บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

บทนี้เป็นการอภิปรายและสรุปผลการศึกษาของงานวิจัย ประกอบด้วย ผลของระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ ผลของอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่อโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ และผลทดสอบการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อภิปราย

ผลของระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ

ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้ เคลือบบนแผ่นซิลิกอนด้วยระบบรีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง โดยกำหนดให้อัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนคงที่เท่ากับ 1 sccm : 6 sccm และแปรค่าระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ (d_{st}) เท่ากับ 10 cm, 12 cm, 14 cm, 16 cm และ 18 cm ตามลำดับ ผลการศึกษาโดยสรุปพบว่าเกิดฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ระยะ d_{st} เท่ากับ 10 cm, 12 cm และ14 cm ส่วนระยะอื่น ๆ ไม่เกิดการรวมตัวเป็นชั้นฟิล์มบาง ส่วนนี้เป็นการอภิปรายผลของระยะ d_{st} ต่อโครงสร้างผลึก ขนาดผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ความหนา และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

1. โครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางโดยพิจารณาจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบ เมื่อแปรค่าระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ (d_{st}) ต่าง ๆ พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ระยะ d_{st} เท่ากับ 10 cm มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุม 27.50° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ ระนาบ (110) เมื่อเพิ่มระยะ d_{st} เท่ากับ 12 cm และ 14 cm พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุม 25.24° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส ระนาบ (101) สำหรับระยะ d_{st} เท่ากับ 16 cm และ 18 cm ไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แสดงว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ogawa et al. (2008) ซึ่งพบว่าเมื่อระยะห่างของวัสดุรองรับกับเป้าสารเคลือบหรือตำแหน่งของ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วัสดุรองรับเพิ่มขึ้น พลังงานของสารเคลือบมีค่าลดลงทำให้โครงสร้างผลึกของฟิล์มที่ได้เปลี่ยนจากรูไทล์เป็นอนาเทส และอธิบายว่า ที่ระยะ d_{st} ต่ำฟิล์มที่ได้มีโครงสร้างแบบรูไทล์เนื่องจากอะตอมของสารเคลือบมีพลังงานสูง และเมื่อระยะ d_{st} เพิ่มมากขึ้นอะตอมสารเคลือบมีพลังงานลดลง ทำให้ฟิล์มมีโครงสร้างแบบอนาเทส นอกจากนี้ สังเกตได้ว่าการที่ฟิล์มมีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐานที่ระยะ d_{st} มากเกินไปนั้น อธิบายได้ว่าเกิดจากพลังงานของอะตอมของสารเคลือบลดลง เนื่องจากเกิดการชนกันก่อนตกเคลือบ ทำให้พลังงานของอะตอมของสารเคลือบที่มาถึงวัสดุรองรับลดลงจนไม่เพียงพอในการฟอร์มตัวเป็นผลึก (Ogawa et al., 2008)

จากผลของ XRD พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างแบบรูไทล์และแบบอนาเทส เมื่อนำมาคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซ พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เคลือบที่ระยะ d_{st} เท่ากับ 10 cm มีค่าคงที่แลตทิซเท่ากับ a = 4.609 Å และ c = 2.939 Å ซึ่งตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบรูไทล์ ส่วนที่ระยะ d_{st} เท่ากับ 12 cm และ14 cm มีค่าคงที่แลตทิซตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ โครงสร้างแบบอนาเทส โดยที่ระยะ d_{st} เท่ากับ 12 cm มีค่าคงที่แลตทิซเท่ากับ a = 3.786 Å และ c = 9.671 Å ส่วนที่ระยะ d_{st} เท่ากับ 14 cm ค่าคงที่แลตทิซเท่ากับ a = 3.789 Å และ c = 9.522 Å สำหรับระยะ d_{st} เท่ากับ 16 cm และ 18 cm ไม่สามารถคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซได้เนื่องจากฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน

