

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเคลือบฟิล์ม 3 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการป้อนก๊าซ ออกซิเจน กำลังไฟฟ้า ดีซี ที่จ่ายให้แก่เป้าสารเคลือบ และความหนาของฟิล์ม โดยได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมของแต่ละตัวแปร พร้อมทั้งอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้ฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบลงบนกระจกและสามารถนำไปใช้เป็น Self cleaning glass ได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาอิทธิพลของการป้อนก๊าซออกซิเจน

การศึกษาอิทธิพลของก๊าซรีแอคทีฟออกซิเจนที่ป้อนเข้าไปขณะทำการสปัตเตอริงฟิล์มไททานเนียมเพื่อทำให้เกิดการฟอร์มตัวกันเป็นฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์บนกระจกนั้น ปริมาณของก๊าซออกซิเจนจะส่งผลอย่างมากต่อการฟอร์มโครงสร้างและจะส่งผลโดยตรงกับอัตราการเคลือบฟิล์ม ทั้งนี้จึงได้กำหนดตัวแปรของการเคลือบตามตารางที่ 4.1

ในการศึกษานี้จะใช้กำลังไฟฟ้าที่ค่า 500 W ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอที่จะทำให้ฟิล์มเกิดการฟอร์มตัวได้อย่างสมบูรณ์และให้อัตราการเคลือบฟิล์มที่สูง ปริมาณก๊าซอาร์กอนจะควบคุมให้คงที่ที่ 50 sccm ส่วนก๊าซออกซิเจนจะป้อนที่ค่า 30 35 40 และ 45 sccm ตามลำดับ

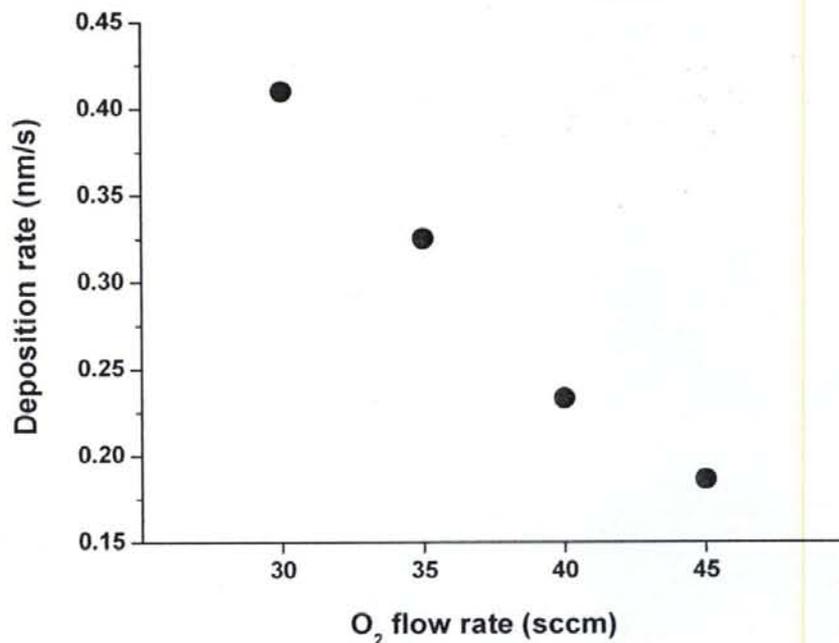
ตารางที่ 4.1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์ที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนค่าต่าง ๆ

Ar:O ₂ (sccm)	Deposition Rate (nm/s)	D.C. Power (W)	Target Voltage (V)	Sputtering Current (A)
50:30	0.410	500	491	1.01
50:35	0.325		505	0.99
50:40	0.233		510	0.98
50:45	0.186		514	0.97

ผลของปริมาณการป้อนก๊าซออกซิเจนที่ต่างกันทำให้ฟิล์มมีอัตราการเคลือบต่างกัน โดยปริมาณก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการเคลือบฟิล์มลดลง เนื่องจากขณะทำการสปัตเตอริงก๊าซออกซิเจนสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับผิวเป้าไททานเนียมเกิดเป็นฉนวนออกไซด์หรือเรียกว่าเกิด Target poisoning ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า Target voltage [20] ทำให้อาร์กอนไอออนที่ถูกเร่งโดยขั้วแคโทดไม่สามารถสปัตเตอริงอะตอมของไททานเนียมให้หลุดได้เท่าเดิม อัตราการเคลือบจึงลดลง ผลของ Target poisoning นี้ยังทำให้ค่า

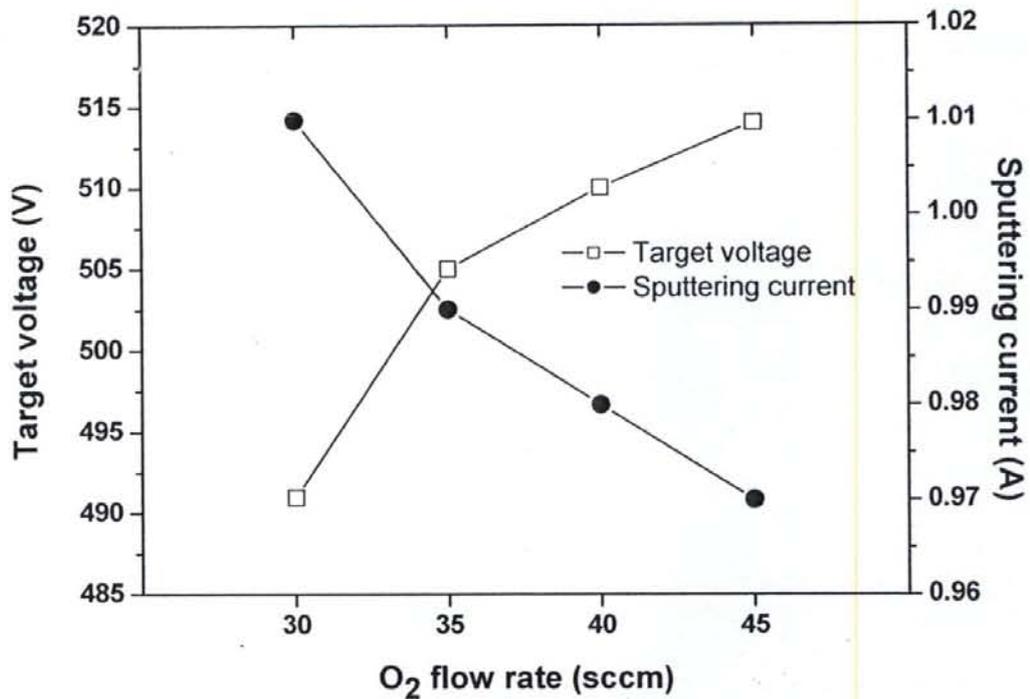
Target voltage มีค่าสูงขึ้นและค่า Sputtering current ลดลง ถึงแม้ว่าค่า DC power จะยังคงที่ที่ 500 W ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นจาก 30 ไปเป็น 35 40 และ 45 sccm พบว่ามีอัตราการเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลดลงจาก 0.410 ไปเป็น 0.325 0.233 และ 0.186 nm/s ตามลำดับ

ในรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบฟิล์มกับอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนของการเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยกำลังไฟฟ้า 500 W จะเห็นได้ว่าอัตราการเคลือบฟิล์มลดลงเมื่อปริมาณออกซิเจนที่ป้อนมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยเงื่อนไขปริมาณการป้อนก๊าซออกซิเจนสูงจะสามารถฟอร์มตัวเป็นโลหะออกไซด์ที่สมบูรณ์กว่าปริมาณการป้อนก๊าซออกซิเจนต่ำ แต่ต้องใช้เวลาการเคลือบที่นานขึ้นถึงจะได้รับความหนาเท่ากัน



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบฟิล์มกับอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบที่กําลังไฟฟ้า 500 W

