

การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับฆ่าเชื้อแบคทีเรียโดยการฉายแสง
Preparation of Titanium Dioxide Thin Films for Photokilling of Bacteria

ดลลักษ์ณ์ มานพ^{1,7} สุรีย์ ทองวานิชนิยม² วิเชียร ศิริพรหม^{3,7} อติสร บุรณวงศ์^{4,7}

สุรสิงห์ไชยคุณ^{5,7} และ นิรันดร์ วิทิตอนันต์^{6,7*}

Dhonluck Manop^{1,7}, Suree Tongwanichniyom², Wichian Siriprom^{3,7}, Adisorn Buranawong^{4,7},

Surasing Chaiyakun^{5,7} and Nirun Witit-anun^{6,7*}

บทคัดย่อ

ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนแผ่นซิลิกอนและกระจกด้วยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริงที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่างๆ ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ความหนาและลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค AFM และความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียโดยการฉายแสงยูวี ผลการศึกษาพบว่าฟิล์มมีโครงสร้างแบบพหุผลึกเฟสของฟิล์มเปลี่ยนจาก รูไทล์ เป็นอนาเทสผสมรูไทล์ และอนาเทส เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นความหนาฟิล์มลดลงจาก 171 nm เป็น 136 nm ความหยาบผิวเพิ่มขึ้นจาก 2.0 nm เป็น 5.4 nm เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น ฟิล์มไทเทเนียม-ไดออกไซด์ที่ได้สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียเมื่อสัมผัสแสงยูวีได้

คำสำคัญ : ไทเทเนียมไดออกไซด์ รีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริง การฆ่าเชื้อแบคทีเรียโดยการฉายแสง

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

² อ., คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี 20230

³ อ.ดร., คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี 20230

⁴ อ.ดร., ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

⁵ รศ.ดร., ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

⁶ ผศ.ดร., ห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิว ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

⁷ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ (ThEP) สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สกอ. ศท. กรุงเทพฯ

*Corresponding author : E-mail: nirun@buu.ac.th Tel. 03-810-3084

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

Abstract

Titanium dioxide thin films have been deposited on Si-wafer and glass slide by reactive DC magnetron sputtering method at different oxygen gas flow rate. The crystal structure was characterized by XRD, surface morphology was analyzed by AFM and disinfection of surfaces by photo catalytic oxidation with titanium dioxide and UV light irradiation. The results shown that all films have polycrystalline structure and change from rutile, mixed of anatase/rutile and anatase as oxygen gas flow rate increases. The film thickness decrease form 171 nm to 136 nm, while the roughness increase form 2.00 nm to 5.42 nm with increasing of oxygen gas flow rate. The titanium dioxide film can kill the bacteria when expose to the UV light.

Keywords : Titanium dioxide, Reactive DC Magnetron Sputtering, Photokilling of Bacteria

คำนำ

การปรับปรุงสมบัติเชิงผิวของวัสดุโดยการเคลือบด้วยสารในลักษณะฟิล์มบางกำลังได้รับความสนใจจากกลุ่มวิจัยทั่วโลก ทั้งนี้ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นฟิล์มอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับคามสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีสมบัติน่าสนใจหลายประการ เช่น มีค่าการส่งผ่านแสงสูงในช่วงที่ตามองเห็น ทนการกัดกร่อนของสารเคมี และการขัดสีได้ดี [1] มีค่าดัชนีหักเหสูง ($n = 2.5$ สำหรับอนาเทส และ $n = 2.7$ สำหรับรูไทล์) มีแถบพลังงานกว้าง (3.18 eV สำหรับอนาเทสและ 3.03 eV สำหรับรูไทล์) [2] ทำให้มีการนำไปใช้ในหลายด้าน เช่น การเคลือบแสง (optical coating) การเคลือบเพื่อปกป้องผิว (protective coating) การเคลือบให้มีสมบัติทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning coating) [3] ที่สำคัญฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ยังมีความสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (photocatalysis) [4] ทำให้เริ่มมีการนำไปประยุกต์ใช้เป็นชั้นเคลือบที่มีสมบัติในการฆ่าหรือยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่พบในธรรมชาติมี 3 เฟส คือ อนาเทส (anatase) รูไทล์ (rutile) และ บรูไกท์ (brookite) ซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์แต่ละเฟสมีสมบัติและลักษณะการใช้งานที่ต่างกัน โดยเฟสอนาเทสนิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงส่วนเฟสรูไทล์เหมาะสำหรับงานด้านทัศนศาสตร์ [5] ปัจจุบันเริ่มมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทสมาใช้เป็นชั้นเคลือบสำหรับฆ่าหรือยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น [6] การเตรียมฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ทำได้หลายวิธี เช่น โชลเจล ระเหยสาร หรือ สปีดเทอริง อย่างไรก็ตามเทคนิคสปีดเทอริงมีข้อได้เปรียบหลายประการอีกทั้งยังสามารถประยุกต์ไปสู่ การเคลือบชิ้นงานขนาดใหญ่ในระดับอุตสาหกรรมได้ง่ายอีกด้วย [7]

การเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อให้มีเฟสอนาเทสที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้ฆ่าหรือยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียนั้นพบว่าในปัจจุบันมีปัจจัยหลายประการ จากงานวิจัยของ Zeman and Takabayashi [8] พบว่าโครงสร้างผลึกของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นเปลี่ยนไปตามปริมาณแก๊สออกซิเจนในกระบวนการเคลือบ บทความนี้เป็นรายงานผลการเตรียมฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิครีแอคทีฟดีซีแมกเนตรอนสปีดเทอริง เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจน และทดสอบความเป็นไปได้ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* (*E. coli*) ของฟิล์มที่เคลือบได้เมื่อได้รับการฉายแสงยูวีเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิจัยต่อไป

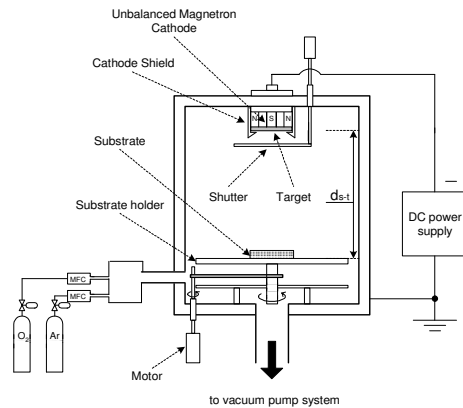
อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ในงานนี้เตรียมจากเครื่องเคลือบระบบปริแอกตีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง (ภาพที่ 1) ห้องเคลือบทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 310.0 mm ความสูง 370.0 mm ติดตั้งเป้าไทเทเนียม (99.97%) เส้นผ่านศูนย์กลาง 54.0 mm ที่คาโทด พร้อมภาคจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ใช้แก๊สอาร์กอน (99.999%) เป็นแก๊สสปัตเตอร์ แก๊สออกซิเจน (99.999%) เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา เครื่องสุบสุญญากาศประกอบด้วย เครื่องสูบบแบบแพร์โอมี่ เครื่องสูบกโรตารีเป็นเครื่องสูบท้าย การวัดความดันในห้องเคลือบใช้มาตรวัดความดันของ balzers รุ่น TPG300โดยใช้หัววัดแบบพิราณีรุ่น TPR010 และ หัววัดแบบเพนนิ่งรุ่น IKR050 การจ่ายแก๊สในกระบวนการเคลือบควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอัตราไหลมวลแก๊ส ของ MKS type247D



ภาพที่ 1 ลักษณะของเครื่องเคลือบที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมของเครื่องเคลือบที่ใช้ในงานวิจัย

การเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เริ่มจากนำวัสดุรองรับได้แก่แผ่นซิลิกอน (สำหรับตรวจสอบโครงสร้างผลึก) และกระจกสไลด์ (สำหรับทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อ) เข้าห้องเคลือบจัดให้ห่างจากหน้าเป้าสารเคลือบเท่ากับ 12 cm ลดความดันในห้องเคลือบให้ได้ความดันพื้นเท่ากับ 5.0×10^{-5} mbar ปลดปล่อยแก๊สเข้าห้องเคลือบ กำหนดให้แก๊สอาร์กอนลงที่เท่ากับ 1 sccm แปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจน 3 ค่า คือ 2, 4 และ 6 sccm โดยใช้กำลังไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 220 W ตลอดการเคลือบ ฟิล์มแต่ละชุดใช้เวลาเคลือบนาน 120 นาที

