที่มืดพบว่ากระจกเคลือบฟิล์มที่แช่สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0.05 mmol/l และ 0.5 mmol/l มีสารเมทิลีนบลูติดเพียงเล็กน้อยและติดไม่สม่ำเสมอ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูเป็น 1 mmol/l พบว่าสารเมทิลีนบลูติดบาง ๆ สม่ำเสมอเป็นสีฟ้า แสงส่องผ่านได้มาก และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูเป็น 10 mmol/l พบว่าสารเมทิลีนบลูติดสม่ำเสมอเป็นสีฟ้าเข้ม แสงส่องผ่านได้น้อยลงและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูเป็น 40 mmol/l พบว่าสารเมทิลีนบลูติดสม่ำเสมอเป็นสีน้ำเงินเข้ม แสงส่องผ่านได้น้อย

เมื่อได้สารเมทิลีนบลูที่แห้งติดบนกระจกเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็นำฟิล์มไปทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกโดยนำไปฉายแสงยูวีเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ผลการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มชุดทดสอบแสดงในภาพที่ 3-13 ซึ่งเป็นค่าแอมพลิจูดที่เปลี่ยนไปของสารเมทิลีนบลูบนฟิล์มชุดทดสอบตามเวลา จะเห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูที่ทำให้ฟิล์มแสดงสมบัติ โฟโตคะตะไลติกดีที่สุดเท่ากับ

1 mmol/l และจากการช้อมฟิล์มด้วยความเข้มข้นเท่ากับ 1 mmol/l สารเมทิลีนบลูที่แห้งติดบนผิวฟิล์มมีความสม่ำเสมอและแสงส่องผ่านได้ดี ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zeman and Takabayashi (2002) ที่ศึกษาสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มด้วยวิธีการย่อยสลายเมทิลีนบลู โดยพิจารณาจากค่าแอมซอร์แบนซ์ที่ลดลงหลังการเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลติกและโดยใช้สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1 mmol/l สำหรับช้อมฟิล์มเช่นกัน

การทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

งานวิจัยนี้นำฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้มาทดสอบการย่อยสลายเมทิลีนบลูจากกระบวนการโฟโตคะตะไลติกของฟิล์ม ซึ่งขั้นตอนการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

1. เตรียมสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1 mmol/l
2. นำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ต้องการทดสอบมาแช่ในสารละลายเมทิลีนบลูเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยขณะแช่ฟิล์มต้องทำในที่มืด (ภาพที่ 3-14)
3. เมื่อแช่ฟิล์มครบตามเวลาให้นำฟิล์มขึ้นจากสารละลายแล้วนำไปวางไว้ในที่มีดจนสารเมทิลีนบลูที่ติดอยู่บนผิวฟิล์มแห้ง
4. นำฟิล์มที่มีสารเมทิลีนบลูแห้งติดอยู่บนผิวไปวัดค่าความส่องผ่านแสงก่อนทำการฉายแสงยูวีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แล้วบันทึกเป็นค่า T_0
5. นำฟิล์มไปวางในกล่องดำที่มีหลอดยูวีเพื่อเตรียมฉายแสงยูวี (ภาพที่ 3-14)
6. ฉายแสงยูวีโดยทุก ๆ 1 ชั่วโมง นำฟิล์มออกมาวัดค่าการส่องผ่านแสงหลังฉายแสงยูวีบันทึกเป็นค่า T_i
7. คำนวณหาค่าผลต่างแอมซอร์แบนซ์ที่เปลี่ยนไปของสารเมทิลีนบลูโดยใช้สมการ (3-1)

$$\Delta ABS = \ln \frac{T_0}{T_i} \quad (3-1)$$

เมื่อ ΔABS คือ ผลต่างค่าแอมซอร์แบนซ์

T_0 คือ ความส่องผ่านแสงก่อนการฉายแสงยูวี (%)

T_i คือ ความส่องผ่านแสงหลังการฉายแสงยูวี (%)

8. นำค่าผลต่างแอมพอร์แบนซ์ของสารเมทิลีนบลูที่คำนวณได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับเวลา พิจารณาสมบัติโฟโตคะตะไลติกที่เกิดขึ้นของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์