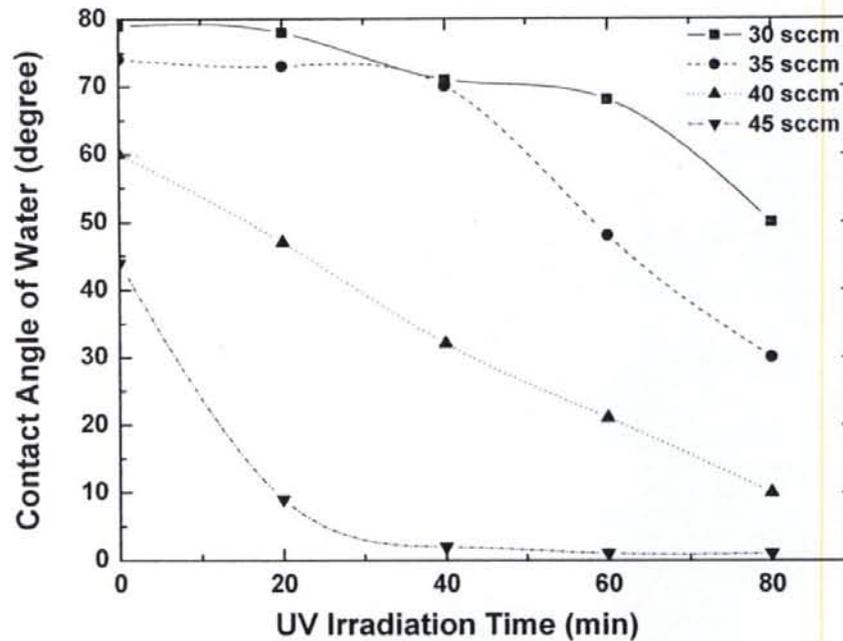
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Target voltage และ Sputtering current กับอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนโดยใช้กําลังไฟฟ้า 500 W ในการเคลือบฟิล์ม ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงปริมาณการป้อนก๊าซออกซิเจนส่งผลกระทบต่อกรเกิด Target poisoning ทำให้อัตราการเคลือบลดลงตามรูปที่ 4.1 ค่า Target voltage ที่สูงขึ้นนี้จะส่งผลกระทบต่อพลังงานของอาร์กอนไอออนที่เข้าชนเป้าสารเคลือบให้มีค่าพลังงานสูงขึ้นตาม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างฟิล์มต่อไป



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Target voltage และ Sputtering current กับอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนโดยใช้กำลังไฟฟ้า 500 W ในการเคลือบฟิล์ม

ในการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะลิซิสนั้น ได้ทำการเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยปริมาณการป้อนก๊าซออกซิเจนในช่วง 30-45 sccm ที่ความหนาประมาณ 100 nm และนำฟิล์มไปทดสอบความเป็นผลึกโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD พบว่าฟิล์มทุกเงื่อนไขไม่เกิดพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าฟิล์มมีความหนาน้อยเกินไปต่อการวิเคราะห์ซึ่งโครงสร้างฟิล์มมีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) มากกว่าทำให้ไม่สามารถสรุปผลทางโครงสร้างของเงื่อนไขดังกล่าวได้ หลังจากนั้นนำไปฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความเข้ม 1.2 mW/cm^2 โดยจะทำการวัดมุมสัมผัสหยดน้ำทุก ๆ 20 นาที โดยใช้เครื่อง Contact angle meter

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาหลังฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับมุมสัมผัสหยดน้ำบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบด้วยกำลังไฟฟ้า 500 W ที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนค่าต่าง ๆ ได้แก่ 30 35 40 และ 45 sccm จะเห็นได้ว่าเมื่อฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตนานขึ้นมุมสัมผัสหยดน้ำจะมีค่าลดลงทุกเงื่อนไข โดยที่ปริมาณของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นจะทำให้มุมสัมผัสหยดน้ำลดลง ที่เงื่อนไขการป้อนก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 45 sccm จะให้มุมสัมผัสหยดน้ำที่ต่ำสุดโดยหลังฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพียง 20 นาที จะมีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำต่ำกว่า 10 องศา และลดต่ำลงจนเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตนานขึ้น



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของเวลาหลังฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่ความเข้ม 1.2 mW/cm^2 กับมุมสัมผัสผิวน้ำของฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์เคลือบด้วยกำลังไฟฟ้า 500 W ที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนค่าต่าง ๆ

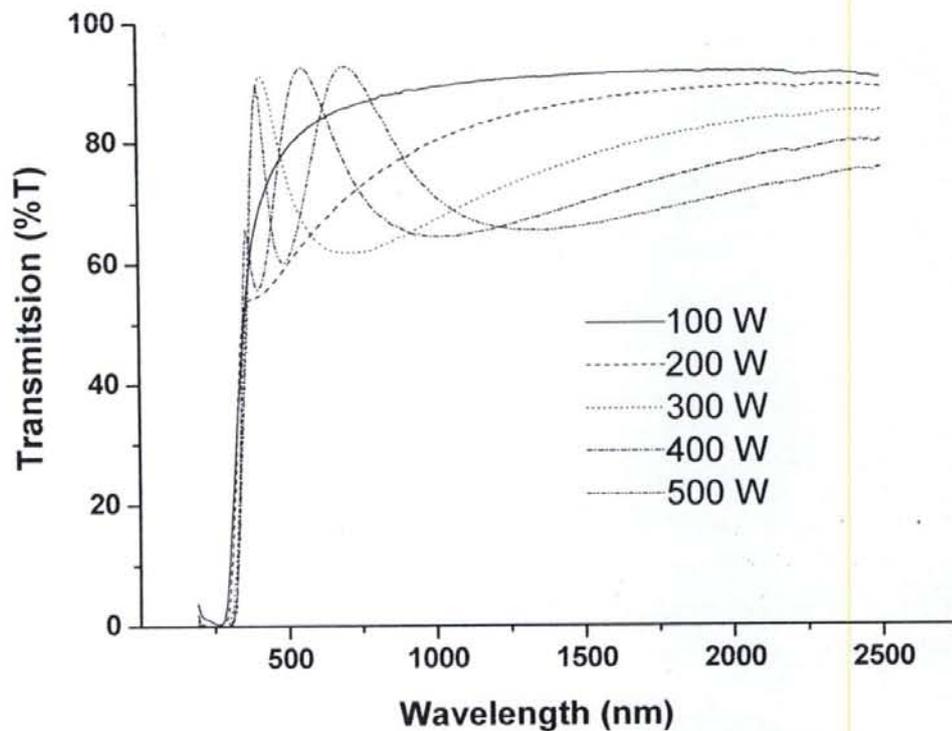
จากผลการทดลองที่ได้นั้นเงื่อนไขฟิล์มที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นฟิล์มสะอาดด้วยตัวเอง คือเงื่อนไขที่อัตราการป้อนก๊าซอาร์กอนต่อออกซิเจนเท่ากับ 50 ต่อ 45 sccm ซึ่งฟิล์มแสดงความเป็นไฮโดรฟิลิกที่สมบูรณ์ และมีความไวต่อปรากฏการณ์โฟโตคะตะลิซิสสูงกว่าเงื่อนไขอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะว่าฟิล์มเงื่อนไขอื่น ๆ นั้นมีปริมาณการป้อนก๊าซออกซิเจนที่น้อยกว่าซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อการฟอร์มเป็นออกไซด์ที่สมบูรณ์

4.2 การศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้า

ในการศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้านั้นจะทำการเตรียมฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์ที่มีความหนาประมาณ 100 nm โดยใช้กำลังไฟฟ้าที่ค่า 100 200 300 400 และ 500 W และเลือกใช้อัตราการป้อนก๊าซอาร์กอนต่อออกซิเจนเท่ากับ 50 ต่อ 45 sccm ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดสอบในหัวข้อที่แล้ว