ฟิล์มที่ได้ทั้งหมดนำไปศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer; XRDของRigaku รุ่น Rint 2000 โดยใช้ Cu-K α ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$) ที่ 40 kV และ 40 mA ตรวจวัดด้วยมุมตกกระทบเฉียง (Grazing incident angle) คงที่เท่ากับ 3° สแกน 2θ จาก 20° ถึง 80° ศึกษาลักษณะพื้นผิว ความหนาและความหยาบผิว (R_{rms}) ของฟิล์มบางที่เคลือบได้ด้วยเครื่องอะตอมมิคฟอรัสมิโครสโคป (Atomic Force Microscope; AFM) ของ Veeco Instruments Inc. รุ่น Nanoscope IV ตรวจวัดแบบ tapping mode บนผิวหน้าฟิล์มบาง

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

การศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

การเตรียมเชื้อ *E.coli* เริ่มจากนำเชื้อ *E.coli* (จากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุข บ่มบอาหารเหลว Nutrient Broth ในขวดรูปชมพู่แบบให้อากาศบนเครื่องเขย่าแบบวงกลม 150 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 37° C นาน 16 ชั่วโมง ให้มีความเข้มข้นความขุ่นของเซลล์ 10^8 CFU/ml เทียบเท่ากับ Mcfarland Solution Standards No. 0.5 (O.D. 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 nm) แล้วนำมาปรับความเข้มข้นความขุ่นของเซลล์ ให้ได้ 10^7 CFU/ml โดยการนำเซลล์มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ ด้วยวิธี 10 - Fold Dilution Methods

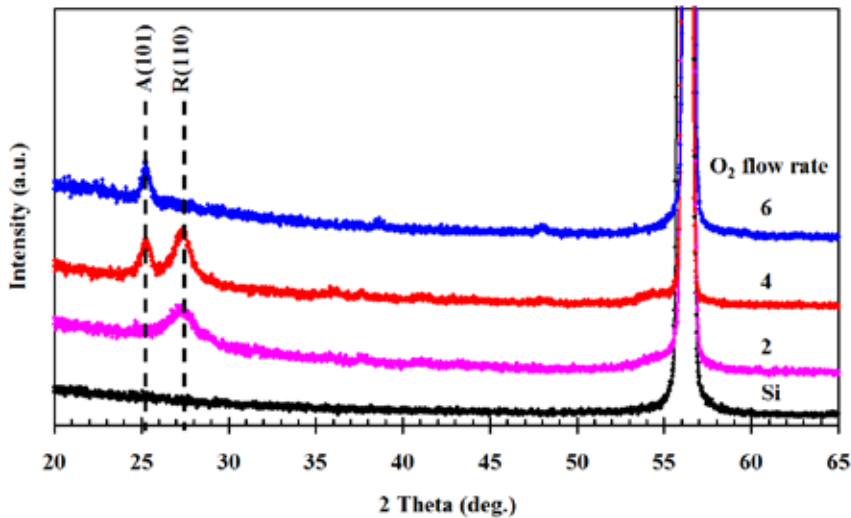
การทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อ เริ่มจากนำเชื้อ *E. coli* ความเข้มข้นความขุ่นเท่ากับ 10^7 CFU/ml ปริมาตร 10 μ l หยดบนกระจกที่ไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มในงานอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วปิดทับด้วย กระจกปิดสไลด์ นำไปปรับแสงยูวีจากหลอดอัลตราไวโอเล็ต ของ Phillips รุ่น CLEO COMPACT ขนาด 15 W ที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที นำมาเก็บเกี่ยวเซลล์ด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ ปริมาตร 9 ml บนเครื่องเขย่าแบบวงกลมนาน 10 นาที แล้วเจือจางเซลล์เชื้อ *E. coli* ด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อด้วยวิธี 10 - Fold Dilution Methods ให้อยู่ในช่วง 10^{-1} - 10^{-5} จากนั้นนำเซลล์เชื้อ *E. coli* แต่ละระดับความเจือจาง ปริมาตร 0.1 ml ไปเพาะเลี้ยงบนอาหาร Desoxycholate Agar ด้วยวิธี Spread Plate โดยบ่มที่อุณหภูมิ 37° C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สูดทำยตรวจนับจำนวนเซลล์เชื้อ *E. coli* เหลือรอด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ลักษณะกายภาพและโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้บนกระจกสไลด์ พบว่าฟิล์มที่เคลือบได้มีลักษณะใสส่งผ่านแสงได้ดี มีเจดสีม่วงอ่อนๆ ดังแสดงในภาพที่ 3 สำหรับอัตราเคลือบของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจน (หาจากค่าความหนาฟิล์มหารด้วยเวลาที่ใช่เคลือบฟิล์ม) แสดงในภาพที่ 4 พบว่าเมื่อใช้ อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่ำเท่ากับ 2 sccm อัตราเคลือบมีค่าประมาณ 1.4 nm/min และลดลงเท่ากับ 1.1 nm/min เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มเป็น 6 sccm เนื่องจากอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นนั้นทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนในห้องเคลือบมีค่ามากขึ้น แก๊สออกซิเจนจึงมีโอกาสรวมตัวกับอะตอมไทเทเนียมบริเวณผิวหน้าเป่าสารเคลือบแล้วเกิดเป็นชั้นบางๆ ของสารประกอบไทเทเนียมได-ออกไซด์ (TiO_2) ส่งผลให้อัตราการสปีดเตอร่าสารเคลือบ (Ti) มีค่าลดลงเพราะอัตราการสปีดเตอร่าของสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) มีค่าต่ำกว่าโลหะไทเทเนียม (Ti)

