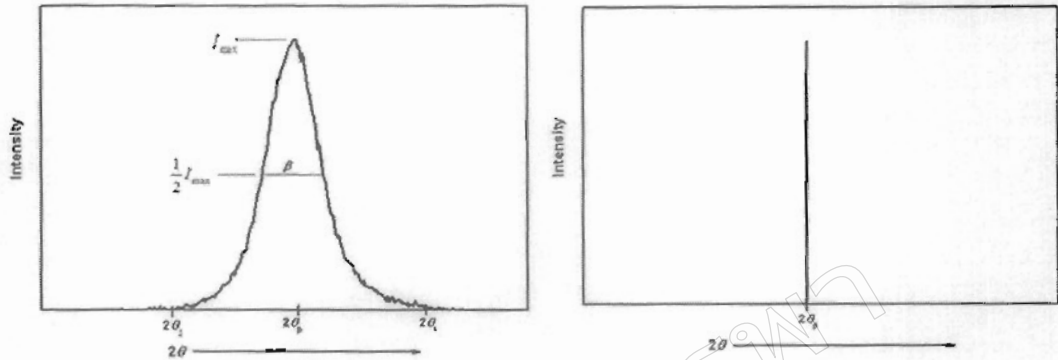


มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การคำนวณหาขนาดผลึก

การคำนวณหาขนาดผลึก (Crystallite size)



ภาพที่ ก-4 Effect of crystallite size on diffraction curves (schematic)(Cullity, 1978)

Scherrer Equation
$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta_\beta} \quad (\text{ก-3})$$

เมื่อ L คือ ขนาดของผลึกฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ หน่วย นาโนเมตร (nm)

k คือ ค่าคงที่เท่ากับ 0.94

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ ($\text{CuK}\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$)

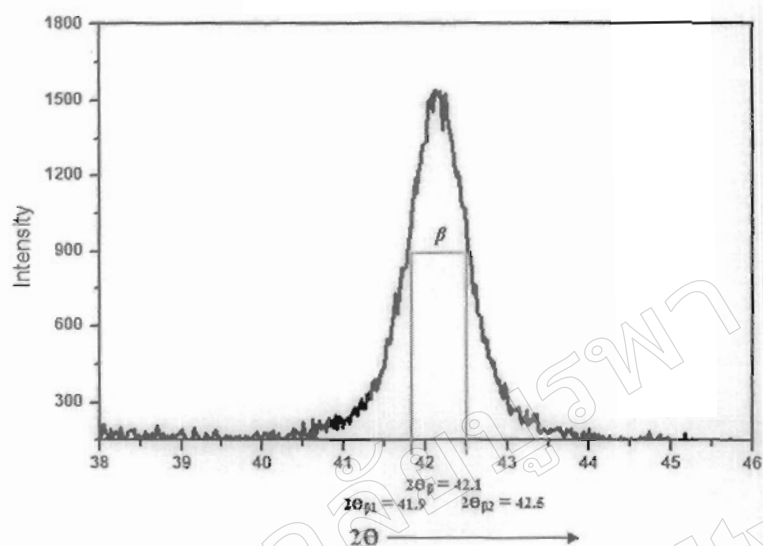
θ คือ ครึ่งหนึ่งของมุมตรงจุดศูนย์กลางฟิวด์ หน่วย เรเดียน

β คือ ความกว้างครึ่งหนึ่งของฟิวด์ที่มีค่าความเข้มสูงสุด

(Full Width at Half Maximum; FWHM) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ก-4

$$\beta = \frac{2\theta_{\beta 2} - 2\theta_{\beta 1}}{2} \quad (\text{ก-4})$$

ตัวอย่าง ก-2 การคำนวณขนาดผลึก



ภาพที่ ก-5 การหาความกว้างครึ่งหนึ่งของพีคที่มีค่าความเข้มสูงสุด

วิธีคำนวณ หาค่า β จากสมการ ก-4

$$\beta = \frac{2\theta_{p_2} - 2\theta_{p_1}}{2}$$

$$\beta = \frac{25.56 - 25.08}{2} = 0.0083 \text{ เรเดียน}$$

นำค่า β แทนในสมการ ก-3 จะได้

$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta_\beta} ; \cos \theta_\beta = 0.998 \text{ เรเดียน}$$

$$L = \frac{(0.94)(0.15406)}{(0.0083)(0.998)} = 17.48 \text{ nm}$$

ดังนั้น ผลึกมีขนาดเท่ากับ 17.48 nm

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



การประชุมวิชาการระดับชาติ
 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่
 The 5th NPRU National Academic Conference
2 0 1 3
 Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand

“การวิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน
 กับการก้าวสู่ประชาคมอาเซียน”

วันที่ 18-19 กรกฎาคม 2556
 อาคารโสตทัศนศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม






**ผลของความหนาที่มีต่อโครงสร้างผลึกและสมบัติทางแสง
ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยเทคนิคโซลเจล**
**Effect of Thickness on Structural and Optical Properties
of Titanium dioxide Thin Films Deposited by Sol-Gel Technique**

เพ็ญผกา พึ่งพา¹ นรินทร์ วิฑิตอนันต์^{1,2} และ ธนัสดา รัตนะ^{1,2}

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²ห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิว ศูนย์ความเป็นเลิศฟิสิกส์ (TheP) ลกอ. ศธ. กรุงเทพฯ
kpenpaka@hotmail.com

บทคัดย่อ

ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ที่เคลือบบนกระจกใสที่มีความหนาทึบต่างกัน โดยใช้เทคนิคการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีโซลเจลแบบจุ่มเคลือบ โดยจะศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึก ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม และเครื่องยูวี-วิสิเบิล-เนียร์อินฟราเรดตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จะพบโครงสร้างผลึกไททาเนียมไดออกไซด์แบบเพรสคิวเทสเมื่อความหนาของฟิล์มมีค่ามากกว่า 160 นาโนเมตร ในส่วนค่าแถบช่องว่างพลังงานของฟิล์มที่เคลือบได้จะมีค่าระหว่าง 2.90 – 3.20 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยค่าช่องว่างพลังงานจะมีค่าลดลงเมื่อความหนาของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ไททาเนียมไดออกไซด์ โซลเจล สมบัติทางแสง

Abstract

Titanium dioxide (TiO₂) thin films of different thickness were deposited on glass slide by sol-gel dip coating method. The structural, morphology and optical characterization were carried out by X-ray diffraction, atomic force microscopy and UV-VIS-NIR spectrophotometer, respectively. The XRD results indicated the presence of the anatase TiO₂ phase for the samples thicker than 160 nm. The optical band gap energy was estimated to be 2.90–3.20 eV, with band gap increased with the increase of the film thickness.

Keywords: Titanium Dioxide, Sol - Gel, Optical Properties

1. บทนำ

ปัจจุบันสารในกลุ่มโลหะทรานซิชันออกไซด์ (Transition-Metal Oxides) ได้รับความสนใจจากกลุ่มนักวิจัยทั่วโลกทั้งในด้านงานวิจัยและการประยุกต์ใช้งานสารในกลุ่มดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นสารตัวหนึ่งที่มีความสนใจในการวิจัยและนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติที่น่าสนใจหลายด้าน ทั้งทางด้านแสง ไฟฟ้า และเคมี ทำให้มีการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุหรือส่วนประกอบสำคัญในอุตสาหกรรมสมัยใหม่หลายอย่าง เช่น โซลาร์เซลล์ แผงวงจรรวม กระจกเคลือบ อุปกรณ์เซนเซอร์ หรือทางการแพทย์ [1] เป็นต้น

การวิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน
กับการก้าวสู่ประชาคมอาเซียน

โดยทั่วไปแล้วไททาเนียมไดออกไซด์ตามธรรมชาติมีเฟสอยู่ 3 เฟส คือ รูไทล์ (Rutile) มีโครงสร้างหลักเป็นแบบเตตระโกนอล (Tetragonal) อนาเทส (Anatase) มีโครงสร้างหลักเป็นแบบเตตระโกนอล (Tetragonal) และ บรูไกท์ (Brookite) มีโครงสร้างหลักเป็นแบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) แต่สำหรับในการผลิตบางไททาเนียมไดออกไซด์จะพบในรูปของโครงสร้างหลักในเฟสอนาเทส รูไทล์และอสัณฐาน (Amorphous) เป็นส่วนใหญ่ [2]

การเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์นั้นทำได้หลายวิธี เช่น เทคนิคโซลเจล (Sol-Gel) [3] เทคนิคสปัตเตอริง (Sputtering) การเหวี่ยงสารโดยใช้ลำไอออน (Ion Cluster Beam Deposition) [4] ทั้งนี้เทคนิคโซลเจล เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ สำหรับการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ โดยเป็นกระบวนการสังเคราะห์สารจากสถานะที่อยู่ในรูปของเหลว (Sol) มาอยู่ในรูปของแข็ง (Gel) โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีหลักคือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation) การเตรียมฟิล์มบางด้วยเทคนิคโซลเจล มีข้อดีหลายประการ เช่น เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนและมีต้นทุนไม่สูงมาก อุปกรณ์ในการเตรียมหาได้ง่าย ฟิล์มที่เตรียมได้มีลักษณะที่สม่ำเสมอและสามารถเตรียมในระดับสเกลขนาดใหญ่ (Large Scale) ได้