ขนาดผลึกซึ่งคำนวณจากสมการของ Seherrer พบว่าฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ระยะ d_{st} เท่ากับ 10 cm มีขนาดผลึก 13.62 nm เมื่อเพิ่มระยะ d_{st} เท่ากับ 12 cm ขนาดผลึกมีค่าเท่ากับ 29.60 nm และระยะ d_{st} เท่ากับ 14 cm ขนาดผลึกจะมีค่าเท่ากับ 33.92 nm สำหรับระยะ d_{st} เท่ากับ 16 cm และ 18 cm ไม่สามารถคำนวณหาขนาดผลึกได้ ระยะ d_{st} เนื่องจากฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน อธิบายได้ว่าเมื่อระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเพิ่มขึ้น พลังงานของอะตอมสารเคลือบที่มาถึงวัสดุรองรับลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhou et al. (2006) ที่เคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีสปัตเตอริง และอธิบายว่าพลังงานในการเคลื่อนย้ายอะตอมหรือโมเลกุลมีผลต่อขนาดเกรน ซึ่งหากพลังงานในการเคลื่อนย้ายมาก ทำให้สามารถฟอร์มตัวเป็นชั้นของฟิล์มได้ดีและมีขนาดเกรนใหญ่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ความหนา และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เคลือบได้โดยการแปรค่าระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่างๆ พิจารณาได้จากเทคนิค AFM พบว่าเมื่อระยะ d_{st} เพิ่มขึ้น ความหนาฟิล์มลดลงจาก 220 nm เป็น 63 nm จะเห็นได้ว่าความหนาของฟิล์มลดลงตามระยะ d_{st} ที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ความหยาบผิวเฉลี่ยของฟิล์มมีค่าในช่วง 1.83 – 4.37 nm สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ogawa et al. (2008) ซึ่งพบว่าเมื่อระยะห่างของวัสดุรองรับกับเป้าสารเคลือบเพิ่มขึ้น ความหนาและความหยาบผิวมีค่าเปลี่ยนไป เนื่องจากเมื่อระยะห่างของวัสดุรองรับกับเป้าสารเคลือบเพิ่มขึ้นอะตอมสารเคลือบมีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการชนกับไอออนในพลาสมาที่เกิดขึ้นในกระบวนการเคลือบทำให้ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย และเป็นที่น่าสังเกตว่า ที่ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 12 cm ฟิล์มมีความหยาบผิวมากที่สุด ทำให้ได้ฟิล์มที่มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับใช้ศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ เมื่อถูกกระตุ้นโดยการฉายแสงอัลตราไวโอเลต

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ระยะ d_{st} เท่ากับ 12 cm มีโครงสร้างแบบอนาเทส ระนาบ (101) มีความเป็นผลึกและมีความหยาบผิวสูงสุด ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยระยะ d_{st} เท่ากับ 12 cm เป็นระยะที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

ผลของอัตราไหลแก๊สออกซิเจน

ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้นี้ เคลือบบนแผ่นซิลิกอนด้วยระบบรีแอคตีฟดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 12 cm ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมในการทำให้เกิดฟิล์มบางที่มีโครงสร้างแบบอนาเทส ใช้อัตราไหลแก๊สอาร์กอนคงที่เท่ากับ 1 sccm และแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm, 4 sccm และ 6 sccm ตามลำดับ ผลการศึกษาโดยสรุปพบว่าเกิดฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ในทุกเงื่อนไขของการทดลอง ซึ่งส่วนนี้เป็นการอภิปรายผลของอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่อโครงสร้างผลึก ขนาดผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ความหนา และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

1. โครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

โครงสร้างผลึกของฟิล์มที่ศึกษา พิจารณาจากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เคลือบโดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ พบว่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุม 27.30° ตรงกับไทเทเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบรูไทล์ระนาบ (110) ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4 sccm ได้โครงสร้างแบบอนาเทสผสมกับรูไทล์ โดยพบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 25.28° และ 27.34 ° ซึ่งตรงกับไทเทเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบอนาเทสระนาบ (101) และโครงสร้างแบบรูไทล์ระนาบ (110) ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 และเลขที่ 89-4920 ตามลำดับ สุดท้ายเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มเป็น 6 sccm ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุม 25.26° ตรงกับไทเทเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบอนาเทสระนาบ (101) ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 โดยที่มุม 56.50° เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซิลิกอนซึ่งเป็นวัสดุรองรับ ซึ่งการเกิดโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้ พบว่าเปลี่ยนไปตามอัตราไหลแก๊สออกซิเจนในกระบวนการเคลือบ ซึ่ง Zeman and Takabayashi (2002) ได้อธิบายการเกิดโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ว่าเกี่ยวข้องกับพลังงานสารเคลือบ โดยโครงสร้างแบบรูไทล์เกิดขึ้นเมื่ออะตอมสารเคลือบมีพลังงานสูง สำหรับงานวิจัยนี้ พบว่าเมื่อใช้อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่ำ ระยะปลอดการชนเฉลี่ย (Mean Free Path) ในห้องเคลือบมีค่าสูง อะตอมสารเคลือบสามารถเคลื่อนที่โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานจากการชนกันเองภายในห้องเคลือบ อะตอมสารเคลือบจึงมีพลังงานสูง ทำให้ฟิล์มที่เคลือบได้มีโครงสร้างแบบรูไทล์ ส่วนโครงสร้างแบบอนาเทสเกิดขึ้นเมื่อพลังงานของอะตอมสารเคลือบมีค่าต่ำ เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้นระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่าลดลง ทำให้อะตอมสารเคลือบมีโอกาสชนกันเองมากขึ้นพลังงานของอะตอมสารเคลือบมีค่าลดลง ฟิล์มที่เคลือบได้เมื่อใช้อัตราไหลแก๊สออกซิเจนสูงจึงมีโครงสร้างแบบอนาเทส

จากผลของ XRD พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างแบบรูไทล์และแบบอนาเทส เมื่อนำมาคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซพบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm มีค่าคงที่แลตทิซเท่ากับ a = 4.616 Å และ c = 2.915 Å ซึ่งตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบรูไทล์ เมื่อเพิ่มอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเป็น 4 sccm จะได้โครงสร้างแบบอนาเทสผสมกับรูไทล์ โดยมีค่าคงที่แลตทิซเท่ากับ a = 3.788 Å และ c = 9.535 Å สำหรับโครงสร้างแบบอนาเทส ซึ่งตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ และมีค่าคงที่แลตทิซเท่ากับ a = 4.610 Å และ c = 2.936 Å สำหรับโครงสร้างแบบรูไทล์ ส่วนที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจน 6 sccm มีค่าคงที่แลตทิซเท่ากับ a = 3.780 Å และ c = 9.535 Å ซึ่งตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบอนาเทส

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ขนาดผลึกซึ่งคำนวณจากสมการของ Seherrer พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm ฟิล์มบางมีโครงสร้างแบบรูไทล์ ขนาดผลึกเท่ากับ 11.67 nm เมื่อเพิ่มอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 4 sccm ฟิล์มบางมีโครงสร้างแบบรูไทล์ผสมแบบอนาเทส โดยมีขนาดผลึกเท่ากับ 18.58 nm และ 20.61 nm ตามลำดับ ส่วนอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 6 sccm มีโครงสร้างแบบอนาเทส ขนาดผลึกเท่ากับ 28.07 nm