ภาพที่ 5 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่างๆ กัน พบว่าเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่ำเท่ากับ 2 sccm ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 27.30° ตรงกับไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ระนาบ (110) เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 4 sccm ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 25.28° และ 27.34° ตรงกับไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทสระนาบ (101) และเฟสรูไทล์ระนาบ (110) และสุดท้ายเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มเป็น 6 sccm ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 25.26° ซึ่งตรงกับไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทสระนาบ (101) ส่วนที่มุม 56.50° เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของซิลิกอนซึ่งเป็นวัสดุรองรับ การเกิดเฟสของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ในงานวิจัยนี้พบว่าการเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราไหลแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการเคลือบ ซึ่ง Zeman and Takabayashi [8] ได้อธิบายการเกิดเฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์ว่าเกี่ยวข้องกับพลังงานสารเคลือบโดยเฟสรูไทล์ เกิดขึ้นเมื่ออะตอมสารเคลือบมีพลังงานสูงซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่ามีอัตรา



ภาพที่ 5 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่างๆ

อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่ำทำให้ระยะปลอดการชนเฉลี่ย (mean free path) ในห้องเคลือบมีค่าสูง อะตอมสารเคลือบสามารถเคลื่อนที่โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานจากการชนกันเองภายในห้องเคลือบอะตอมสารเคลือบที่ได้จึงมีพลังงานสูงส่งผลให้ฟิล์มที่เคลือบได้เมื่อใช้อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่ำมีเฟสรูไทล์ ส่วนเฟสอนาเทสเกิดขึ้น เมื่อพลังงานของอะตอมสารเคลือบมีค่าต่ำทั้งนี้เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนในกระบวนการเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้นระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่าลดลงทำให้อะตอมสารเคลือบมีโอกาสชนกันเองมากขึ้นพลังงานของอะตอมสารเคลือบมีค่าลดลงฟิล์มที่เคลือบได้เมื่อใช้อัตราไหลแก๊สออกซิเจนสูงจึงมีเฟสอนาเทส

ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มที่เคลือบได้จากเทคนิค AFM สรุปได้ดังตารางที่ 1 พบว่าเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นความหนาฟิล์มมีค่าลดลง จาก 171 nm เป็น 136 nm เนื่องจากเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นอะตอมของออกซิเจนมีโอกาสเข้าไปรวมตัวกับอะตอมไทเทเนียมที่หน้าเป่าสารเคลือบทำให้เกิดเป็นชั้นบางๆ ของไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งไม่นำไฟฟ้าบริเวณผิวหน้าเป่าสารเคลือบ ทำให้อัตราเคลือบลดลงซึ่งส่งผลต่อความหนาฟิล์มที่เคลือบได้ลดลงด้วย ขณะที่ความหยาบผิวเฉลี่ยของฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 2.0 nm เป็น 5.4 nm เนื่องจากเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น พลังงานของสารเคลือบมีค่าลดลงเนื่องจากสูญเสียพลังงานจากการชนกันทำให้เมื่ออะตอมสารเคลือบเคลื่อนที่ถึงผิวหน้าของวัสดุรองรับแล้วเกิดการฟอร์มตัวเป็นชั้นของฟิล์มบางทันทีที่ลักษณะผิวหน้าของฟิล์มที่ได้จึงมีลักษณะขรุขระความหยาบผิวจึงมีค่าสูง