ภาพที่ 3-14 การแช่ฟิล์มในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1 mmol/l และกล่องสำหรับฉายแสงยูวี



ภาพที่ 3-15 การวางฟิล์มในกล่องฉายแสงยูวี

การเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ

การเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในงานวิจัยนี้ใช้วิธี รีแอคทีฟ สปีดเตอริง จากนั้นนำฟิล์มไปหาลักษณะเฉพาะและทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกโดยการย่อยสลายสารเมทิลีนบลู แนวทางการเตรียมฟิล์มในแต่ละตอนมีดังนี้

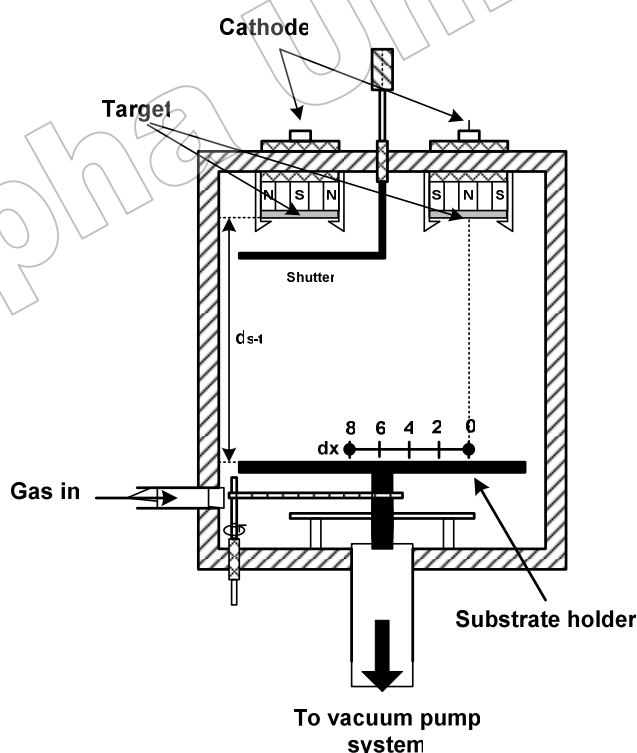
1. การเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างผลึกแบบอนาเทส

1.1 ผลของตำแหน่งวางวัสดุรองรับในแนวนอน (d_x) ต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์ม

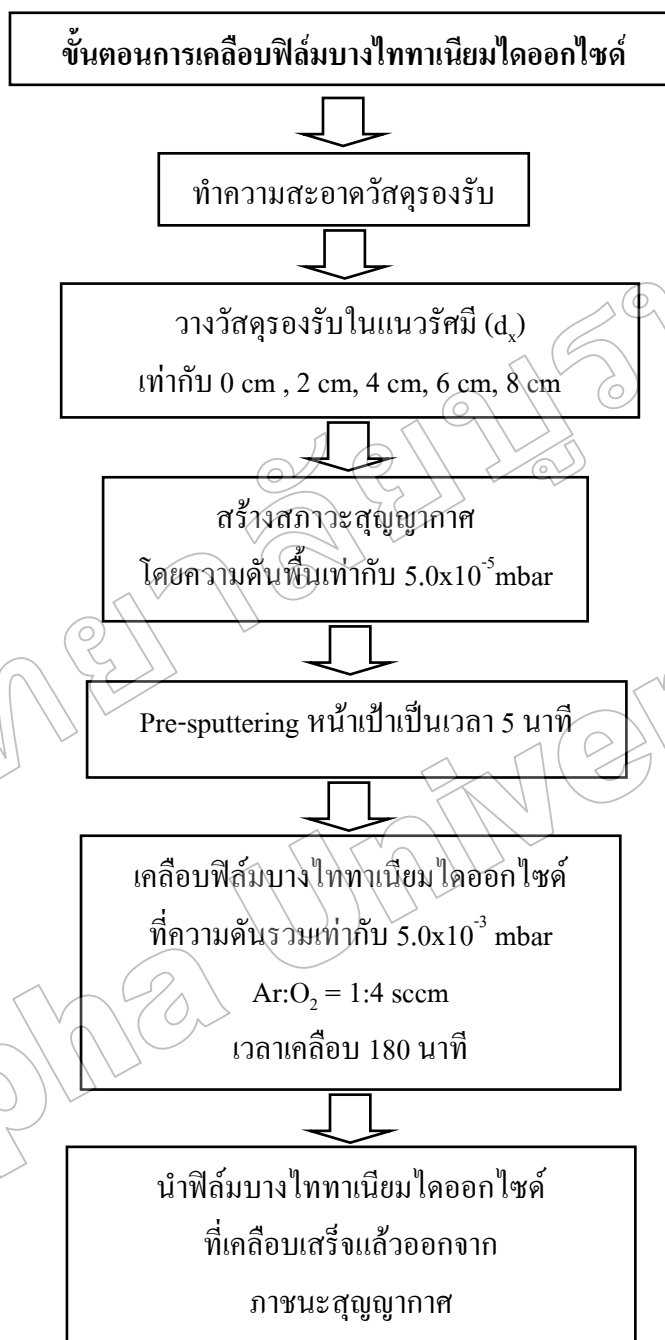
วัตถุประสงค์: เคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อหาตำแหน่งวางวัสดุรองรับที่เหมาะสมต่อการเกิดฟิล์มโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส

แนวทางการเคลือบฟิล์ม: วางแผ่นซิลิกอนบนแท่นวางวัสดุรองรับในแนวนอน (d_x)

ห่างกันตำแหน่งละ 2 cm (ภาพที่ 3-16) จากนั้นสร้างสภาวะสุญญากาศและเคลือบฟิล์มโดยกำหนดอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนเท่ากับ 1:4 sccm ตามงานวิจัยของ ชีระวิทย์ ดิเลศ (2550) ที่ใช้เครื่องเคลือบเดียวกันนี้ เงื่อนไขและขั้นตอนการเคลือบแสดงในตารางที่ 3-1 และ ภาพที่ 3-17 ตามลำดับ เมื่อเคลือบฟิล์มเสร็จแล้ว นำฟิล์มไปหาลักษณะเฉพาะเพื่อสรุปตำแหน่งวางวัสดุรองรับที่เหมาะสม



ภาพที่ 3-16 แผนผังการวางแผ่นซิลิกอนในสถานะสุญญากาศที่ตำแหน่งแนวนอน (d_x) ต่าง ๆ



ภาพที่ 3-17 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์โดยแปรค่า d_x

ตารางที่ 3-1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์แปรค่าตำแหน่ง d_x

เงื่อนไขการเคลือบ	รายละเอียด
เป้าสารเคลือบ (Target)	ไททานเนียมบริสุทธิ์ 99.97%
วัสดุรองรับ (Substrate)	แผ่นซิลิกอน (100)
ความดันพื้น (Base pressure)	5.0×10^{-5} mbar
ความดันรวม (Total pressure)	5.0×10^{-3} mbar
ระยะระหว่างเป้าสารเคลือบถึงวัสดุรองรับ (d_{s-t})	12 cm
อัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน (Ar:O ₂)	1:4 sccm
ตำแหน่งวางวัสดุรองรับในแนวนอน (d_x)	0, 2, 4, 6, 8 cm
ความต่างศักย์คาโทด (V)	420 V
กระแสคาโทด (I)	500 mA
เวลาที่ใช้ในการเคลือบ (Deposited time)	180 นาที

1.2 ผลของอัตราไหลแก๊สต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์

วัตถุประสงค์ : เคลือบฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์เพื่อนำไปศึกษาผลของอัตราไหล

แก๊สในกระบวนการเคลือบต่อโครงสร้างผลึกลักษณะพื้นผิวและความหนาของฟิล์ม

แนวทางการเคลือบฟิล์ม : ใส่แผ่นซิลิกอนในภาชนะสุญญากาศบนแท่นวางวัสดุ

รองรับในแนวนอนที่ตำแหน่ง $d_x = 4$ cm (ภาพที่ 3-18) เสร็จแล้วสร้างสถานะสุญญากาศและเคลือบ

ฟิล์มโดยกำหนดอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนเท่ากับ 1:2 sccm 1:4 sccm และ 1:6 sccm