จากข้อดีของวิธีโซลเจลดังกล่าว ทำให้ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคโซลเจลได้รับความนิยมสูงในการทำวิจัย จากนักวิจัยต่างๆ ดังจะกล่าวถึงในวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Takahashi และคณะ [5] ได้ทำการศึกษากการเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคโซลเจล โดยใช้ไททาเนียมเตตระไฮโดรฟอสเฟต น้ำเอทานอลกรดไนตริก ในอัตราส่วน 1:1:10:1 และ 1:1:50:1 โดยใช้ความเร็วในการหมุนเคลือบแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาแตกต่างกัน และความหนาฟิล์มที่แตกต่างกันก็จะส่งผลให้มีปริมาณผลึกอนาเทสที่แตกต่างกันด้วย

Guillard และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาดังประสิทธิภาพของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ โดยใช้การเตรียมที่แตกต่างกันด้วยเทคนิคโซลเจล พบว่า ประสิทธิภาพของฟิล์มนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนรอบในการหมุนเคลือบ ความหนาของฟิล์ม อุณหภูมิในการอบเคลือบ และการเตรียมสารละลายในการหมุนเคลือบ ต้องเลือกสภาวะที่เหมาะสมแล้วจะได้ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

Sreemany และคณะ [7] ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในการเผาและความหนาของฟิล์มที่มีผลต่อสมบัติทางแสงและโครงสร้างของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคโซลเจล ใช้เตตระไฮโดรฟอสเฟตไททาเนียม/เอทิลีน-ไกลคอล-โมโนเมทิล-อีเทอร์/น้ำกลั่น/กรดอะซิติก ในอัตราส่วนโมลาร์ 1:3.2:1.8:0.7 เผาฟิล์มที่อุณหภูมิ 500 °C ในบรรยากาศแตกต่างกัน เพื่อให้เกิดเฟสอนาเทส ฟิล์มที่เผาในบรรยากาศของอาร์กอนมีขนาดผลึกที่เล็กที่สุดแต่ดัชนีหักเหกลับมีค่ามากที่สุด ส่วนที่เผาในบรรยากาศปกติมีขนาดผลึกใหญ่ที่สุดและมีค่าดัชนีหักเหน้อยที่สุด ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์มีความหนาอยู่ในช่วง 200-300 นาโนเมตร ฟิล์มที่หนา 200 nm มีค่าดัชนีหักเหมากกว่าฟิล์มที่หนา 300 nm ฟิล์มที่เผาในบรรยากาศของอาร์กอน มีค่า $E_g = 3.4$ eV ส่วนฟิล์มที่เผาในบรรยากาศปกติมีค่า $E_g = 3.3$ eV

จากงานวิจัยดังกล่าว พบว่า โครงสร้างและสมบัติของฟิล์มบางที่เคลือบด้วยเทคนิคโซลเจล ขึ้นอยู่กับกระบวนการเคลือบและเงื่อนไขที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม เช่น อุณหภูมิในการอบ ชนิดของสารตั้งต้นในการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ หรือความหนาของฟิล์ม [5-7] ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาผลของความหนาของฟิล์มที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคโซลเจลแบบหมุนเคลือบโดยใช้สารตั้งต้น ไททาเนียมเตตระไฮโดรฟอสเฟต ไฮโดรฟอสเฟต และปรับค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยกรดไนตริก ต่อไป

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การเตรียมวัสดุรองรับ

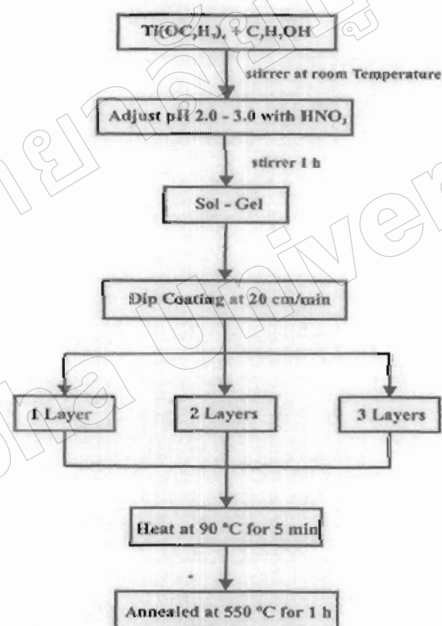
งานวิจัยนี้เป็นการเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์บนวัสดุรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ โดยเริ่มจากล้างกระจกสไลด์ด้วยอะซิโตน เป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยไฮโดรฟอสเฟต อีก 5 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริก 3% อีก 1 ชั่วโมง นำไปล้างน้ำและเป่าลมให้แห้ง

การเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

1. ผสมไททาเนียมเตตระไฮดรอกไซด์ในตัวทำละลายไฮดรอกไซด์ ให้มีความเข้มข้น 0.27 โมลาร์ ที่อุณหภูมิห้อง พร้อมทั้งทำการ stirrer ไปด้วย
2. ปรับด้วยกรดไนตริก ให้อยู่ในสภาวะกรด (พีเอช ~ 2 – 3)
3. ทำการกวน (stirrer) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. ทำการจุ่มเคลือบสารละลายบนแผ่นกระจกใสที่อัตราเร็ว 20 เซนติเมตรต่อวินาที
5. นำไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
6. ทำการเคลือบและอบฟิล์มซ้ำเป็นวงจรมตามจำนวนชั้นของการเคลือบฟิล์ม (1, 2 และ 3 ชั้น) ชั้นสุดท้ายของฟิล์มให้นำไปอบที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

ลักษณะเฉพาะของฟิล์มที่เคลือบได้ศึกษาด้วยเทคนิคต่างๆ ดังนี้ วัดความหนาของฟิล์มบางด้วยเครื่อง SurfTest (Mitutoyo SV-500) เฟสและโครงสร้างหลักของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD (Bruker D8) ลักษณะพื้นผิววิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM (SEIKO Instrument SPI4000) และในส่วนเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสง ใช้เครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer (shimadzu UV-3600)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

การวิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน
กับการก้าวสู่ประชาคมอาเซียน

4. ผลการดำเนินงาน

ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

เมื่อทำการจุ่มเคลือบฟิล์มบางที่จำนวนชั้นต่างๆ กัน คือ 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น นำไปวัดความหนาด้วยเครื่อง Surfist พบว่าฟิล์มบางมีความหนาเป็น 111 nm , 160 nm และ 208 nm ตามลำดับ ลักษณะของเนื้อฟิล์มจากการมองด้วยตาเปล่าเนื้อฟิล์มมีลักษณะใส เรียบ และมีการยึดเกาะของฟิล์มดี ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนาต่างๆ

ลักษณะทางโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

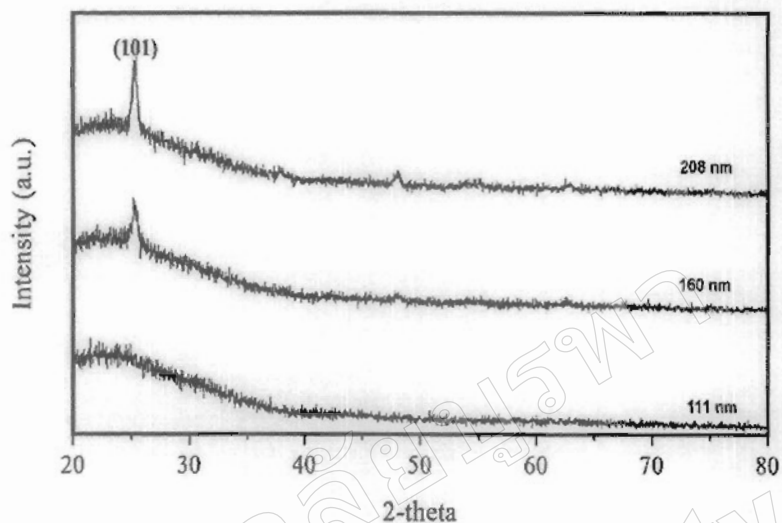
ภาพที่ 3 แสดงลักษณะทางโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD [8] พบว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนา 111 nm เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD จึงไม่พบเกิดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสอนาเทส ส่วนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนา 160 nm และ 208 nm พบเกิดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสอนาเทสปรากฏที่ระนาบผลึก (101) ที่มุม 2θ เท่ากับ 25.24 และ 25.28 องศา ตามลำดับ และเมื่อนำไปคำนวณหาขนาดผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์โดยใช้สมการ Scherrer Equation [9]

$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

เมื่อ

- L คือ ขนาดของผลึกฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์
- k คือ ค่าคงที่เท่ากับ 0.94
- λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ ($\text{CuK}\alpha = 1.5406$)
- β คือ ความกว้างครึ่งหนึ่งของพีคที่มีค่าความเข้มสูงสุด
- θ คือ ครึ่งหนึ่งของมุมตรงจุดศูนย์กลางพีค

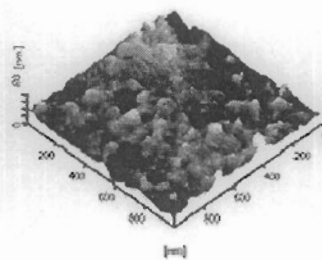
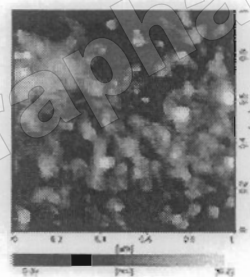
ฟิล์มบางที่ความหนา 111 nm ไม่พบเกิดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ จึงไม่สามารถคำนวณหาขนาดของผลึกได้ ส่วนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนา 160 nm และ 208 nm สามารถคำนวณหาขนาดของผลึกได้เป็น 17 nm และ 18 nm ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดผลึกที่ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ความเข้มของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อจำนวนชั้นในการเคลือบของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความหนาของฟิล์มที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นในการเคลือบ



ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิค XRD ที่ความหนาต่างๆ

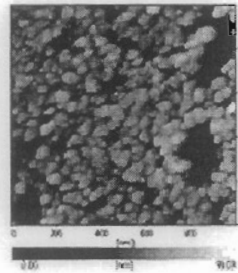
ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

ผลของลักษณะพื้นผิว ความหยาบผิวและหาความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope [10] แสดงในภาพที่ 4 พบว่า ฟิล์มบางที่ความหนา 111 nm ลักษณะของเกรนยังไม่ชัดเจน ที่ความหนา 160 nm และ 208 nm ลักษณะเกรนหลักของฟิล์มมีลักษณะกลมรี ขนาดของเกรนมีค่าเล็กน้อยในระดับนาโนโดยมีค่าประมาณ 60 nm นอกจากนี้ยังพบรูพรุนขนาดเล็กบนพื้นผิวฟิล์ม ที่ทุกเงื่อนไขของการเคลือบ

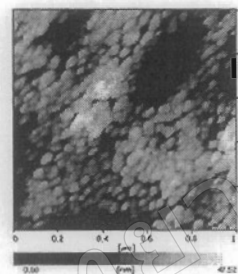
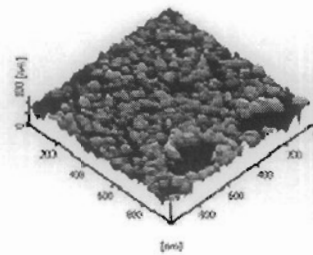


ความหนา 111 nm

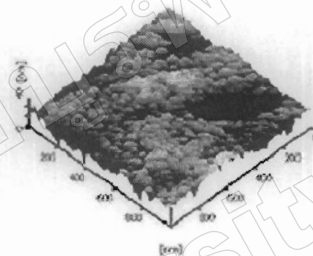
การวิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน
กับการก้าวสู่ประชาคมอาเซียน



ความหนา 160 nm



ความหนา 208 nm



ภาพที่ 4 ภาพพื้นผิวและภาพ 3 มิติของฟิล์มบางโพลิเมอไดออกไซด์ที่มีความหนาต่างๆ

ค่าการส่งผ่านแสงและค่าแถบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบางโพลิเมอไดออกไซด์

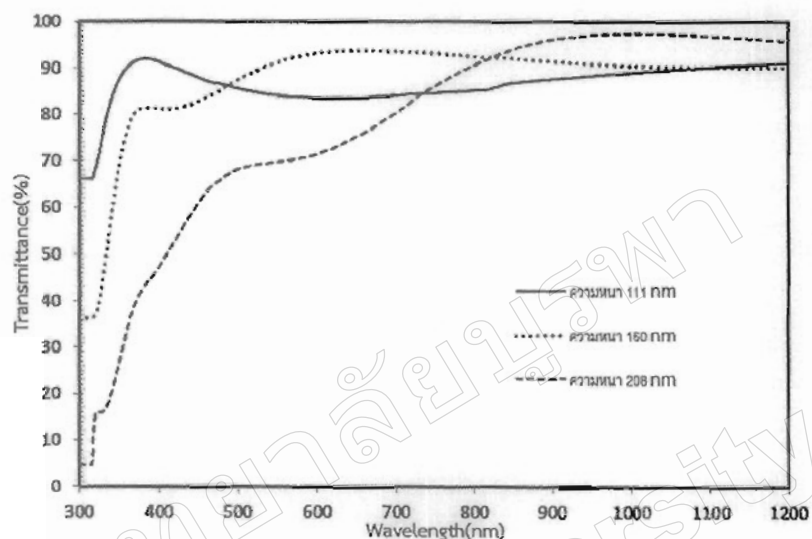
ผลการศึกษาฟิล์มบางโพลิเมอไดออกไซด์ด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่า ในช่วงความยาวคลื่น 300-500 nm เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงลดลงเมื่อฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ความยาวคลื่น 550 nm พบว่า เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางโพลิเมอไดออกไซด์ที่มีความหนา 111 nm 160 nm และ 208 nm มีค่าเป็น 85 % , 91 % และ 70 % ตามลำดับ

เมื่อนำเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางโพลิเมอไดออกไซด์มาคำนวณหาค่าแถบช่องว่างพลังงาน [11] จากสมการ

$$(\alpha h\nu)^2 = E_D(h\nu - E_g)$$

เมื่อ	h	คือ	ค่าคงที่ของพลังค์
	ν	คือ	ความถี่ของโฟตอนที่ตกกระทบ
	E_D	คือ	ค่าคงที่
	α	คือ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง
	E_g	คือ	ค่าแถบช่องว่างพลังงาน