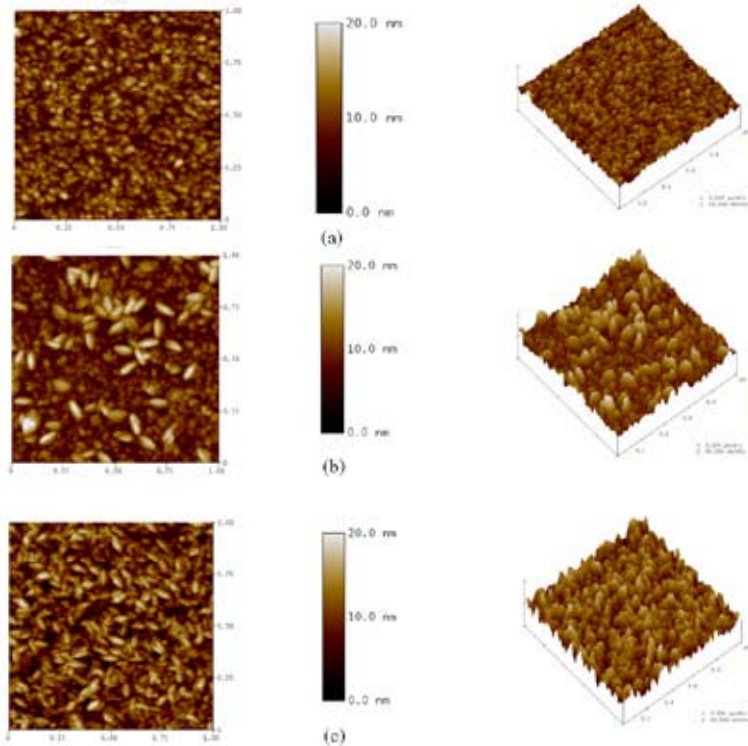
ภาพที่ 6 แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้จากเทคนิค AFM พบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm พื้นผิวของฟิล์มมีเกรนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วบริเวณบนผิวหน้าฟิล์ม ดังแสดงในภาพที่ 6 (a) สำหรับฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจน

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

เท่ากับ 4 sccm พื้นผิวมีเกรนขนาดเล็กใหญ่ปะปนกันกระจายอยู่บางบริเวณบนผิวหน้าฟิล์ม ดังแสดงในภาพที่ 6 (b) ส่วนฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 6 sccm พื้นผิวมีลักษณะขรุขระ มีความหยาบผิวสูง ดังแสดงในภาพที่ 6 (c) ทำให้ฟิล์มที่ได้มีพื้นที่ผิวมากที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์มที่เคลือบได้เมื่อใช้อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่ำ

ตารางที่ 1 ความหนา ความหยาบผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่างๆ

อัตราไหลแก๊สออกซิเจน (sccm)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิวเฉลี่ย (nm)
2	171	2.0
4	155	4.7
6	136	5.4



ภาพที่ 6 ลักษณะพื้นผิวจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ (a) 2 sccm (b) 4 sccm (c) 6 sccm

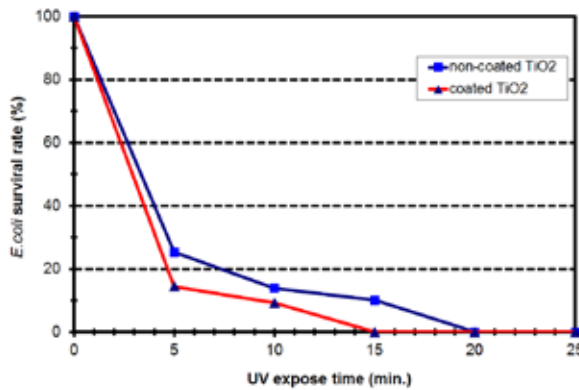
ความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการฉายแสง

งานวิจัยนี้ทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนกระจกด้วยเชื้อ *E. coli* เมื่อได้รับการฉายแสงยูวี โดยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ศึกษามีเฟสอานาเทสซึ่งเตรียมตามเงื่อนไขจากผลการทดลองข้างต้น เปรียบเทียบระหว่างกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มเมื่อฉายรับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ กัน พบว่ากระจกเคลือบฟิล์มมีความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่ากระจกไม่เคลือบฟิล์ม ตารางที่ 2 แสดงค่าเปรียบเทียบของจำนวนเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์ม เมื่อนำไปฉายรับแสงยูวีที่เวลา 0 นาที ถึง 25 นาที พบว่าจำนวนเชื้อก่อนฉายรับแสงยูวีบนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มมีจำนวนแตกต่างกันเล็กน้อยคือ 3.95×10^4 CFU/ml และ 4.85×10^4 CFU/ml ตามลำดับ เมื่อนำไปฉายรับแสงยูวี พบว่าจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดบนกระจกเคลือบฟิล์มมีค่าน้อยกว่าบนกระจกไม่เคลือบฟิล์ม กรณีนี้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนผิวหน้ากระจกสามารถฆ่าหรือยับยั้งการเติบโตของเชื้อ *E. coli* ได้ เนื่องจากเมื่อฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนผิวหน้าของกระจกได้รับแสงยูวีซึ่งจะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในชั้นแถบการนำ (conduction band) ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลออกซิเจนแล้วเปลี่ยนเป็นซูเปอร์ออกไซด์แรดิคัล ($O_2^{\cdot-}$) ส่วนโฮล (hole) ในแถบวาเลนซ์ (valence band) จะรับอิเล็กตรอนจากเชื้อแบคทีเรียที่อยู่บนผิวหน้าฟิล์มบนกระจกแล้วทำให้เกิดไฮดรอกซิลแรดิคัล (HO^{\cdot}) รวมถึงโมเลกุลน้ำที่ผิวหน้าของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล (HO^{\cdot}) ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาสูง แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับ Peptidoglycan ของ outer membrane ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันเซลล์แบคทีเรีย จน outer membrane ถูกทำลายลง จากนั้นจึงเข้าไปทำลายสารต่างๆ ภายใน cytoplasmic membrane ส่งผลให้เชื้อ *E. coli* ตายหรือไม่เติบโตในที่สุด [6] นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มไปฉายรับแสงยูวีนานขึ้นเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดมีจำนวนลดน้อยลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระจกเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีความสามารถในการฆ่าหรือยับยั้งการเติบโตของเชื้อ *E. coli* ได้ เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนผิวหน้ากระจกจะกระตุ้นให้เกิดไฮดรอกซิลแรดิคัลแล้วทำปฏิกิริยากับเชื้อ *E. coli* อย่างต่อเนื่องทำให้กระจกที่ฉายรับแสงเป็นเวลานานมีจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดน้อยกว่ากระจกที่ไม่เคลือบฟิล์ม ภาพที่ 7 แสดงอัตราการรอดตายของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มหลังการรับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ ส่วนภาพที่ 8 แสดงโคโลนีและลักษณะของเชื้อ *E. coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อฉายแสงยูวีที่เวลาต่างๆ

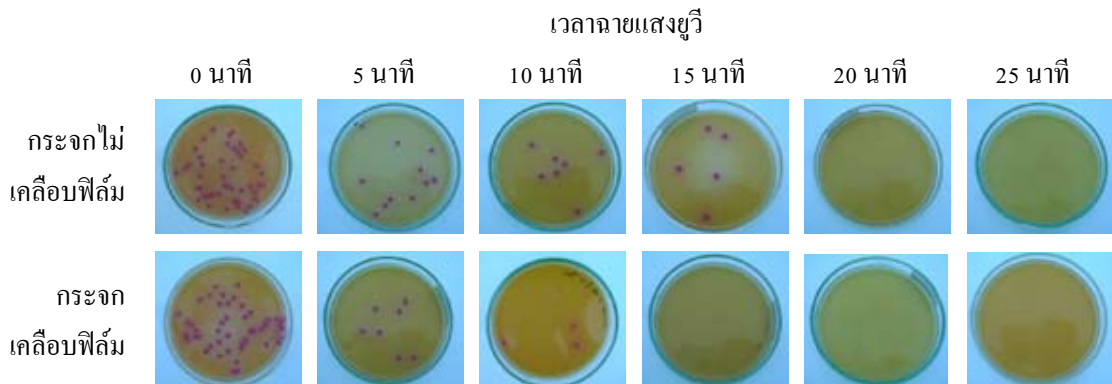
จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