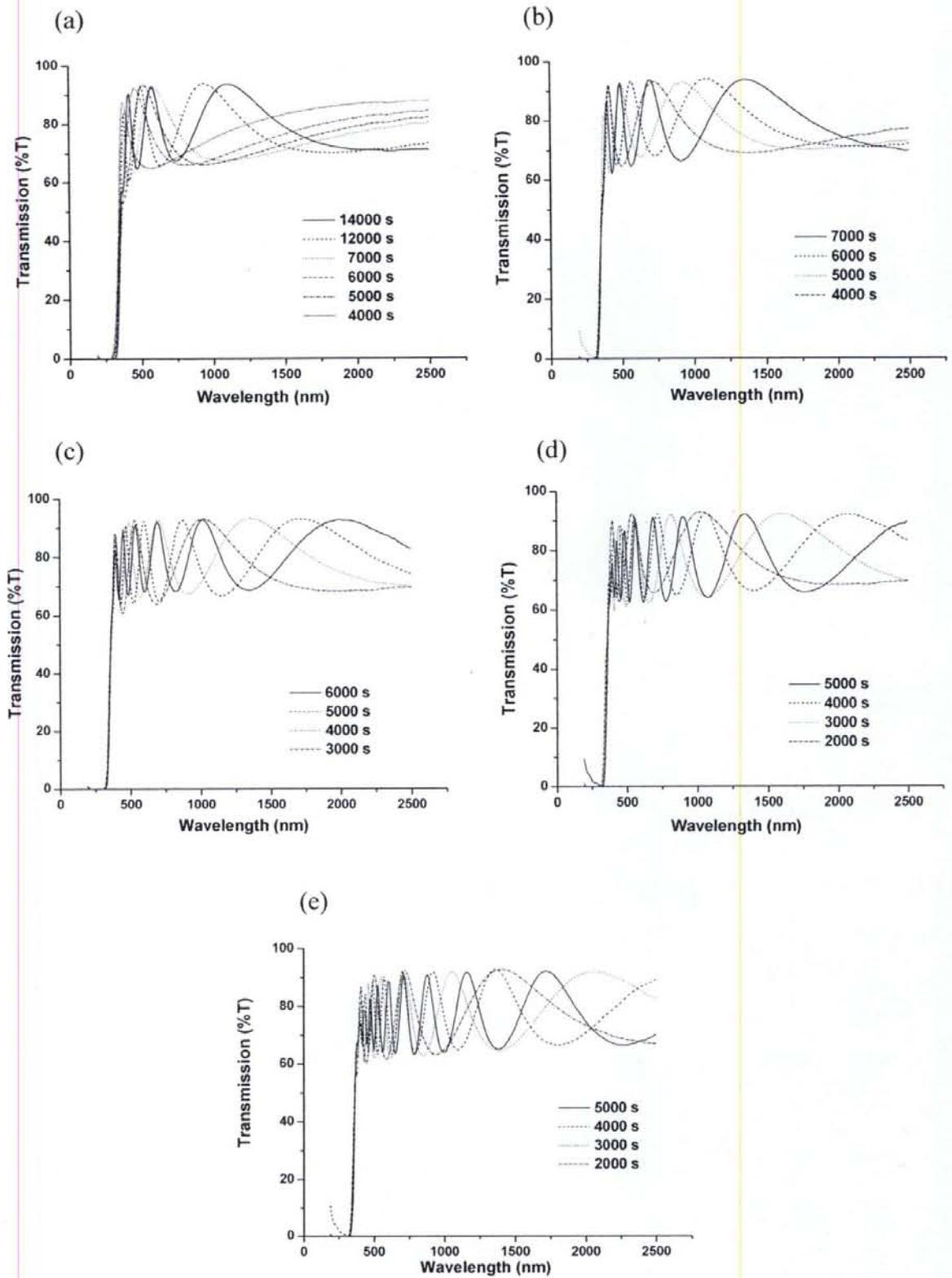
รูปที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่น 190 – 2500 nm ของฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์เคลือบที่เวลา 1000 s ด้วยกำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงถึงความแตกต่างของความหนาฟิล์มโดยพิจารณาได้จากพีคการแทรกสอดของคลื่นแสง (Interference peak) พีคการแทรกสอดยิ่งมากฟิล์มยิ่งมีความหนามาก ซึ่งเราสามารถคำนวณหาความหนาของฟิล์มจากพีคการแทรกสอดโดยอาศัยสมการที่ 4.1 ในการวิจัยจึงต้องทำการเคลือบฟิล์มโดยการควบคุมความหนาฟิล์มที่ 100 nm และ

จะต้องเคลือบฟิล์มที่ค่าเวลาต่าง ๆ ของแต่ละกำลังไฟฟ้าที่ใช้แล้วหาความสัมพันธ์ของความหนาฟิล์มกับเวลาที่เคลือบทำให้ได้อัตราการเคลือบฟิล์มของแต่ละเงื่อนไข



รูปที่ 4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านในช่วงความยาวคลื่น 190 – 2500 nm ของฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์เคลือบที่เวลา 1000 s ด้วยกำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่นจาก 190 – 2500 nm ของฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์เคลือบที่เวลาต่าง ๆ ด้วยกำลังไฟฟ้า (a) 100 W, (b) 200 W, (c) 300 W, (d) 400 W และ (e) 500 W จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าพีคการแทรกสอดของฟิล์มที่เงื่อนไข 100 W มีจำนวนน้อยมากจึงต้องทำการเคลือบฟิล์มเป็นเวลานานเพื่อให้หนาพอต่อการคำนวณ โดยจะต้องเกิดจำนวนพีคการแทรกสอดอย่างน้อย 3 พีค และจำนวนพีคยิ่งมากการคำนวณก็ยิ่งใกล้ค่าความเป็นจริงมากขึ้น ถึงอย่างไรก็ตามจากสมบัติทางแสงนี้ก็สามารถบอกได้ว่าปริมาณการป้อนก๊าซอาร์กอนต่อก๊าซออกซิเจนในอัตราส่วน 50 ต่อ 45 sccm นั้นมากพอต่อการเคลือบฟิล์มให้มีความโปร่งแสง ส่วนสมบัติอื่น ๆ ของฟิล์มจะต้องทำการควบคุมความหนาของฟิล์มก่อนทำการวิเคราะห์



รูปที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านในช่วงความยาวคลื่น 190 – 2500 nm ของฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์เคลือบที่เวลาต่าง ๆ ด้วยกำลังไฟฟ้า (a) 100 W, (b) 200 W, (c) 300 W, (d) 400 W และ (e) 500 W

สมการที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาฟิล์ม d_{film} กับค่าการแทรกสอดของคลื่นแสงที่ตำแหน่งพิก 1 และ 2 สอดคล้องกับความยาวคลื่น $\lambda_{\text{max}1}$ และ $\lambda_{\text{max}2}$ ตามลำดับ โดยที่ค่า n_{film} คือดัชนีหักเหของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 2.45 ที่มาของสมการนี้สามารถดูได้จากภาคผนวก ก ซึ่งพิสูจน์จากหลักการแทรกสอดแบบเสริมกันและหักล้างกันของคลื่นแสง

$$d_{\text{film}} = \left| \frac{\lambda_{\text{max}1} \lambda_{\text{max}2}}{2n_{\text{film}} (\lambda_{\text{max}2} - \lambda_{\text{max}1})} \right| \quad (4.1)$$

- เมื่อ d_{film} คือความหนาของฟิล์ม (nm)
 $\lambda_{\text{max}1}$ คือความยาวคลื่นที่พิก 1 ณ ตำแหน่งสูงสุด (nm)
 $\lambda_{\text{max}2}$ คือความยาวคลื่นที่พิก 2 ณ ตำแหน่งสูงสุด (nm) ถัดจากพิกที่ 1
 n_{film} คือ ดัชนีหักเหของฟิล์ม

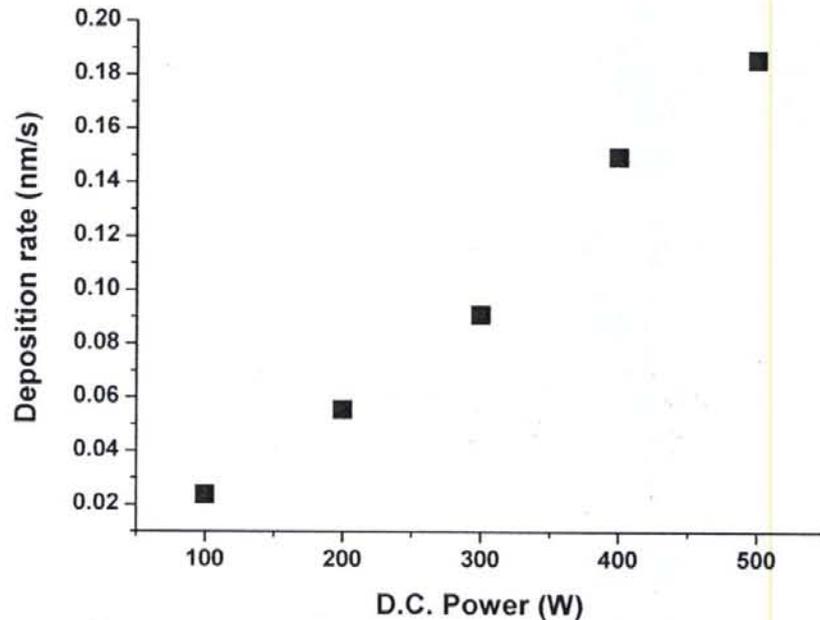
ตารางที่ 4.2 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์หนา 100 nm ด้วยกำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ

D.C. Power (W)	Ar:O ₂ (sccm)	Deposition rate (nm/s)	เวลาที่ใช้เคลือบฟิล์ม (s) หนา 100 nm
100	50:45	0.024	4201.07
200		0.056	1798.56
300		0.091	1098.90
400		0.150	667.61
500		0.186	537.06

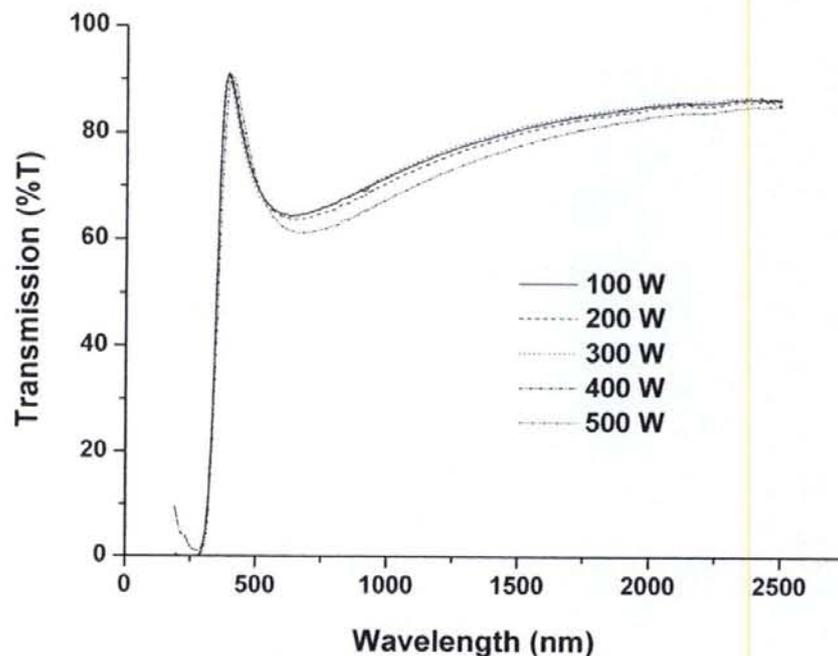
ตารางที่ 4.2 แสดงเงื่อนไขการเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์หนา 100 nm ด้วยกำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ได้แก่ 100 200 300 400 และ 500 W มีค่าอัตราการเคลือบฟิล์มเป็น 0.024 0.056 0.091 0.150 และ 0.186 nm/s ตามลำดับ ดังนั้นในการเคลือบฟิล์มที่ความหนา 100 nm จะต้องใช้เวลาในการเคลือบฟิล์มตามตารางที่ 4.2

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้เคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแบบเชิงเส้น แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ให้แก่เป่าสารเคลือบส่งผลต่ออัตราการเคลือบโดยตรง เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะส่งผลให้จั่วแคโทดมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบมากขึ้น นั่นคือค่าสนามไฟฟ้าระหว่างแคโทดและแอโนดมีค่าเพิ่มขึ้น จึงสามารถเร่งอาร์กอนไอออนเข้าชนเป่า

ไททาเนียมด้วยพลังงานที่มากกว่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ต่ำกว่า ฟิล์มที่เคลือบจึงมีพลังงานเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานและโมเมนตัมจากอาร์กอน ไอออนที่สูงกว่าตาม หลังการชนจะเกิด Secondary electron ซึ่งวิ่งควงเข้าสู่ขั้วแอโนดและเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่สูงนี้เอง อิเล็กตรอนดังกล่าวจึงมีพลังที่สูงและสามารถเข้าชนก๊าซอาร์กอนที่ถูกป้อนเข้ามาใหม่ทำให้เกิดการไอออไนซ์มากขึ้น ด้วยเหตุนี้กำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าจึงมีอัตราการเคลือบฟิล์มที่สูงขึ้นตาม



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบ กับกำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ที่ใช้เคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์

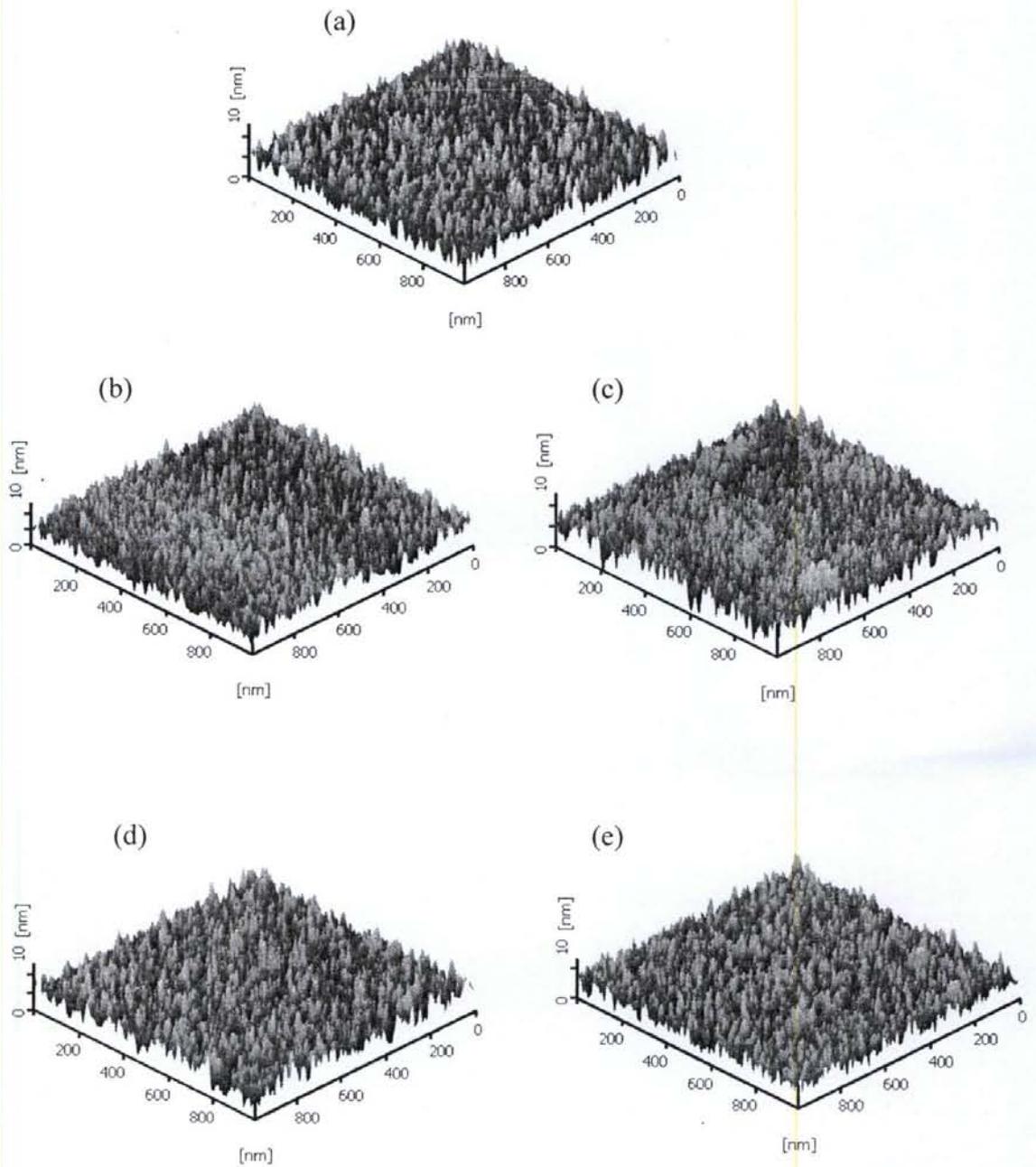


รูปที่ 4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านในช่วงความยาวคลื่น 190 – 2500 nm ของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ หนา 100 nm เคลือบที่กำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ

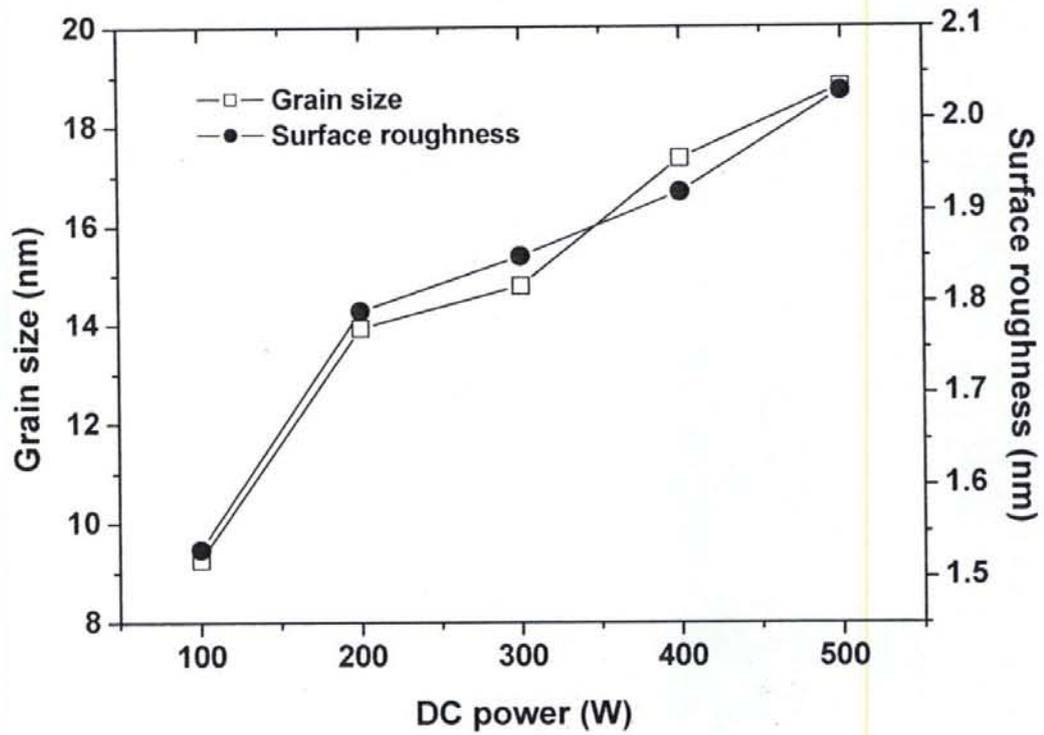
ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยกำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ด้วยความหนา 100 nm ถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางแสงโดยวัดค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่น 190 – 2500 nm ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟมีลักษณะเหมือนกัน คือมีค่าการส่งผ่านแสงที่สูงในช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared) ส่วนในคลื่นแสงช่วงตามองเห็นจะมีพีคการแทรกสอดคลื่นแสงเกิดขึ้น 1 พีคเหมือนกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเราสามารถสันนิษฐานความหนาของฟิล์มบางทางแสง (Optical thin films) ที่เป็นฟิล์มชั้นเดียวโดยดูจากจำนวนพีคที่เกิดขึ้นอย่างคร่าว ๆ ว่าพีคการแทรกสอดคลื่นแสงเกิดขึ้น 1 พีค ต่อความหนาประมาณ 100 nm ยกตัวอย่างเช่นถ้าฟิล์มมีพีคการแทรกสอดคลื่นแสงเกิดขึ้น 5 พีค แสดงว่าฟิล์มมีความหนาประมาณ 500 nm

ในการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างนั้นเมื่อนำฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ไปวิเคราะห์ความเป็นผลึกพบว่าไม่เกิดพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จึงทำให้สรุปได้ว่าฟิล์มมีความเป็นอสัณฐาน ในการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างของลักษณะกายภาพอย่างหนึ่งของฟิล์มคือการตรวจสภาพพื้นผิวของฟิล์ม โดยอาศัยแรงระหว่างอะตอม ในรูปที่ 4.8 แสดงภาพพื้นผิว AFM 3 มิติ บนพื้นที่ขนาด 1000 nm^2 ของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์โดยเคลือบที่กำลังไฟฟ้า (a) 100 W, (b) 200 W, (c) 300 W, (d) 400 W และ (e) 500 W ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีลักษณะเกรนที่เล็กใกล้เคียงกันและมีลักษณะของพื้นผิวที่คล้าย ๆ กัน

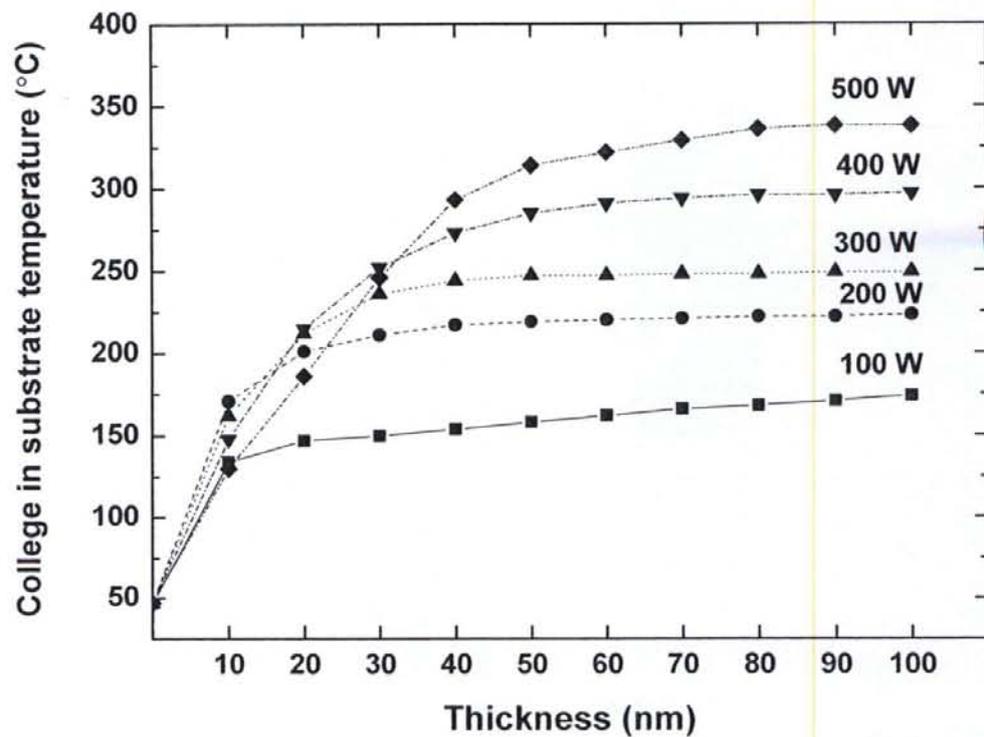
จากผลของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM เราสามารถหาค่าขนาดเกรน (Grain Size) และความขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness) โดยอิทธิพลของค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เป้าต่อขนาดเกรนและความขรุขระของพื้นผิวของฟิล์มแสดงดังรูปที่ 4.9 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าถ้าเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ใช้ให้มีค่าสูงขึ้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์จะมีขนาดเกรนและความขรุขระของพื้นผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นส่งผลให้อนุภาคอาร์กอน ไอออนมีพลังงานสูงขึ้นทำให้ฟิล์มที่เคลือบมีพลังงานสูงขึ้นตาม และทำให้การฟอร์มตัวของฟิล์มมีความสมบูรณ์ประกอบกับแผ่นรองรับกระจกได้รับพลังงานที่สูง เนื้อฟิล์มจึงมีการรวมตัวทำให้มีขนาดเกรนที่ใหญ่ ลักษณะของเกรนที่โตขึ้นก็จะส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวให้มีค่าสูงขึ้นตาม



