

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผล

บทนี้เป็นการอภิปรายและสรุปผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย การหา ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ การศึกษาสภาพชอบน้ำของฟิล์มบางไททาเนียม ไดออกไซด์ และส่วนสุดท้ายเป็นการศึกษาความคงทนของสภาพชอบน้ำที่เคลือบได้ โดยมี รายละเอียดดังนี้

#### อภิปราย

##### 1. การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

###### 1.1 ผลของความดันรวมขณะเคลือบ

ลักษณะของฟิล์มบาง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความดันรวมขณะเคลือบเพิ่มสูงขึ้น สีของฟิล์มบางจะเปลี่ยนจาก สีม่วง เป็นสีส้มและเหลืองตามลำดับ โดยสีของฟิล์มบาง ที่สังเกตเห็นนั้นเกิดจากการแทรกสอดของแสงที่ผิวหน้าและหลังของฟิล์ม โดยตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มบางเนื่องจากการแทรกสอดของแสงคือ ความหนาของฟิล์ม และดัชนีหักเหของเนื้อฟิล์ม

โครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบ เมื่อใช้ความดันรวมขณะเคลือบต่างๆ กัน พบว่าเมื่อความดันรวมขณะเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้น โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางที่เคลือบได้จะเปลี่ยนไป โดยที่ความดันรวมขณะเคลือบเท่ากับ  $3.0 \times 10^{-3}$  mbar ฟิล์มบางที่ได้มีโครงสร้างผลึกเฉพาะแบบรูไทล์เท่านั้น แต่เมื่อความดันรวมขณะเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น  $5.0 \times 10^{-3}$  mbar และ  $7.0 \times 10^{-3}$  mbar พบว่าโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางที่เคลือบได้จะเป็นแบบเฟสผสมของ เฟสอนาเทสและรูไทล์ โดยโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสที่ความดันรวมขณะเคลือบ  $7.0 \times 10^{-3}$  mbar จะมีความเป็นผลึกมากกว่าความดันรวมขณะเคลือบ  $5.0 \times 10^{-3}$  mbar สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yamagishi et al. (2003) ที่อธิบายถึงผลของความดันรวมขณะเคลือบที่มีต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ว่าเมื่อความดันรวมขณะเคลือบเพิ่มขึ้นจะทำให้ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึกเปลี่ยนไป สำหรับเหตุผลที่เมื่อเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ด้วยความดันรวมขณะเคลือบต่ำแล้วได้โครงสร้างผลึกแบบรูไทล์นั้น Yamagishi et al. (2003) ได้อธิบายว่า ที่ความดันรวมขณะเคลือบต่ำ จะทำให้ระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่ามาก ทำให้อะตอมของไททาเนียมหรืออนุภาคของแก๊สที่มี

พลังงานสูงสามารถเคลื่อนที่ไปยังวัสดุรองรับ โดยปราศจากการชนกัน ส่งผลให้การจัดเรียงตัวของอะตอมไททานเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึกแบบรูโพลี

ลักษณะพื้นผิวและความหนาของฟิล์มบาง จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางที่เคลือบได้พบว่าลักษณะเกรนของฟิล์มบางจะเปลี่ยนไปตามความดันรวมขณะเคลือบ โดยที่ความดันขณะเคลือบมีค่าเท่ากับ  $3.0 \times 10^{-3}$  mbar เกรนมีขนาดเล็กและมีลักษณะกลม ทั้งนี้เมื่อความดันรวมขณะเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีการเกาะกลุ่มกันแน่นขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางเปลี่ยนไปนั้นเป็นผลมาจากการพลังงานของสารเคลือบสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yamagishi et al. (2003) ที่กล่าวถึงผลของความดันรวมขณะเคลือบที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ว่าเมื่อเพิ่มความดันรวมขณะเคลือบจะทำให้เกรนของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์มีขนาดใหญ่ขึ้น