ค่าแถบช่องว่างพลังงานของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนาต่างๆ แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเห็นได้ว่า เมื่อความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าแถบช่องว่างพลังงานมีค่าลดลง



ภาพที่ 5 สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนาต่างๆ

ตารางที่ 1 ค่าแถบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนาต่างๆ

ความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ (nm)	ค่าแถบช่องว่างพลังงาน (eV)
111	3.20
160	3.15
208	2.90

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของความหนาของฟิล์มที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจลแบบจุ่มเคลือบ โดยเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์บนกระจกใส ภายใต้เงื่อนไขความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึก ลักษณะพื้นผิว และสมบัติทางแสง โดยใช้สารตั้งต้นไททาเนียมเตตระไฮโดรพรอกไซด์ในตัวทำละลายไอโซโพรพานอล ให้ความเข้มข้น 0.27 โมลาร์ และทำการจุ่มเคลือบด้วยความเร็ว 20 เซนติเมตรต่อนาที ทำให้ฟิล์มบางที่ได้มีลักษณะใส และเรียบ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่า ฟิล์มที่ความหนา 160 nm และ 208 nm เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบมีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสอนาเทสที่เด่นชัดที่ระนาบผลึก

การวิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน
กับการก้าวสู่ประชาคมอาเซียน

(101) โดยความเข้มของฟิล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาของฟิล์มที่เพิ่มขึ้น หรือจำนวนชั้นในการเคลือบเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ลักษณะการของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้มีลักษณะกลมรี มีขนาดหลักในระดับนาโนที่มีค่าประมาณ 60 nm สมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้มีลักษณะใส โปร่งแสง และพบว่าช่วงรังสียูวี เปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงลดลงเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณค่าแถบช่องว่างพลังงานพบว่า ค่าแถบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ มีค่าระหว่าง 2.90-3.20 eV ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าช่องว่างพลังงานของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีอื่น [12]

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dumitriu, D., Bally, A.R., Ballif, A. C., Hones, P., Schmid, P.E., Sanjinés, R., Lévy, F., & Părvulescu, Photocatalytic Degradation of Phenol by TiO₂ Thin Films Prepared by Sputtering, *Applied Catalysis B: Environmental*, 25, 2000, 83-92.
- [2] Löbl, P., Huppertz, M., Mergel, D., Nucleation and growth in TiO₂ films prepared by sputtering and evaporation. *Thin Solid Films*, 251, 1994, 72.
- [3] Guan, K., Relationship Between Photocatalytic Activity, Hydrophilicity and Self-Cleaning Effect of TiO₂/SiO₂ films. *Surface & Coatings Technology*, 191, 2005, 155-160.
- [4] Barnes, M. C., Kumar, S., Green, L., Hwang, N. M., & Gerson, A. R., The Mechanism of Low Temperature Deposition of Crystalline Anatase by Reactive DC Magnetron Sputtering. *Surface & Coatings Technology*, 57, 2005, 967-971.
- [5] Sreemany, M. and Sen S., Influence of calcinations ambient and film thickness on the optical and structural properties of sol-gel TiO₂ thin films. *Materials Research Bulletin*, 42, 2007, 177-189.
- [6] Takahashi, M., Tsukigi, K., Uchino, T. and Yoko, T., Enhanced Photocurrent in Thin Film TiO₂ Electrode Prepared by Sol-Gel. *Thin Solid Films*, 388, 2001, 231-236.
- [7] Guillard, C., Beaugiraud, B., Dutriez, C., Herrmann, J.M., Jaffrezic, H., Renault, N.J. and Lacreix, M., Physicochemical Properties and Photocatalytic Activities of TiO₂ Films Prepared by Sol-Gel Methods. *Applied Catalysis B: Environmental*, 39, 2002, 331-342.
- [8] กมล เอี่ยมพนากิจ, "การศึกษาการเคลือบฟิล์มบางหลายชั้นให้ค่าการปลดปล่อยรังสีต่ำ". วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.
- [9] Kim, D.J., Haln, S.H., and Kim, E.J., Influence of Calcination Temperature on Structural and Optical Properties of TiO₂ Thin Films Prepared by Sol-Gel Dip Coating. *Materials Letters*, 57, 2002, 355-360.
- [10] จตุพร ภูมิกันถาญจน์, "การศึกษาสภาพพื้นผิวของโพลิเมอร์ โดยใช้เทคนิค Atomic Force Microscopy". วารสารเทคโนโลยีวัสดุ, 15, 2542, 46-50.
- [11] สุเมธ สุวรรณบุรณ์, "สมบัติทางแสงของผงซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยแมกนีเซียมในระดับนาโนเมตร". การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, 1, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 31 สิงหาคม 2550.
- [12] Zhao, X. T., Sakka, K., Kihara, N., Takada, Y., Arita, M., & Masuda, M. Structure and Photo-Induced Features of TiO₂ Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering. *Microelectronics Journal*, 36, 2005, 549-551.