รูปที่ 4.8 ภาพ AFM 3 มิติ ของฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์เคลือบที่กำลังไฟฟ้า
 (a) 100 W, (b) 200 W, (c) 300 W, (d) 400 W และ (e) 500 W



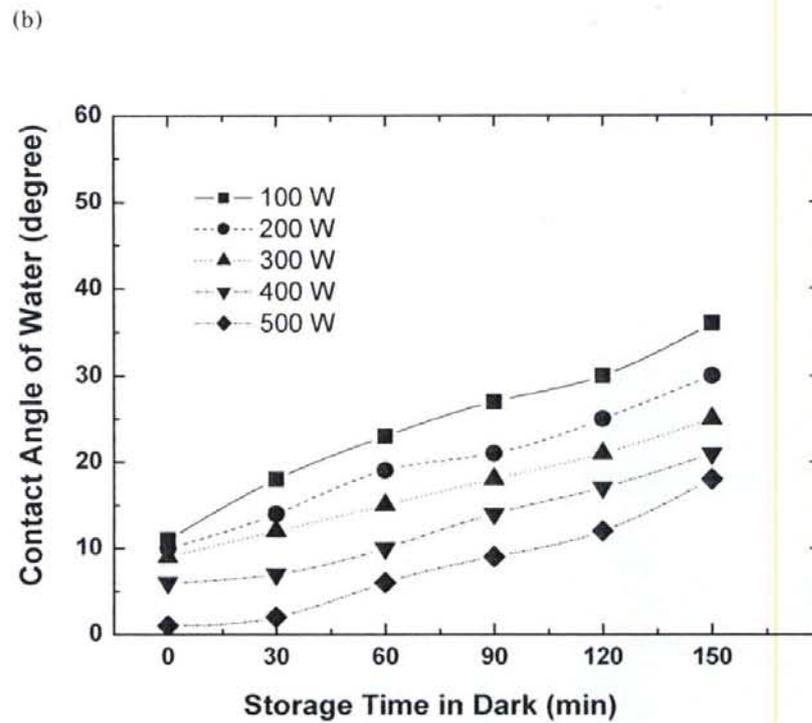
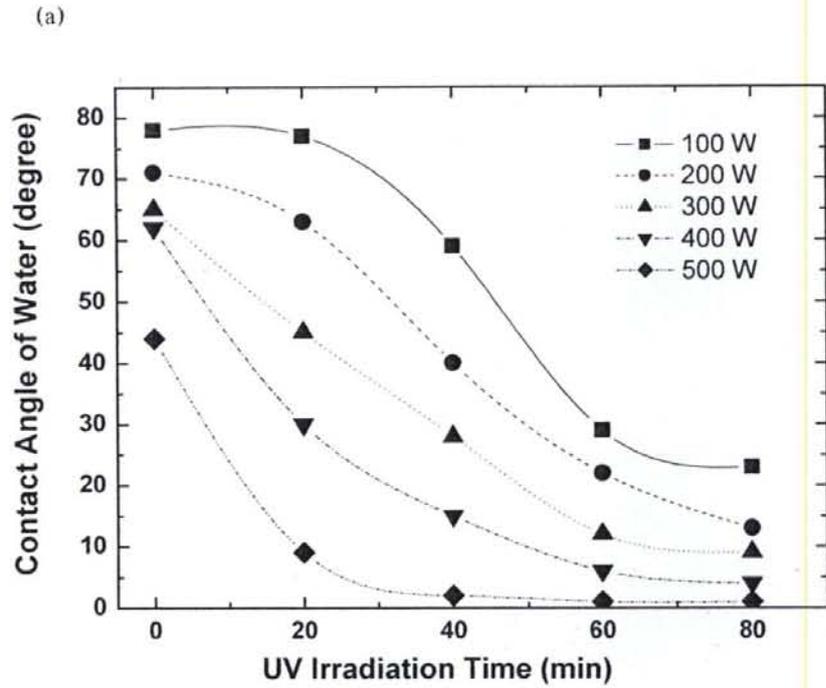
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนและความขรุขระพื้นผิวกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม



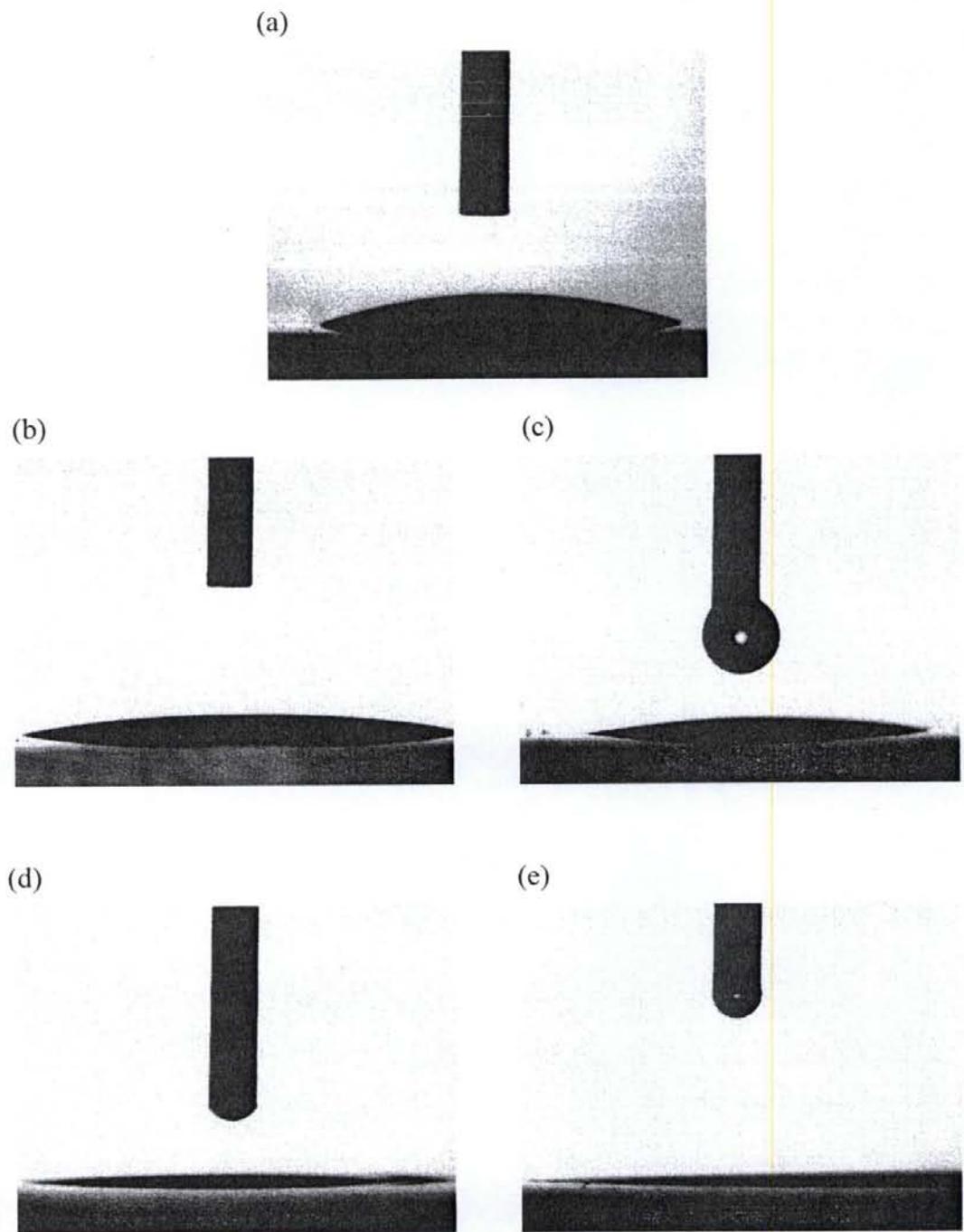
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่สะสมบนแผ่น Substrate กับความหนาของฟิล์มที่เพิ่มขึ้นขณะเคลือบที่กำลังไฟฟ้ค่าต่าง ๆ

ในรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่สะสมบนแผ่น Substrate วัดโดยใช้ Thermocouple สัมผัสตรงกลางด้านหลังของ Substrate กับความหนาของฟิล์มที่เพิ่มขึ้นขณะเคลือบที่กำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของแผ่นรองรับจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาฟิล์ม โดยที่ความหนาดั้งเดิม 35 nm ขึ้นไป อุณหภูมิของแผ่นรองรับกรณีที่เคลือบที่กำลังไฟฟ้า 500 W มีค่าสูงสุดและมีค่าลดลงเมื่อ กำลังไฟฟ้าลดลงเป็น 400 300 200 และ 100 W ตามลำดับ อุณหภูมิของแผ่นรองรับที่สูงนี้ก็ส่งผลกระทบต่อ การฟอร์มตัวของฟิล์มกับก๊าซออกซิเจนในระบบได้ต่างกัน กรณีที่ความหนาฟิล์มต่ำกว่า 35 nm ค่าอุณหภูมิ ของแผ่นรองรับจะมีค่าขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ใช้เคลือบฟิล์ม โดยที่กำลังไฟฟ้าต่ำกว่าก็จะใช้เวลาในการ เคลือบสูงกว่ากันจะมีความหนาฟิล์มต่างกันทำให้อุณหภูมิในช่วงแรกกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่าเช่นที่ กำลังไฟฟ้า 200 W จะมีอุณหภูมิสูงกว่า ที่ความหนา 10 nm ส่วนที่ 20 ถึง 30 nm อุณหภูมิสูงสุดจะเป็น ของกรณีกำลังไฟฟ้า 400 W

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของเวลากับมอดุลสัมพัทธ์ของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ กำลังไฟฟ้าค่าต่าง ๆ หลังฉายแสงอัลตราไวโอเลต ด้วยความเข้ม 1.2 mW/cm^2 โดยในรูป (a) เป็นกรณี ที่หลังฉายรังสีอัลตราไวโอเลตที่ค่าเวลาต่างๆ ได้แก่ 20 40 60 และ 80 นาทีผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ามอดุล สัมพัทธ์ของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์มีค่าลดลงเมื่อเวลาการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตเพิ่มขึ้น โดยที่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่ถูกเคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่ามอดุลต่ำสุด โดยหลังฉายแสงที่ เวลา 40 นาที ขึ้นไปมีค่าประมาณ 1 องศา จากผลนี้แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าที่ให้แก่เป้าสาร เคลือบไททาเนียมจะส่งผลกระทบต่อ การฟอร์มตัวและส่งผลกระทบต่อสมบัติของฟิล์ม โดยในการทดลอง ปรากฏการณ์โฟโตคะตะลิซิสด้วยการทดสอบสมบัติความเป็นไฮโดรฟิลิก เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าที่ 500 W ฟิล์มจะมีสมบัติที่ดีที่สุดจึงเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นกระจกสะอาดด้วยตัวเอง ในรูป (b) แสดง ความสัมพันธ์ของเวลาหลังฉายรังสีอัลตราไวโอเลตบนฟิล์มนาน 2 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในที่มืด กับค่ามอดุล หักน้ำจากผลการทดลองเห็นได้ว่าค่ามอดุลสัมพัทธ์ของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นทุกเงื่อนไขการเคลือบฟิล์ม กรณีฟิล์ม เคลือบที่กำลังไฟฟ้าต่ำจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่ามอดุลสัมพัทธ์สูงกว่ากรณีเคลือบฟิล์มที่กำลังไฟฟ้า สูง ดังนั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าสูงนอกจากจะแสดงสมบัติไฮโดรฟิลิกที่ดี แล้วยังมีความคงสภาพความเป็นโฟโตคะตะลิซิสที่สูงอีกด้วย



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของเวลากับมุมสัมผัสผิวน้ำของฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์เคลือบที่กำลังไฟฟ้า 100–500 W หลังฉายแสงอัลตราไวโอเลต ด้วยความเข้ม 1.2 mW/cm^2 (a) ที่เวลาต่าง ๆ และ (b) หลังฉายแสงอัลตราไวโอเลตนาน 2 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในที่มืด



รูปที่ 4.12 ภาพหยดน้ำบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์หนา 100 nm หลังฉายแสงอัลตราไวโอเลต ความเข้ม 1.2 mW/cm^2 นาน 80 นาทีเตรียมที่กำลังไฟฟ้า (a) 100 W, (b) 200 W, (c) 300 W, (d) 400 W และ (e) 500 W

รูปที่ 4.12 แสดงภาพหยดน้ำบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์หนา 100 nm หลังฉายแสงอัลตราไวโอเลต ความเข้ม 1.2 mW/cm^2 นาน 80 นาที เคลือบที่กำลังไฟฟ้า 100 200 300 400 และ 500 W ตามรูป (a) ถึง (e) ตามลำดับ ในรูป (d) และ (e) แสดงลักษณะของหยดน้ำที่แบบราบซึ่งจะแสดงสมบัติของกระจกสะอาดด้วยตัวเองได้ดี

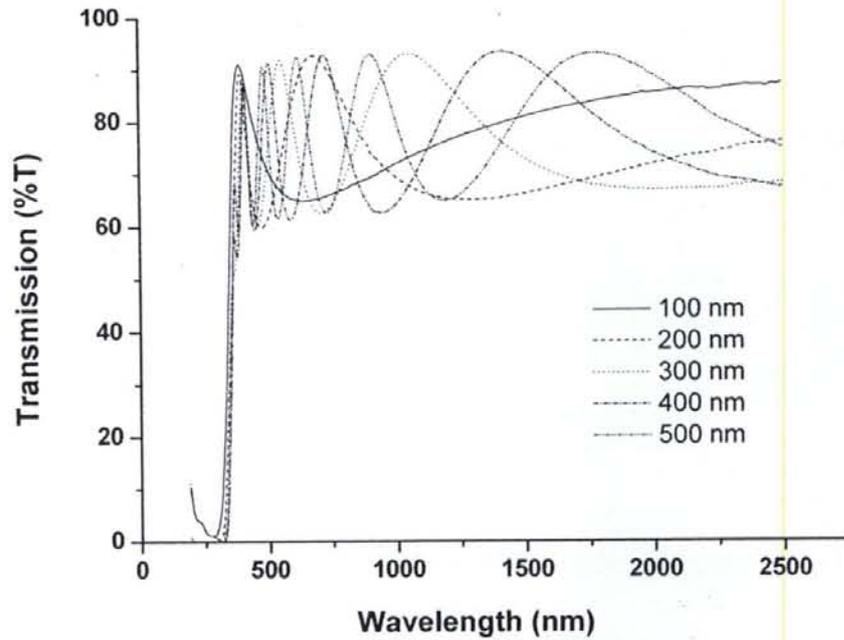
4.3 การศึกษาอิทธิพลของความหนาฟิล์ม

ในการเล็อบอิทธิพลความหนาของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน และกำลังไฟฟ้าที่ให้แก่เป่าสารเล็อบพบว่า ควรใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงโดยเลือกใช้ที่ 500 W ซึ่งเป็นค่าสูงสุดในการทดลองและอัตราการป้อนก๊าซ Ar: O_2 ที่ 50:45 sccm การวิจัยนี้จะทำการเล็อบฟิล์มที่ความหนาค่าต่าง ๆ ได้แก่ 100 200 300 400 500 nm ซึ่งต้องใช้เวลาการเล็อบตามตารางที่ 4.3