ในขณะที่ค่าความขรุขระของฟิล์มบางที่เคลือบได้พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปตามความดันรวมขณะเคลือบเช่นกัน โดยฟิล์มบางที่เคลือบด้วยความดันรวมขณะเคลือบเท่ากับ  $3.0 \times 10^{-3}$  mbar พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.69 nm และเมื่อความดันรวมขณะเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ฟิล์มบางที่เคลือบได้มีค่าความขรุขระเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li et al. (2006) ที่อธิบายถึงผลของความดันรวมขณะเคลือบที่มีต่อค่าความขรุขระของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ว่าเมื่อความดันรวมขณะเคลือบเพิ่มขึ้นจะทำให้ฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์มีค่าความขรุขระเพิ่มขึ้น โดยได้อธิบายไว้ว่าการที่ความขรุขระมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจาก เมื่อความดันรวมขณะเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความน่าจะเป็นในการชนกันของอนุภาคสารเคลือบเพิ่มขึ้น แต่ทำให้พลังงานของอนุภาคสารเคลือบลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอนุภาคสารเคลือบและ Adatom บนวัสดุรองรับมีค่าลดลง จนความขรุขระมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

สำหรับความหนาของฟิล์มบางที่เคลือบโดยใช้ความดันรวมขณะเคลือบต่าง ๆ พบว่าเมื่อความดันรวมขณะเคลือบเท่ากับ  $3.0 \times 10^{-3}$  mbar มีความหนาเท่ากับ 168.91 nm และมีค่าลดลงเมื่อความดันรวมขณะเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้น  $5.0 \times 10^{-3}$  mbar และ  $7.0 \times 10^{-3}$  mbar และมีค่าลดลงตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirghi, Aoki, and Hatanaka (2002) ที่ได้อธิบายผลของความดันรวมขณะเคลือบที่มีต่อสมบัติของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ว่า เมื่อความดันรวมขณะเคลือบเพิ่มขึ้น ความหนาของฟิล์มบางจะลดลง เนื่องจากเมื่อความดันรวมขณะเคลือบเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราเคลือบของฟิล์มบางมีค่าลดลงอย่างมาก ซึ่งในการลดลงของอัตราเคลือบขึ้นอยู่กับอัตราในการสปีดเตอริงและความน่าจะเป็นของการชนแบบกระเจิง (Scattering Collisions) ระหว่างสปีดเตอริงอะตอมกับอะตอมของแก๊สที่อยู่รอบ ๆ

## 1.2 ผลของความดันย่อย : กรณีไม่คุมความดันรวมขณะเคลือบ

ลักษณะของฟิล์มบาง จากผลการทดลองพบว่าสีของฟิล์มบางจะเปลี่ยนไปตามความดันย่อยของแก๊สออกซิเจน โดยเปลี่ยนจากสีเขียว เป็นสีเหลือง สีส้มและสีม่วงตามลำดับ โดยสีของฟิล์มบางที่สังเกตเห็นเกิดจากการแทรกสอดของแสงที่ผิวหน้าและหลังของฟิล์ม สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มบางเนื่องจากการแทรกสอดของแสงคือ ความหนาของฟิล์ม และดัชนีหักเหของเนื้อฟิล์ม ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Bally et al. (1998) ที่ทำการศึกษาศีของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าฟิล์มบางจะมีสีเปลี่ยนแปลงไปตามโครงสร้างและความดันย่อยของแก๊สออกซิเจน

โครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบ โดยใช้ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ พบว่าความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 24.09% มีโครงสร้างผลึกเฉพาะแบบรูไทล์เท่านั้น แต่เมื่อความดันรวมขณะเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 39.16% พบว่าฟิล์มบางมีความเป็นผลึกลดลง และเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 60.00% และ 78.26% พบว่าฟิล์มบางมีความเป็นผลึกมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Syarif, Miyashita, Yamaki, Sumita, Choi, and Itoh (2003) ที่ได้อธิบายผลของความดันย่อยแก๊สออกซิเจนขณะเคลือบที่มีต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ไว้ว่าเมื่อเพิ่มความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนจะทำให้ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีความเป็นผลึกลดลงโดยเปลี่ยนไปจากโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เป็นแบบอนาเทส