ตารางที่ 2 จำนวนโคโลนีของเชื้อ *E.coli* หลังจากรับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ

เวลาฉายแสงยูวี (นาที)	จำนวนโคโลนี (CFU/ml)	
	ไม่เคลือบฟิล์ม	เคลือบฟิล์ม
0	3.95×10^4	4.85×10^4
5	1.00×10^4	0.70×10^4
10	0.55×10^4	0.45×10^4
15	0.40×10^4	0
20	0	0
25	0	0



ภาพที่ 7 อัตรการรอดตายของเชื้อ *E.coli* หลังการฉายรับแสงยูวี



ภาพที่ 8 ลักษณะของเชื้อ *E.coli* บนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อฉายแสงยูวีที่เวลาต่างๆ

สรุปผลการวิจัย

ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบด้วยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงเมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนในช่วง 2 sccm ถึง 6 sccm พบว่าฟิล์มที่ได้มีโครงสร้างแบบพหุผลึก เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น เฟสของฟิล์มที่เคลือบได้เปลี่ยนจาก รูไทล์ เป็นอนาเทสผสมรูไทล์ และ อนาเทส ขณะที่ความหนาฟิล์มลดลงจาก 171 nm เป็น 136 nm ส่วนความหยาบผิวฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 2.0 nm เป็น 5.4 nm เมื่อนำฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทสที่เคลือบบนกระจกไปทดสอบการฆ่าเชื้อแบคทีเรียพบว่ากระจกที่เคลือบฟิล์มมีความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E.coli* หลังการฉายรังแสงยูวีดีกว่ากระจกที่ไม่เคลือบฟิล์ม โดยพบว่าเชื้อ *E.coli* บนกระจกเคลือบฟิล์มตายหมดหลังการฉายรังแสงยูวีในเวลา 15 นาที ขณะที่กระจกที่ไม่เคลือบฟิล์มต้องใช้เวลาลงถึง 20 นาที เชื้อ *E.coli* บนกระจกจึงตายทั้งหมด

คำขอบคุณ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) สำหรับประยุกต์ใช้ฆ่าเชื้อ” ในแผนงานวิจัย “การปรับปรุงชีววัสดุด้วยเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางนาโนสำหรับอุตสาหกรรมในประเทศไทย” ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2555 (15 กลุ่มเรื่องเร่งด่วน)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ritter, E. (1975). Dielectric film materials for optical applications. Physics of thin films. New York: Academic Press, 1-49
- [2] Li, G.H., Yang, L., Jin, Y.X., and Zhang, L.D. (2000). Structural and optical properties of TiO_2 Thin film and $\text{TiO}_2+2\text{wt.}\% \text{ZnFe}_2\text{O}_4$ composite film prepared by r.f. sputtering.. **Thin Solid Films**. 368: 163-167.
- [3] Yamagishi, M., Kuriki, S., Song, P.K. and Shigesato, Y. (2003). Thin film TiO_2 photocatalyst deposited by reactive magnetron sputtering. **Thin Solid Films**. 442: 227-231.
- [4] Babelon, P., Dequiedt, A.S., Mostéfa-Sba, H., Bourgeois, S., Sibillot, P. and Sacilotti, M. (1998). SEM and XPS studies of titanium dioxide thin films grown by MOCVD. **Thin Solid Films**. 322: 63-67.
- [5] Löbl, P., Huppertz, M. and Mergel D. (1994). Nucleation and growth in TiO_2 films prepared by sputtering and evaporation. **Thin Solid Films**. 251, 72-79.
- [6] Sunada, K., Watanabe, T. and Hashimoto, (2003). Studies on photokilling of bacteria on TiO_2 thin film. **Journal of Photochemistry and Photobiology**. 156: 227-233.
- [7] Wu, K.R., Wang, J.J., Liu, W.C., Chen Z.S. and Wu J.K. (2006). Deposition of Graded TiO_2 films Featured both Hydrophobic and Photo-Induced Hydrophilic Properties. **Applied Surface Science**. 255, 5829-5838.
- [8] Zeman, P., and Takabayashi, S. (2002). Effect of Total and Oxygen Partial Pressures on Structure of Photocatalytic TiO_2 Films Sputtered on Unheated Substrate. **Surface and Coatings Technology**. 153, 93-99.