**รายชื่อคณะกรรมการประเมินบทความวิจัยโครงการจัดประชุมวิชาการ
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 5**

1. รองศาสตราจารย์โสรัจ	กายบิรุรณ์	ประธานกรรมการ
2. ศาสตราจารย์ ดร.สุภาภัก	จันทวนิช	กรรมการ
3. รองศาสตราจารย์ชลีรัตน์	พยอมแย้ม	กรรมการ
4. รองศาสตราจารย์บรรดล	สุขปิติ	กรรมการ
5. รองศาสตราจารย์ ดร.สุนุตตรา	ตะบุนพงศ์	กรรมการ
6. รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ	โควินท์ทวีวัฒน์	กรรมการ
7. รองศาสตราจารย์ ดร.วิไลภรณ์	วรจิตตานนท์	กรรมการ
8. รองศาสตราจารย์ ดร.วิไลรัตน์	ศิริรินทร์	กรรมการ
9. รองศาสตราจารย์ศุทธิณี	โอบายะวาทย์	กรรมการ
10. รองศาสตราจารย์ ดร.สมบุรณ์	ศิริสรหิรัญ	กรรมการ
11. รองศาสตราจารย์ ดร.สมิต	อินทร์ศิริพงษ์	กรรมการ
12. รองศาสตราจารย์ลิขิต	กาญจนาภรณ์	กรรมการ
13. รองศาสตราจารย์ ดร.กัญญาณ	อินทว้าง	กรรมการ
14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โยธิน	ศรีโสภ	กรรมการ
15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิลปชัย	กงตาล	กรรมการ
16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐดาว	พิศาลพงศ์	กรรมการ
17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย	ลำไย	กรรมการ
18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์	แก้วขาว	กรรมการ
19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤติยา	รุจิโชค	กรรมการ
20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธาพร	ฉายะระถิ	กรรมการ
21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยวภา	บัวเวช	กรรมการ
22. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกศินี	ประทุมสุวรรณ	กรรมการ
23. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย	พงศ์สิทธิกาญจนา	กรรมการ
24. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยชนก	บัวเจริญ	กรรมการ
25. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลพร	สอนศรี	กรรมการ
26. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์สุภาว	จันทนะโสตร์	กรรมการ
27. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณท์ธิดา	นิลทองคำ	กรรมการ
28. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล	เรืองศรี	กรรมการ
29. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกั	แก้วมณี	กรรมการ
30. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาณี	อินทน์จันทน์	กรรมการ
31. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกศินี	ประทุมสุวรรณ	กรรมการ
32. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์	ฉิมะสังคนันท์	กรรมการ
33. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทนา	วัฒนกาญจนะ	กรรมการ
34. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมใจ	บุญทานนท์	กรรมการ

การวิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน
กับการก้าวสู่ประชาคมอาเซียน

35. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลวรา	สุวรรณพิมล	กรรมการ
36. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รชพร	จันทร์สว่าง	กรรมการ
37. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทิดศักดิ์	ไม้เท้าทอง	กรรมการ
38. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แสงเทียน	อยู่เถา	กรรมการ
39. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทร์	พลอยแหวน	กรรมการ
40. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์	อยู่เพชร	กรรมการ
41. อาจารย์ ดร.รัฐศิรินทร์	วังกานนท์	กรรมการ
42. อาจารย์ ดร.วิลลภา	จันทร์เพ็ญ	กรรมการ
43. อาจารย์ ดร.บุญสม	ทับสาย	กรรมการ
44. อาจารย์ ดร.สุจิตรา	คงจินดา	กรรมการ
45. อาจารย์ ดร.จิตติรัตน์	แสงเลิศอุทัย	กรรมการ
46. อาจารย์ ดร.อัมรินทร์	อินทร์อยู่	กรรมการ
47. อาจารย์ ดร.นภาพรณ	ยอดสิน	กรรมการ
48. อาจารย์ ดร.ครุณี	โกเมนเอก	กรรมการ
49. อาจารย์ ดร.วิชาญ	พันธุ์ประเสริฐ	กรรมการ
50. อาจารย์ ดร.นิพล	เชื้อเมืองพาน	กรรมการ
51. อาจารย์ ดร.ชานนท์	วรสาร	กรรมการ
52. อาจารย์ ดร.สามารถ	ทิมนาถ	กรรมการ
53. อาจารย์ ดร.วรรณวีร์	บุญคุ้ม	กรรมการ
54. อาจารย์ ดร.พิทักษ์พงศ์	ป้อมปรานี	กรรมการ
55. อาจารย์ ดร.เปรมศิริ	โรจน์สัจจะกุล	กรรมการ
56. อาจารย์ ดร.นภาพร	แก้วดวงดี	กรรมการ
57. อาจารย์ ดร.บุญธง	วสุริย์	กรรมการ
58. อาจารย์ ดร.สุชาดา	แสงดวงดี	กรรมการ
59. อาจารย์ ดร.ธดา	สิทธิ์ธาดา	กรรมการ
60. อาจารย์ ดร.พิชญานา	ยืนยาว	กรรมการ
61. อาจารย์ ดร.สุพจน์	เฮงพระพรหม	กรรมการ
62. อาจารย์ ดร.สุวิมล	มรรควิบูลย์ชัย	กรรมการ
63. อาจารย์ ดร.สุริยะ	รูปหมอก	กรรมการ
64. อาจารย์ ดร.พรณี	สุวัดี	กรรมการ
65. อาจารย์ ดร.ดวงใจ	ชนะสิทธิ์	กรรมการ
66. อาจารย์ ดร.อรพรรณ	ตุ้จินดา	กรรมการ
67. อาจารย์ ดร.จตุรงค์	อินทร์รุ่ง	กรรมการ
68. อาจารย์ ดร.สำเริง	กุจิรพันธ์	กรรมการ
69. อาจารย์ ดร.ธีระพร	อายุวัฒน์	กรรมการ
70. อาจารย์ ดร.มารุต	พัฒมผล	กรรมการ
71. อาจารย์กมลภุ	ณอมสัณฑ์	กรรมการ
72. อาจารย์ ดร.ธีรนนท์	วรรณศิริ	กรรมการ