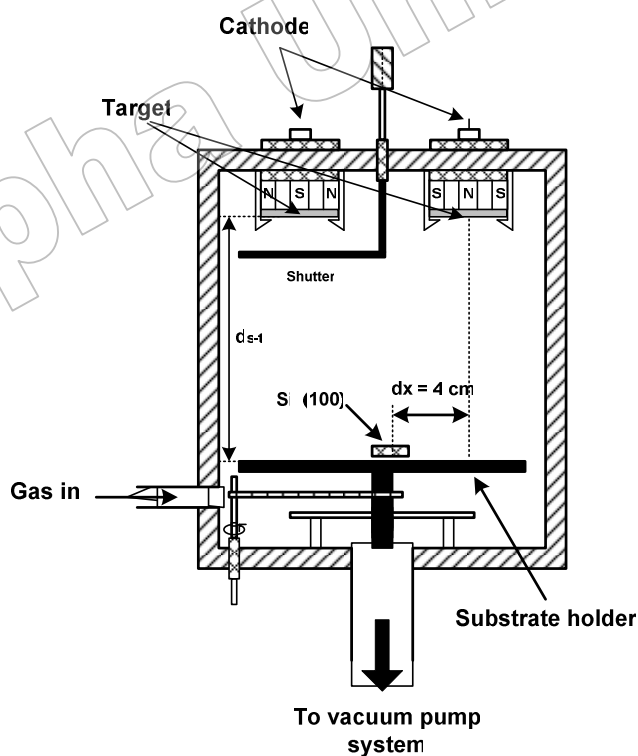
ตามลำดับการเคลือบทำตามขั้นตอนในภาพ 3-19 และใช้เงื่อนไขตามตารางที่ 3-2 ฟิล์มที่เคลือบได้