ลักษณะพื้นผิวและความหนาของฟิล์มบาง จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางที่เคลือบได้พบว่าลักษณะเกรนของฟิล์มบางเปลี่ยนไปตามความดันรวมย่อยของแก๊สออกซิเจน โดยที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนขณะเคลือบเท่ากับ 24.09% พบว่า เกรนที่ได้มีขนาดเล็ก เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 39.16% พบว่าเกรนมีขนาดเล็กลง ในขณะที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 60.00% พบว่าเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีขนาดเล็กลงอีกเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 78.26% ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ Syarif et al. (2002) ที่ได้อธิบายผลของความดันย่อยแก๊สออกซิเจนที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ไว้ว่าเมื่อเพิ่มความดันย่อยของแก๊สออกซิเจน ทำให้เกรนของฟิล์มบางที่เคลือบได้มีขนาดใหญ่ขึ้น

ขณะที่ค่าความขรุขระของฟิล์มบางที่เคลือบได้พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามความดันย่อยของแก๊สออกซิเจน โดยที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 24.09% พบว่าความขรุขระมีค่าเท่ากับ 1.41 nm และเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น พบว่าค่าความขรุขระใกล้เคียงกัน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Syarif et al. (2002) ที่ได้อธิบายผลเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสโดยควบคุมความดันย่อยของแก๊ส

ออกซิเจนเพื่อให้มีสมบัติโพโตคะตะไลติกว่า เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความขรุขระมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับความหนาของฟิล์มบางที่เคลือบพบว่าการเปลี่ยนแปลงตามความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าที่ความดันรวมขณะเคลือบเท่ากับ 24.09% มีความหนาเท่ากับ 197.10 nm และเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 39.16% และ 60.00% พบว่าฟิล์มบางมีความหนาลดลงโดยมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 78.26% ฟิล์มบางมีความหนาเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ Hunsche, Vergohl, and Ritz (2005) ที่ได้อธิบายผลของความดันย่อยแก๊สออกซิเจนต่ออัตราเคลือบของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ไว้ว่า เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราเคลือบของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ลดลง ซึ่งการที่อัตราเคลือบลดลงมีผลให้ฟิล์มบางมีความหนาลดลงตามไปด้วย

### 1.3 ผลของความดันย่อย : กรณีคุมความดันรวมขณะเคลือบ

ลักษณะของฟิล์มบาง จากผลการทดลองพบว่าสีของฟิล์มบางจะเปลี่ยนไปตามความดันย่อยของแก๊สออกซิเจน โดยเปลี่ยนจากสีเขียว เป็นสีฟ้า และสีเขียวตามลำดับ โดยสีของฟิล์มบางที่สังเกตเห็นเกิดจากการแทรกสอดของแสงที่ผิวหน้าและหลังของฟิล์ม สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มบางเนื่องจากการแทรกสอดของแสงคือ ความหนาของฟิล์ม และดัชนีหักเหของเนื้อฟิล์ม

โครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบโดยใช้ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่างๆ พบว่าที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนรวมขณะเคลือบเท่ากับ 44.28% พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบผสมของอนาเทสและรูไทล์รวมกัน และเมื่อสำหรับความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางยังแบบเดิมอยู่ มีลักษณะเป็นพีคแต่ความเข้มรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสเพิ่มขึ้นและฐานของพีคแคบลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zeman and Takabayashi (2002) ที่ได้อธิบายผลของความดันย่อยแก๊สออกซิเจนขณะเคลือบที่มีต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ไว้ว่า เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทำให้ฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์มีความเป็นผลึกมากขึ้น

ลักษณะพื้นผิวและความหนาของฟิล์มบาง จากการศึกษาลักษณะของพื้นผิวฟิล์มบางที่เคลือบโดยใช้ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่างๆ พบว่าที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 44.28% เกรนมีลักษณะกลมมน กระจายอยู่ทั่วพื้นผิวฟิล์มบาง โดยเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัย Toku, Pessoa, Marciel,