73. อาจารย์ ดร.มนตรี	วิวัฒน์สุข	กรรมการ
74. อาจารย์ ดร.สมศักดิ์	อมรสิริพงศ์	กรรมการ
75. อาจารย์ ดร.เสรี	วรพงษ์	กรรมการ
76. อาจารย์ ดร.นภเรณู	สังจักษ์ ธีระจิตติ	กรรมการ
77. อาจารย์ ดร.ภรณ์ยา	อัมฤศรัตน์	กรรมการ
78. อาจารย์ ดร.นิลุบล	ทองชัย	กรรมการ
79. อาจารย์ ดร.ธนัน	เพียรตระกูล	กรรมการ
80. อาจารย์ ดร.ไกรรุ่ง	เฮงพระพรหม	กรรมการ
81. อาจารย์ ดร.กัญญา	สอนสนิทด	กรรมการ
82. อาจารย์ ดร.กิตติพันธ์	บุญอินทร์	กรรมการ
83. อาจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์	ชิมะลาวงศ์	กรรมการ
84. อาจารย์ ดร.ณัฐกฤตา	จันทิมา	กรรมการ
85. อาจารย์ ดร.ยศกิต	เรืองทวีป	กรรมการ
86. อาจารย์ ดร.พดุมพล	ลัมกิจเจริญภรณ์	กรรมการ
87. อาจารย์ ดร.ณรงค์ชัย	บุญไญยภรณ์	กรรมการ
88. อาจารย์ ดร.กัรติ	เกิดศรี	กรรมการ
89. อาจารย์ ดร.ณัฐพล	ศรีสิทธิโชคกุล	กรรมการ
90. อาจารย์ ดร.ศุภรัตน์	หัตถ์เจริญ	กรรมการ
91. อาจารย์ ดร.ร่มเกล้า	ศีลธรรม	กรรมการ
92. อาจารย์ ดร.ไพรัช	มากกาญจนกุล	กรรมการ
93. อาจารย์ ดร.สุเมธี	วงศ์ศักดิ์	กรรมการ
94. อาจารย์ ดร.ฉัตรประมณต์	ภูติจันทร์	กรรมการ
95. อาจารย์ ดร.โสมยง	ไต้ทอง	กรรมการ
96. อาจารย์ ดร.ดารินทร์	โพธิ์ตั้งธรรม	กรรมการ
97. อาจารย์ ดร.ปาริชาติ	ข้าวเรือง	กรรมการ
98. อาจารย์ ดร.รัชพงศ์	วงศาโรจน์	กรรมการ
99. เรืออากาศโทจาตุรนต์	จันระมาต	กรรมการ
100. อาจารย์ ดร.ศรีนัย	ฐิตารีย์	กรรมการ
101. อาจารย์ ดร.เศรษฐวัฒน์	เอกคนานวงศ์	กรรมการ
102. อาจารย์เสาวพงษ์	ยมาพัฒน์	กรรมการ
103. อาจารย์ ดร.ทรงพันธ์	ศรีสวัสดิ์	กรรมการ
104. พันตำรวจเอก ดร.อุกฤษฏ์	ศรีเลื้อขาม	กรรมการ
105. อาจารย์ ดร.สุรศักดิ์	โตประสี	กรรมการ
106. อาจารย์ ดร.พัชรศักดิ์	อาลัย	กรรมการและเลขานุการ