2. ความหนา และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม พิจารณาจากเทคนิค AFM ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ พบว่าเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 2 sccm เป็น 6 sccm ฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนาลดลงจาก 171 nm เป็น136 nm ขณะที่ความหยาบผิวเฉลี่ยของฟิล์มมีเพิ่มขึ้นจาก 2.00 nm เป็น 5.42 nm ตามลำดับ ซึ่งที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 6 sccm ฟิล์มมีค่าความหนาน้อยที่สุด ขณะที่ความหยาบผิวมีค่ามากที่สุด เนื่องจากเมื่อแก๊สออกซิเจนในระบบเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราไหลแก๊สนั้น เป็นผลให้อัตราการสปัตเตอร์ของเป้าสารเคลือบลดลงซึ่งส่งผลให้ความหนาฟิล์มลดลงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Szczyrbowski et al. (1999) ได้อธิบายความสัมพันธ์ของความหยาบผิวกับความดันย่อยแก๊สออกซิเจนไว้ว่าความหยาบผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น เมื่อความดันย่อยแก๊สออกซิเจนขณะเคลือบฟิล์มมากขึ้น และจากงานวิจัยของ Syarif et al. (2002) ได้อธิบายผลของความดันย่อยแก๊สออกซิเจนที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้ว่า เมื่อเพิ่มความดันย่อยของแก๊สออกซิเจน มีผลทำให้ฟิล์มที่เคลือบได้มีความหยาบผิวมากขึ้น นอกจากนี้ในงานวิจัยของอดิศร บูรณวงศ์ (2551) ที่เคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีสปัตเตอริงโดยใช้ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมีขนาดเกรนและความหยาบผิวเพิ่มขึ้นด้วย

จากผลการทดลองในการวิจัยนี้สรุปได้ว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 6 sccm มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสที่ระนาบ (101) มีความเป็นผลึกและมีความหยาบผิวสูงสุด ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงเลือกฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 6 sccm เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลทดสอบการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

การศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบอนาเทส ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเลตที่เวลาต่าง ๆ กัน โดยเตรียมฟิล์มด้วยวิธีรีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง กำหนดให้อัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 1 sccm : 6 sccm ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 12 cm กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 220 W และใช้เวลาเคลือบนาน 120 min (เลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 1 และ 2) จากนั้นนำฟิล์มบางที่เคลือบได้มาทำการศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ผลการศึกษาโดยสรุปพบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ตามเงื่อนไขดังกล่าวเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลตสามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้ ซึ่งส่วนนี้เป็นการอภิปรายผลทดสอบการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

ผลการทดสอบเบื้องต้น

ผลการทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ด้วยแสงอัลตราไวโอเลตในเบื้องต้น พบว่าแสงอัลตราไวโอเลตมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ซึ่งจากการทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 0 นาที ถึง 30 นาที โดยการไม่ฉายและฉายรับแสงอัลตราไวโอเลตเปรียบเทียบผลระหว่างกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าเมื่อไม่ฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต จำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดบนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มจะค่อย ๆ ลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น และเมื่อฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต จำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดบนกระจกเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่าน้อยกว่าบนกระจกไม่เคลือบฟิล์ม และไม่พบจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่รอดตายเมื่อฉายแสงเป็นเวลานาน 30 นาที เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเชื้อ *E. coli* อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยทั่วไป เชื้อ *E. coli* จะเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำสุด 8° C และอุณหภูมิสูงสุด 47° C ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญ คือ 37° C (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2525) จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่าแสงอัลตราไวโอเลตมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli*

ผลการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ผลการทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยแสงอัลตราไวโอเลต พบว่าแสงอัลตราไวโอเลตมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ซึ่งจากการทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 0 นาที ถึง 30 นาที โดยการไม่ฉายและฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต เปรียบเทียบผลระหว่างกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าเมื่อไม่ฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต จำนวนเชื้อ

E. coli ที่เหลือรอดบนกระจกไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มจะค่อย ๆ ลดลงเพียงเล็กน้อย เกิดจากเชื้อ *E. coli* อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยทั่วไป เชื้อ *E. coli* สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำสุด 8° C และอุณหภูมิสูงสุด 47° C ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญ คือ 37° C (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2525) และเมื่อฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต จำนวนเชื้อ *E. coli* ที่เหลือรอดบนกระจกเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่าน้อยกว่าบนกระจกไม่เคลือบฟิล์ม และไม่พบจำนวนเชื้อ *E. coli* ที่รอดตายเมื่อฉายแสงเป็นเวลานาน 30 นาที จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่ากระจกที่เคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลต สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่ากระจกที่ไม่เคลือบฟิล์ม อธิบายได้ว่าเมื่อฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนผิวหน้าของกระจกได้รับแสงยูวีซึ่งจะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในชั้นแถบการนำ (Conduction Band) ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลออกซิเจนแล้วเปลี่ยนเป็นซุปเปอร์ออกไซด์แรดิคัล ($O_2^{-\bullet}$) ส่วนโฮล (Hole) ในแถบวาเลนซ์ (Valence Band) จะรับอิเล็กตรอนจากเชื้อแบคทีเรียที่อยู่บนผิวหน้าฟิล์มบนกระจกแล้วทำให้เกิดไฮดรอกซิลแรดิคัล ($HO^{\bullet}$) รวมถึงโมเลกุลน้ำที่ผิวหน้าของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล ($HO^{\bullet}$) ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาสูง แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับ Pepitidoglycan ของเยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer Membrane)ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันเซลล์แบคทีเรีย จนกระทั่งเยื่อหุ้มชั้นนอกถูกทำลายลง จากนั้นจึงเข้าไปทำลายสารต่าง ๆ ภายใน Cytoplasmic Membrane ส่งผลให้เชื้อ *E. coli* ตายหรือไม่เติบโตในที่สุด (Sunada, Watanabe, & Hashimoto, 2003; Pleskova et al., 2011) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ขนิษฐา หทัยสมิทธ์, สายัณห์ ผุดวัฒน์, กมล เอี่ยมพนากิจ และสุพัฒน์พงษ์ ดำรงรัตน์ (2550) ที่เคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีรีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง เฟสอนาเทส เมื่อนำมาศึกษาความสามารถในการทำลายเชื้อแบคทีเรียทั่วไป ภายใต้การฉายแสง near-UV พบว่ากระจกที่ผ่านการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่ากระจกที่ไม่เคลือบฟิล์มประมาณ 50%

จากผลการทดลองในการวิจัยนี้สรุปได้ว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ โครงสร้างผลึกแบบอนาเทส เมื่อนำมาศึกษาความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเลต พบว่ากระจกที่เคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่ากระจกที่ไม่เคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สรุปผลการทดลอง

1. ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับมีผลต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ระยะหรือตำแหน่งตำแหน่งของวัสดุรองรับ 10 cm ฟิล์มมีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ และเมื่อเพิ่มระยะเป็น 12 cm และ 14 cm ฟิล์มมีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส ขณะที่ระยะ 16 cm และ 18 cm จะไม่ปรากฏรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

2. เมื่อระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเพิ่มขึ้น ฟิล์มจะมีโครงสร้างผลึกเปลี่ยนจากโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ไปเป็นโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส

3. เมื่อระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนา ความหยาบผิว และขนาดเกรนของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าลดลง

4. อัตราไหลแก๊สออกซิเจนในกระบวนการเคลือบ มีผลต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 2 sccm , 4 sccm และ6 sccm โครงสร้างของฟิล์มที่เคลือบได้เปลี่ยนจาก รูไทล์ เป็นอนาเทสผสมรูไทล์ และ อนาเทส

5. เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้น ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้มีความหนาลดลง ขณะที่ความหยาบผิวเพิ่มขึ้น

6. ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ และอัตราไหลแก๊สออกซิเจนในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ มีผลต่อความสามารถในการเกิดสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์ม

7. ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 12 cm และอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 1 sccm : 6 sccm มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส และมีความสามารถในการแสดงสมบัติสมบัติโฟโตคะตะไลติก

8. ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์โครงสร้างแบบอนาเทสที่เคลือบบนกระจก เมื่อนำมาทดสอบการฆ่าเชื้อแบคทีเรียโดยการฉายแสงอัลตราไวโอเลต พบว่ากระจกที่เคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ มีความสามารถในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่ากระจกที่ไม่เคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University