นำไปหาลักษณะเฉพาะ เพื่อพิจารณาผลของอัตราไหลแก๊สในกระบวนการเคลือบว่ามีผลกับ

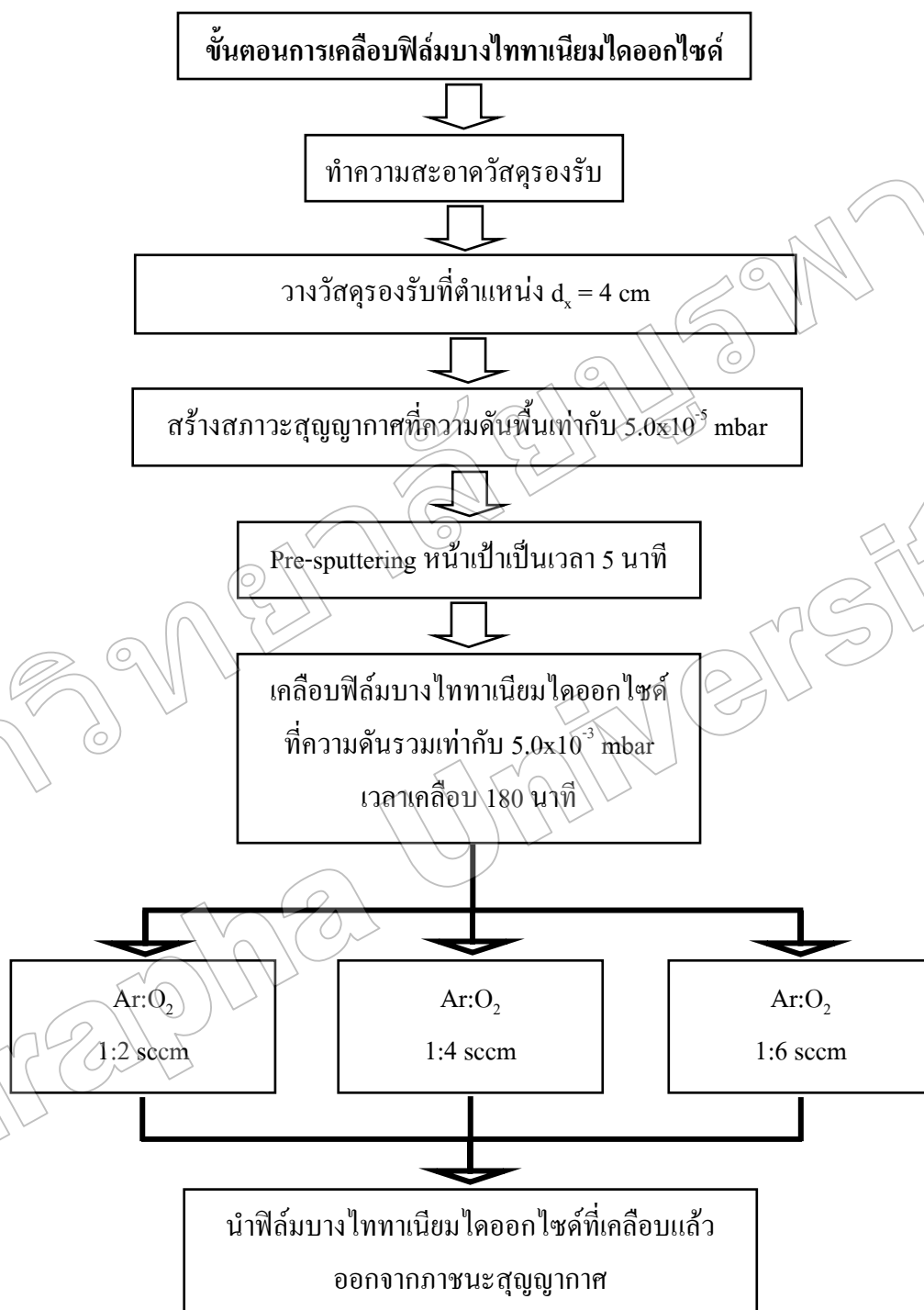
ลักษณะเฉพาะของฟิล์มอย่างไร

ตารางที่ 3-2 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราไหล
แก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนต่าง ๆ กัน

เงื่อนไขการเคลือบ	รายละเอียด
เป้าสารเคลือบ (Target)	ไททาเนียมบริสุทธิ์ 99.97%
วัสดุรองรับ (Substrate)	แผ่นซิลิกอน (100)
ความดันพื้น (Base pressure)	5.0×10^{-5} mbar
ความดันรวม (Total pressure)	5.0×10^{-3} mbar
ระยะระหว่างเป้าสารเคลือบถึงวัสดุรองรับ (d_s)	12 cm
อัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน (Ar:O ₂)	1:2, 1:4, 1:6 sccm
ตำแหน่งวางวัสดุรองรับในแนวนอน (d_x)	4 cm
ความต่างศักย์คาโทด (V)	420 V
กระแสคาโทด (I)	500 mA
เวลาที่ใช้ในการเคลือบ (Deposited time)	180 นาที



ภาพที่ 3-18 แผนผังการวางแผ่นซิลิกอนในภาชนะสุญญากาศที่ตำแหน่ง $d_x = 4$ cm



ภาพที่ 3-19 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยอัตราไหลแก๊สอาร์กอน
ต่อออกซิเจนต่าง ๆ

2. การศึกษาสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

2.1 ผลของอัตราไหลแก๊สต่อลักษณะเฉพาะและสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์ม

วัตถุประสงค์ : เคลือบฟิล์มเพื่อนำไปศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สในกระบวนการเคลือบต่อโครงสร้างผลึกลักษณะพื้นผิวและสมบัติโฟโตคะตะไลติก

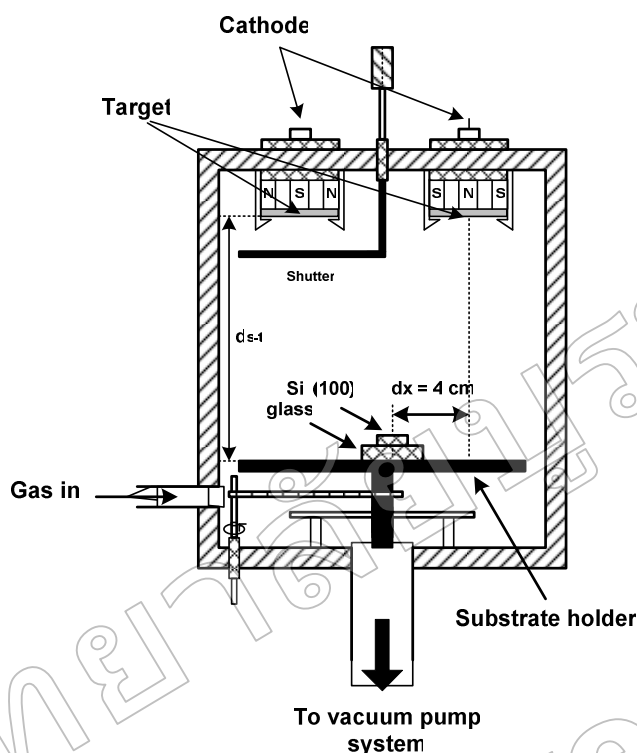
แนวทางการเคลือบฟิล์ม : ใส่กระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนบนแท่นวางวัสดุรองรับที่