Massi, and Mengui (2008) ที่ได้กล่าวถึงผลของความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ว่าเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น พบว่าเกรนมีขนาดเล็กลง เนื่องจากเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทำให้สารเคลือบที่ตกเคลือบ มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ส่งผลให้พื้นผิวของฟิล์มบางมีความสม่ำเสมอและเรียบขึ้น

ในขณะที่ค่าความขรุขระของฟิล์มบางที่เคลือบเมื่อใช้ความดันรวมขณะเคลือบเท่ากับ 44.28% พบว่ามีค่าเท่ากับ 3.47 nm และมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Toku et al. (2008) ที่อธิบายผลของความดันย่อยแก๊สออกซิเจนที่มีต่อความขรุขระของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ว่าเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ฟิล์มบางที่เคลือบได้มีค่าความขรุขระลดลง

สำหรับความหนาของฟิล์มบางที่เคลือบโดยใช้ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่างๆ พบว่า ที่ความดันรวมขณะเคลือบเท่ากับ 44.28% มีความหนาเท่ากับ 88.65 nm และเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทำให้ฟิล์มบางมีความหนาเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Toku et al. (2008) ที่ได้อธิบายผลของความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนขณะเคลือบที่มีต่อความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ไว้ว่า เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการส่งผลให้ความหนาของฟิล์มบางที่เคลือบได้ลดลงจนกระทั่งมีความหนาคงที่ ทั้งนี้การที่ความหนาของฟิล์มบางมีค่าลดลงจนมีค่าคงที่ เกิดจากเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการออกซิเดชันที่ผิวหน้าของเป่าสารเคลือบ ส่งผลให้อัตราเคลือบของฟิล์มบางลดลงด้วย

## 2. การศึกษาสภาพชอบน้ำของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

### 2.1 สภาพชอบน้ำของกระจกที่ไม่เคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

จากการทดลองวัดค่ามุมสัมผัสของกระจกที่ไม่เคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่า มุมสัมผัสของหยดน้ำบนกระจกที่ไม่เคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ก่อนและหลังฉายแสงยูวีมีค่าเท่ากัน คือ 20 องศา แสดงให้เห็นว่ากระจกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ที่ไม่เคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ จะไม่สามารถแสดงสภาพชอบน้ำได้ สอดคล้องกับรายงานของ พรนภา สุจริตวรกุล (2548) ที่กล่าวว่าโดยทั่วไปมุมสัมผัสของกระจกแผ่นเรียบธรรมดา มีค่าประมาณ 20-30 องศา

### 2.2 ผลของความดันรวมขณะเคลือบ

จากการศึกษาผลของความดันรวมขณะเคลือบที่มีต่อสภาพชอบน้ำของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าหลังจากฉายแสงยูวีแล้ว ฟิล์มบางที่เคลือบได้ทั้งหมดสามารถแสดงสภาพชอบน้ำ โดยเมื่อความดันรวมขณะเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้น ฟิล์มบางจะแสดงสภาพชอบน้ำได้ดีขึ้น โดยฟิล์มบางที่เคลือบที่ความดันรวมขณะเคลือบเท่ากับ  $3.0 \times 10^{-3}$  mbar และ  $5.0 \times 10^{-3}$  mbar จะมีสภาพชอบน้ำใกล้เคียงกัน แต่ยังไม่ดีนัก ขณะที่ความดันรวมขณะเคลือบเพิ่มขึ้นเป็น  $7.0 \times 10^{-3}$  mbar ฟิล์มบางแสดงสภาพชอบน้ำยิ่งยวดได้ สอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Yamagishi et al. (2003) ที่ได้กล่าวถึงผลของความดันรวมขณะเคลือบที่มีต่อสภาพชอบน้ำของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ไว้ว่า เมื่อความดันรวมขณะเคลือบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีสภาพชอบน้ำดีขึ้นจนแสดงสภาพชอบน้ำที่ยาว นอกจากนี้ Franch, GIÖB, Metzner, Modes, Scheffel, and Zywitzki (2006) ได้อธิบายว่าโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสมีค่าแถบพลังงานสูงถึง 3.2 eV จึงมี Reducing Power มากกว่าโครงสร้างผลึกแบบอื่น ทำให้เกิด Oxygen Vacancy บนพื้นผิวของฟิล์มบางได้ง่ายซึ่งส่งผลให้แสดงสภาพชอบน้ำแบบที่ยาวได้ดี