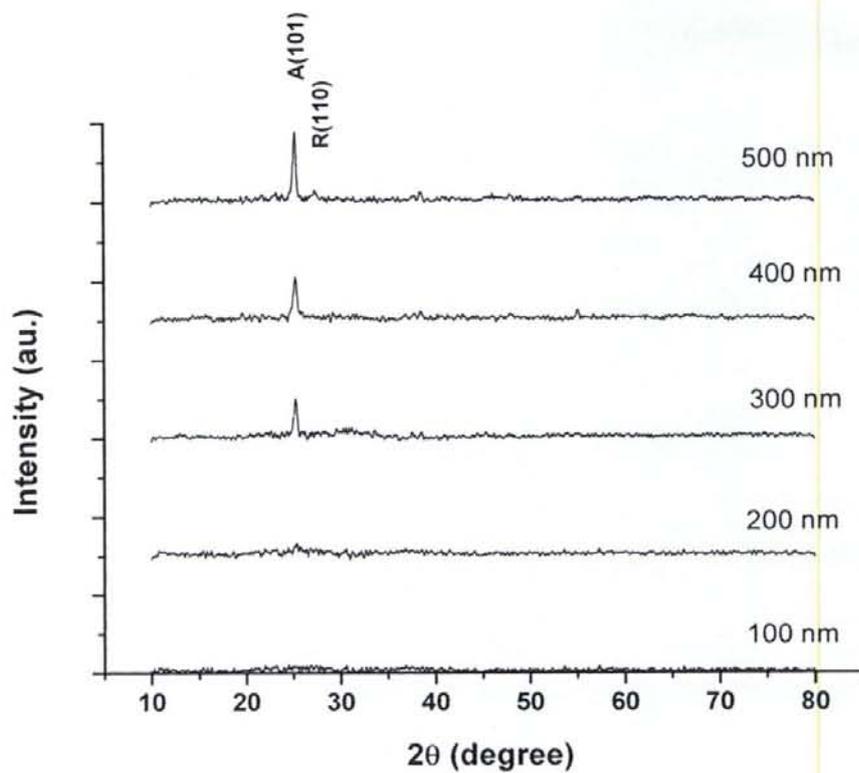
ตารางที่ 4.3 เงื่อนไขการเล็อบฟิล์ม TiO_2 ที่ความหนาค่าต่าง ๆ

Thickness (nm)	D.C. Power (W)	Ar: O_2 (sccm)	Coating time (s)
100	500	50:45	537.06
200			1074.11
300			1611.17
400			2148.24
500			2685.28

ในรูปที่ 4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่น 190 – 2500 nm ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบด้วยกำลังไฟฟ้า 500 W ที่ความหนาค่าต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าความหนาฟิล์มเพิ่มขึ้นจะเกิดพิคการแทรกสอดเพิ่มขึ้นตาม โดยฟิล์มที่ความหนา 100 nm จะมีค่าการส่งผ่านแสงช่วงตามองเห็นต่ำกว่าที่ความหนาอื่นเป็นผลอันเนื่องมาจากการแทรกสอดของคลื่นแสงซึ่งฟิล์มจะมีสีฟ้าอ่อนเมื่อความหนาฟิล์มมากขึ้น สีฟิล์มจะเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองและส้ม โดยมีความโปร่งแสงใกล้เคียงกัน ดังนั้นความหนาของฟิล์มจะเป็นตัวกำหนดสีฟิล์มได้ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสวยงามของกระจก

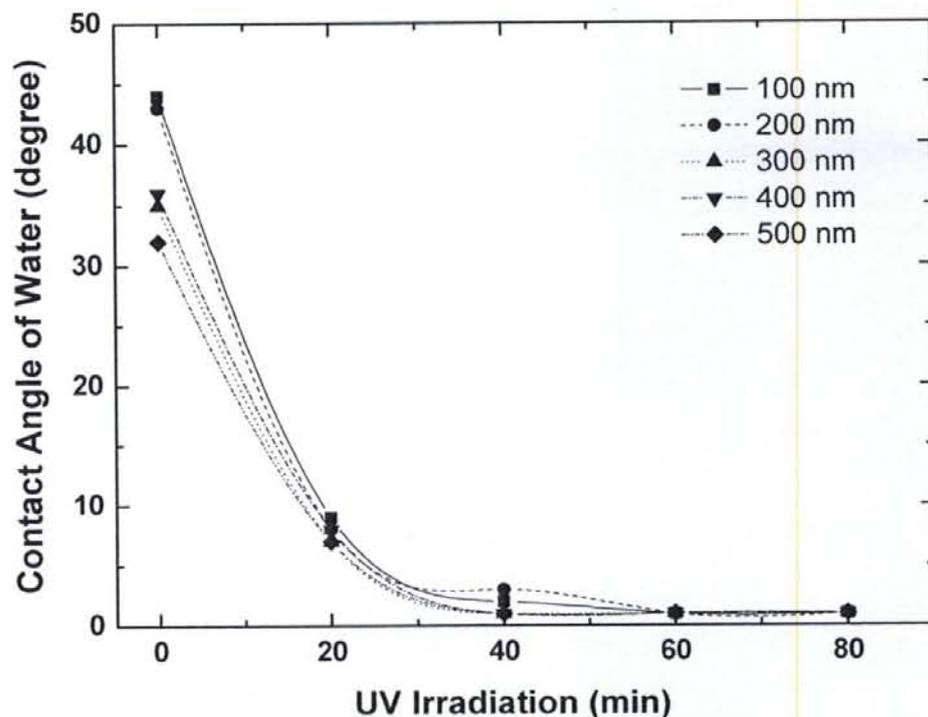


รูปที่ 4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่น 190 – 2500 nm ของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบด้วยกำลังไฟฟ้า 500 W ที่ความหนาต่าง ๆ



รูปที่ 4.14 รูปแบบการเลี้ยวเบน X-ray ของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบด้วยกำลังไฟฟ้า 500 W ที่ความหนาต่าง ๆ ของฟิล์ม

ในการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างจากหัวข้อที่ผ่านมาพบว่ามีฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ความหนา 100 nm จะไม่ปรากฏพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ แต่เมื่อเพิ่มความหนาฟิล์มแล้วนำไปวิเคราะห์ผลด้วย XRD ดังรูปที่ 4.14 ปรากฏว่าเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นเป็น 300 nm จะเกิดพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 25.3 องศา ซึ่งตรงกับข้อมูลของ JCPDS File No. 21-1272 ว่าเป็นพีคโครงสร้างอนาเทสที่ระนาบ (101) และเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นเป็น 400 และ 500 nm พีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จะมีความเข้มสูงขึ้น โดยเฉพาะที่ความหนา 500 nm จะปรากฏพีคสูงที่ระนาบ (110) ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 27.3 องศา ซึ่งตรงกับข้อมูลของ JCPDS File No. 21-1276 ผลความเป็นผลึกที่แตกต่างกันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากฟิล์มที่ปลูกขึ้นมาในความหนาที่มากขึ้นนั้นเนื้อฟิล์มที่พอกพูนหนาขึ้นซึ่งถูกเตรียมลงบนเนื้อฟิล์มเดิมทำให้เกิดการฟอร์มตัวได้ง่าย ประกอบกับแผ่นรองรับกระจกนั้นมีการสะสมพลังงานความร้อนที่สูง ทำให้เสมือนว่าฟิล์มถูกให้ความร้อนในขณะที่เคลือบ อะตอมของฟิล์มจึงมีการจัดเรียงตัวในตำแหน่งที่เหมาะสมอย่างเป็นระเบียบ ทั้งนี้ความหนาของฟิล์มยังส่งผลต่อการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ได้มากกว่าฟิล์มที่บาง ความเป็นผลึกที่สูงขึ้นนี้จะทำให้ฟิล์มมีลักษณะทางโครงสร้างพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไปซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติความเป็นไฮโดรฟิลิกของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของเวลากับมุมสัมผัสหยดน้ำของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ความหนาฟิล์มค่าต่าง ๆ หลังฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตด้วยความเข้ม 1.2 mW/cm^2

รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ของเวลากับมุมสัมผัสหยดน้ำของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ความหนาฟิล์มค่าต่าง ๆ หลังฉายแสงอัลตราไวโอเลตด้วยความเข้ม 1.2 mW/cm^2 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีความหนาเพิ่มขึ้นจะแสดงสมบัติความเป็นไฮโดรฟิลิกที่ดีขึ้นโดยสังเกตได้จากหลังฉายรังสีอัลตราไวโอเลตบนฟิล์มค่ามุมสัมผัสหยดน้ำจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางโครงสร้างของฟิล์มที่มีความเป็นผลึกสูงขึ้น [3-5] อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้การเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบโดยใช้กำลังไฟฟ้า 500 W อัตราการป้อนก๊าซ $\text{Ar}:\text{O}_2$ เท่ากับ 50:45 sccm ความหนาฟิล์ม 100 nm ก็แสดงสมบัติสำหรับใช้เป็นฟิล์มเคลือบกระจกที่สามารถทำความสะอาดด้วยตัวเองได้