ตำแหน่ง $d_x = 4$ cm (ภาพที่ 3-20) เสร็จแล้วสร้างสภาวะสุญญากาศและเคลือบฟิล์ม โดยกำหนดอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนเท่ากับ 1:2 sccm 1:4 sccm และ 1:6 sccm การเคลือบทำตามขั้นตอนในภาพ 3-19 และใช้เงื่อนไขตามตารางที่ 3-3 ฟิล์มที่ได้นำไปหาลักษณะเฉพาะและพิจารณาผลของอัตราไหลแก๊สในกระบวนการเคลือบที่มีต่อลักษณะเฉพาะและสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์ม เพื่อพิจารณาเลือกใช้อัตราไหลแก๊สที่เหมาะสมในกระบวนการเคลือบต่อไป

ตารางที่ 3-3 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์บนกระจกสไลด์

ที่อัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนต่าง ๆ กัน

เงื่อนไขการเคลือบ	รายละเอียด
เป้าสารเคลือบ (Target)	ไททาเนียมบริสุทธิ์ 99.97%
วัสดุรองรับ (Substrate)	แผ่นกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอน
ความดันพื้น (Base pressure)	5.0×10^{-5} mbar
ความดันรวม (Total pressure)	5.0×10^{-3} mbar
ระยะระหว่างเป้าสารเคลือบถึงวัสดุรองรับ (d_{s-t})	12 cm
อัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน (Ar:O ₂)	1:2, 1:4, 1:6 sccm
ตำแหน่งวางวัสดุรองรับในแนวนอน (d_x)	4 cm
ความต่างศักย์คาโทด (V)	420 V
กระแสคาโทด (I)	500 mA
เวลาที่ใช้ในการเคลือบ (Deposited time)	192 , 180, 165 นาที