2.3 ผลของความดันย่อย : กรณีไม่คุมความดันรวมขณะเคลือบ จากการศึกษาผลของความดันย่อยแก๊สออกซิเจนที่มีต่อสภาพชอบน้ำของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบโดยใช้ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ พบว่าหลังจากฉายแสงยูวีแล้ว ฟิล์มบางที่เคลือบได้ทั้งหมดสามารถแสดงสภาพชอบน้ำ และเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนมีค่าเพิ่มจาก 24.09% เป็น 39.16% 60.00 % และ 78.256% ตามลำดับนั้น พบว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีสภาพชอบน้ำใกล้เคียงกันแต่ยังไม่ดีนักเนื่องจากมุมสัมผัสหลังฉายแสงยูวียังมีค่ามาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Franch (2006) ที่ได้ทำการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการระเหยสารแบบกระตุ้นด้วยพลาสมา (Plasma-Activated Evaporation) พบว่าฟิล์มบางที่มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์จะแสดงสภาพชอบน้ำได้ไม่ดี

2.4 ผลของความดันย่อย : กรณีคุมความดันรวมขณะเคลือบ จากการศึกษาผลของความดันย่อยแก๊สออกซิเจนที่มีต่อสภาพชอบน้ำของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าหลังจากฉายแสงยูวีแล้ว ฟิล์มบางที่เคลือบได้ทั้งหมดสามารถแสดงสภาพชอบน้ำ ซึ่งเมื่อความดันย่อยแก๊สออกซิเจนเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 44.28% เป็น 64.28% และ 82.86% ตามลำดับนั้น ฟิล์มบางทั้งหมดที่เคลือบได้จะแสดงสภาพชอบน้ำได้ใกล้เคียงกัน โดยจะแสดงสภาพชอบน้ำแบบที่ยาวเมื่อฉายแสงยูวีไปเพียง 1 ชั่วโมงและยังคงแสดงสภาพดังกล่าวตลอดการทดลอง สำหรับสาเหตุที่ฟิล์มบางทั้งหมดแสดงสภาพชอบน้ำแบบที่ยาว เนื่องจากฟิล์มบางที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์โดย Zhao et al. (2005) ได้อธิบายว่าโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส มีค่าแถบพลังงานสูงกว่าโครงสร้างผลึกแบบอื่น อิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกกระตุ้นจึงมีพลังงานมาก นอกจากนี้ยังอธิบายว่าอัตราการรวมตัวกัน (Recombination Rate) ของอิเล็กตรอนและโฮลจะลดลงแบบ Exponential เมื่อแถบพลังงานมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นอิเล็กตรอนและโฮลมีชั่วชีวิต (Lifetime) นานขึ้น ทำให้เกิดสภาพชอบน้ำแบบที่ยาวได้

### 3. ความคงทนของสภาพชอบน้ำของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

จากการศึกษาความคงทนของสภาพชอบน้ำของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ โดยสังเกตจากค่ามุมสัมผัสที่เปลี่ยนไป พบว่าฟิล์มบางทั้งหมดแสดงสภาพชอบน้ำได้ โดยความดันย่อยแก๊สของออกซิเจนเท่ากับ 44.28% ฟิล์มบางแสดงสภาพชอบน้ำยิ่งยวด เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 64.28% ฟิล์มบางแสดงสภาพชอบน้ำยิ่งยวดดีกว่าเดิม ในขณะที่เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 82.86% ฟิล์มบางแสดงสภาพชอบน้ำลดลงแต่ยังคงสภาพชอบน้ำที่ดีอยู่ ทั้งนี้หากพิจารณาคุณสมบัติของฟิล์มบางทั้งหมดหลังทิ้งไว้ในที่มืดพบว่า เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น มุมสัมผัสจะขึ้นอย่างรวดเร็วตามลำดับจนมีค่าใกล้เคียงกับมุมสัมผัสเริ่มต้นก่อนฉายแสงยูวี โดยที่มุมสัมผัสของฟิล์มบางที่เคลือบโดยใช้ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่ำจะขึ้นช้ากว่าที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนมีค่าสูง