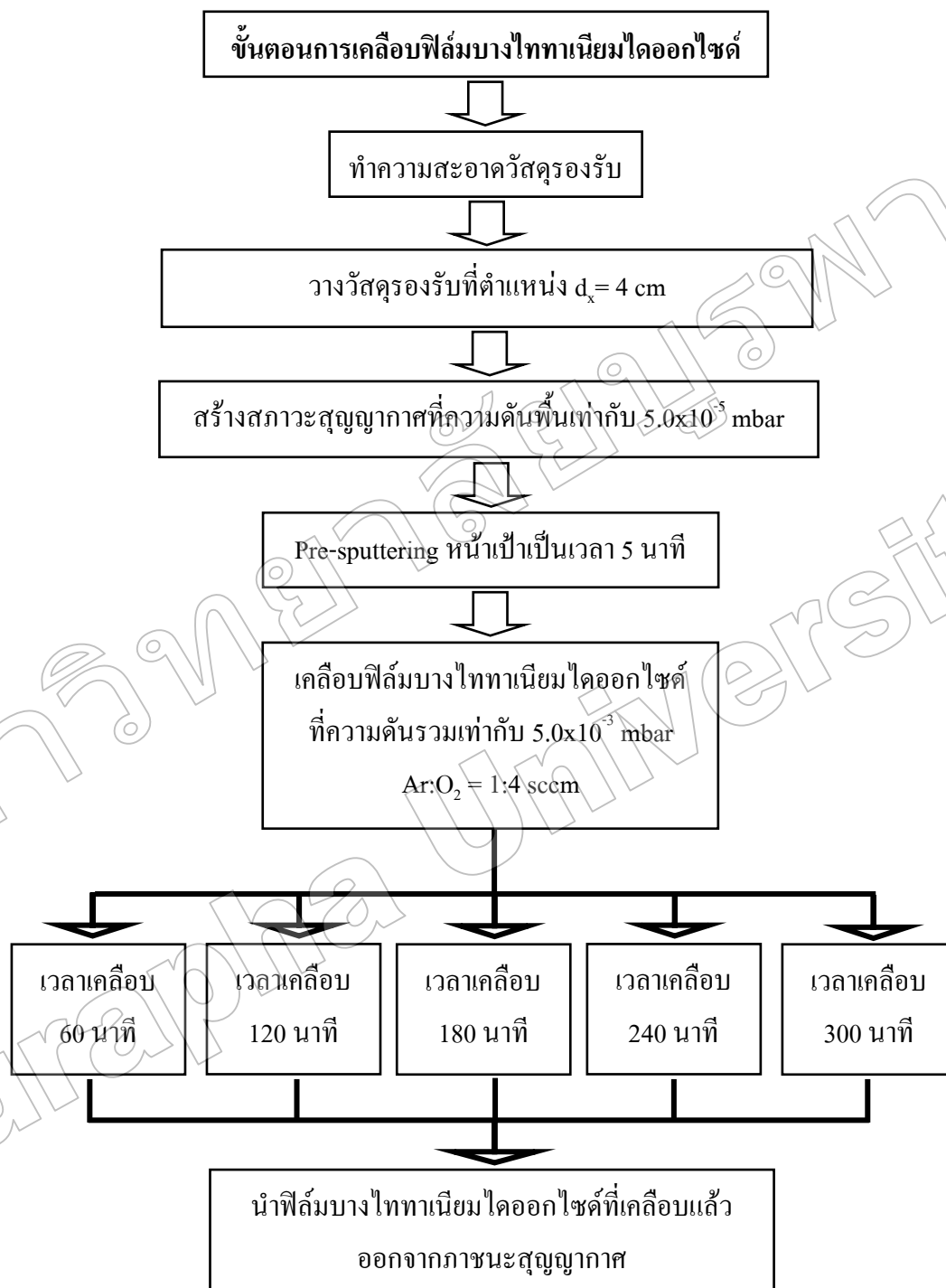
ภาพที่ 3-20 แผนผังการวางแผ่นกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนในภาชนะสุญญากาศ
ที่ตำแหน่ง $d_x = 4$ cm

2.2 ผลของความหนาฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ต่อสมบัติโฟโตคะตะไลติก

วัตถุประสงค์ : เคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีความหนาต่างกันเพื่อนำไป

ศึกษาผลของความหนาต่อสมบัติโฟโตคะตะไลติก

แนวทางการเคลือบฟิล์ม : ใส่กระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนบนแท่นวางวัสดุรองรับที่ตำแหน่ง $d_x = 4$ cm (ภาพที่ 3-20) เสร็จแล้วสร้างสภาวะสุญญากาศและเคลือบฟิล์มโดยกำหนดอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนเท่ากับ 1:4 sccm การเคลือบทำตามขั้นตอนในภาพ 3-21 และใช้เงื่อนไขการเคลือบตามตารางที่ 3-4 ฟิล์มที่ได้นำไปหาลักษณะเฉพาะ (ความหนาฟิล์ม) ฟิล์มที่ได้นำไปทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกเพื่อดูผลของความหนาฟิล์มต่อสมบัติโฟโตคะตะไลติก



ภาพที่ 3-21 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีความหนาต่างกัน

ตารางที่ 3-4 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์บนกระจกสไลด์
ที่เวลาการเคลือบฟิล์มต่าง ๆ กัน

เงื่อนไขการเคลือบ	รายละเอียด
เป้าสารเคลือบ (Target)	ไททาเนียมบริสุทธิ์ 99.97%
วัสดุรองรับ (Substrate)	แผ่นกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอน
ความดันพื้น (Base pressure)	5.0×10^{-5} mbar
ความดันรวม (Total pressure)	5.0×10^{-3} mbar
ระยะระหว่างเป้าสารเคลือบถึงวัสดุรองรับ (d_{st})	12 cm
อัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน (Ar:O ₂)	1:4 sccm
ตำแหน่งวางวัสดุรองรับในแนวนอน (d_x)	4 cm
ความต่างศักย์คาโทด (V)	445 V
กระแสคาโทด (I)	500 mA
เวลาที่ใช้ในการเคลือบ (Deposited time)	60 120 180 240 และ 300 นาที