### สรุปผล

1. เมื่อความดันรวมขณะเคลือบเพิ่มขึ้น สีของฟิล์มบางจะเปลี่ยนไป และ โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางที่เคลือบได้เปลี่ยนจากโครงสร้างผลึกเฉพาะแบบรูไทล์เป็นโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสและรูไทล์รวมกัน สำหรับเกรนของฟิล์มบางที่เคลือบได้พบว่ามีขนาดใหญ่ขึ้นและความขรุขระมีค่ามากขึ้น ในขณะที่ฟิล์มบางมีความหนาลดลงเมื่อความดันรวมขณะเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้น
2. เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น (กรณีไม่คุมความดันรวมขณะเคลือบ) สีของฟิล์มบางจะเปลี่ยนไป ฟิล์มบางที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ โดยมีความเป็นผลึกลดลง โดยที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่ำ ฟิล์มบางแสดงความเป็นผลึกมากที่สุดสำหรับเกรนของฟิล์มบางที่เคลือบได้พบว่ามีขนาดใหญ่ขึ้นและลดลง ค่าความขรุขระมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ฟิล์มบางมีความหนาลดลงและเพิ่มขึ้นเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น
3. เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น (กรณีคุมความดันรวมขณะเคลือบ) สีของฟิล์มบางจะเปลี่ยนไปตามความดันย่อยของแก๊สออกซิเจน ฟิล์มบางที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบผสมของอนาเทสและรูไทล์รวมกัน โดยมีความเป็นผลึกมากขึ้น ทั้งนี้ที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนมีค่ามาก ฟิล์มบางแสดงความเป็นผลึกมากที่สุด เมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น พบเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความขรุขระและความหนามีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน
4. ฟิล์มบางที่เคลือบที่ความดันรวมขณะเคลือบต่าง ๆ เมื่อฉายแสงยูวีเป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้ว สามารถแสดงสภาพชอบน้ำได้ทั้งหมด ฟิล์มบางจะแสดงสภาพชอบน้ำได้ดีขึ้นเมื่อความดัน

รวมขณะเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความดันรวมขณะเคลือบเท่ากับ  $7.0 \times 10^{-3}$  mbar พิล์มบางแสดงสภาพชอบน้ำได้ดีที่สุดเป็นแบบยิ่งยวด

5. พิล์มบางที่เคลือบที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ (กรณีไม่คุมความดันรวมขณะเคลือบ) เมื่อฉายแสงยูวีเป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้ว สามารถแสดงสภาพชอบน้ำได้ทั้งหมด โดยมีสภาพชอบน้ำใกล้เคียงกันเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้น

6. พิล์มบางที่เคลือบที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ (กรณีไม่คุมความดันรวมขณะเคลือบ) เมื่อฉายแสงยูวีเป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้ว พิล์มบางทั้งหมดแสดงสภาพชอบน้ำได้ และเมื่อความดันย่อยแก๊สออกซิเจนเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้น พิล์มบางทั้งหมดที่เคลือบได้จะแสดงสภาพชอบน้ำได้ใกล้เคียงกัน โดยจะแสดงสภาพชอบน้ำยิ่งยวดหลังฉายแสงยูวีไปเพียง 1 ชั่วโมง

7. เมื่อความดันย่อยแก๊สของออกซิเจนเพิ่มขึ้น (กรณีไม่คุมความดันรวมขณะเคลือบ) พิล์มบางแสดงสภาพชอบน้ำยิ่งยวดดีกว่าเดิม และแสดงสภาพชอบน้ำลดลง หลังจากปล่อยฟิล์มบางไว้ในที่มืด พบว่าฟิล์มบางทั้งหมดมีความคงทนของสภาพชอบน้ำได้ไม่ดี แต่ที่ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 44.28 % มีความคงทนของสภาพชอบน้ำดีที่สุด