ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ก

สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์แสดงดังต่อไปนี้

	Rutile TiO_2	Anatase TiO_2	Brookite TiO_2
Form.Wt.	79.890	79.890	79.890
Z	2	4	8
CrystalSystem	Tet	Tet	Orth
PointGroup	4/mmm	4/mmm	mmm
SpaceGroup	$P4_2/mnm$	$I4_1/amd$	Pbca
UnitCell			
a(Å)	4.5845	3.7842	9.184
b(Å)			5.447
c(Å)	2.9533	9.5146	5.145
Vol	62.07	136.25	257.38
MolarVol	18.693	20.156	19.377
Density	4.2743	3.895	4.123
Thermal Expansion(Volumetric)			
alpha	28.9		
a_0	0.2890		

Crystal Properties

Crystal growth method: Verneuil-Method

Crystal growth orientation: (001), (110)

Maximum size: Up to Ø 1.25 inch * 2 inch length (Conical)

Variations: Doped crystals (on Request)

Crystallographic Properties

Crystallographic structure: Tetragonal a = b = 4.593 Å c=2.959 Å

Twinning structure: Type a) Optical grade Grain boundary Free

Type b) Electronic grade with low angle grain boundaries

Color: Slight yellow, transparent

Physical Properties

Density: 4.26 g/ cm3

Melting point: 1825 °C

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Hardness:	6.5-7.0 (Mohs)	
Thermal expansion coefficient:	9.943 * 10-6 K-1	|| c-axis
	7.192 * l0-6 K-1	normal c-axis
Dielectric constant:	190	|| c-axis
	85	normal c-axis
Dielectric loss tangent:	»17 * 10-3	
Specific resistivity:	> 1013 Wcm	

Optical Properties

Transmission range:	0.42 to 6.0 µm	
Refractive index:	no = 2.613	Ordinary ray
	ne = 2.909	Extraordinary ray
Dispersion (n~ - Dc):	0.164	Ordinary ray
	0.207	Extraordinary ray
Birefringence (no-ne):	Strong, 0.296	

Titanium-Dioxide-Substrates (Continued)

Orientation:	(100), (110), (001), (111), (421), (111)
	Other orientations on request
	Off orientation 2, 3, 5, 10 and 15°
	Edge orientation is standard
Sizes:	10 * 10* 0.5/ 1.0 (mm)
	10 * 5 * 0.5/ 1.0 (mm)
	7 * 7 * 0.5/ 1.0 (mm)
	1" * 1" * 0.5/ 1.0 mm
	0.5" * 0.5" * 0.5/ 1.0 mm
	0.25" * 0.25" * 0.5/ 1.0 mm
	Ø Up to 1.25"
	Other shapes on request
Tolerances:	± 0.02 mm
Polish:	One or two sides epi pol.
Surface quality:	Scratch free at 800 x

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

	Measured with Veeco Dektak 8000
	Each shipment with certification
Parallelism:	±0.20
Flatness:	$\leq$ 1 mm /10 mm
Roughness:	Standard
	Ra $\leq$ 5 Å
	Rq $\leq$ 6 Å
	TIR $\leq$ 35 Å

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ข

ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ระดับน้ำทะเล และมวลอากาศ 1.5

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ตารางภาคผนวก ข-1 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ระดับน้ำทะเล และมวลอากาศ 1.5 ในคลื่นแสงช่วงตามองเห็น (Visible Range) 380-780 นาโนเมตร

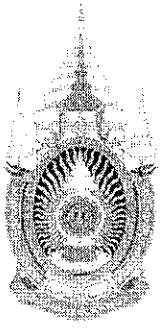
Wavelength (nm)	Energy (W/ $m^2\mu m$)	Relative Energy	Wavelength (nm)	Energy (W/ $m^2\mu m$)	Relative Energy
380	513.14	2.06	600	1324.65	5.30
400	749.95	3.00	620	1310.23	5.25
420	1003.24	4.02	640	1298.73	5.20
440	1136.67	4.55	660	1278.77	5.12
460	1387.34	5.56	680	1249.75	5.00
480	1456.28	5.83	700	1220.04	4.89
500	1425.25	5.71	720	1180.45	4.73
520	1373.08	5.50	740	1140.92	4.57
540	1362.83	5.46	760	828.63	3.32
560	1316.44	5.27	780	1065.90	4.27
580	1347.84	5.40	**Total**	**24970.13**	**100**

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก ค

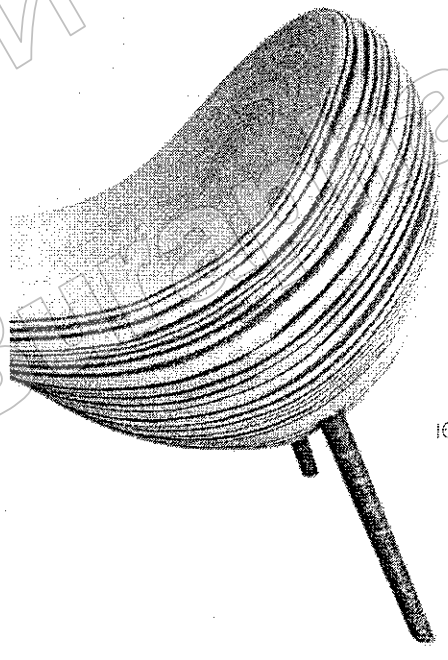
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



Proceedings of RSU Research Conference 2007

"เนื่องในวโรกาสเฉลิมพระชนมพรรษา 80 พรรษา และพระอัจฉริยภาพด้านงานวิจัย
ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ"



แพทยศาสตร์ และวิทยาศาสตร์สุขภาพ
วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
สถาปัตยกรรม และการออกแบบ
มนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์
การพัฒนาการเรียนการสอน
วิจัยสถาบัน

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยรังสิต
3 เมษายน 2550

ISBN 978-974-7167-70-2

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

Proceedings of

RSU Research Conference 2007

วันอังคารที่ 3 เมษายน 2550

อาคารอาทิตย์ อุไรรัตน์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ISBN 978-974-7167-70-2

สงวนลิขสิทธิ์ © ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2521

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2550

จำนวน 300 เล่ม

จัดทำโดย

คณะกรรมการจัดทำเอกสารประกอบการประชุมวิชาการ

ประจำปีการศึกษา 2549 ของมหาวิทยาลัยรังสิต

ออกแบบปกโดย อ.ไพเวช วังบอน

ภาพผลงาน "ผีแม่ม่าย (Fearless, day bed)"

ผลงานออกแบบเฟอร์นิเจอร์เชิงวัฒนธรรม เป็นสิ่งประดิษฐ์ใหม่และเป็นผลงานค้นคว้า

วิจัยทางวัฒนธรรมที่ผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีการผลิตและการใช้วัสดุธรรมชาติในท้องถิ่น

สนับสนุนต้นแบบไทย Thailand Creative & Design Center (TCDC)

ออกแบบโดย ไพเวช วังบอน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางภาคผนวก ข-1 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ระดับน้ำทะเล และมวลอากาศ 1.5 ในคลื่นแสงช่วงตามองเห็น (Visible Range) 380-780 นาโนเมตร

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

สารจากอธิการบดี

ปี 2550 เป็นปีมหามงคลที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ จะทรงมีพระชนมายุครบ 80 พรรษา โดยเมื่อต้นปีนี้เองเราก็ได้รับข่าวอันเป็นที่ปีติโสมนัสว่าองค์กรทรัพย์สินทางปัญญาโลก หรือ World Intellectual Property Organization หรือ WIPO ประกาศทูลเกล้าฯ ถวายรางวัลผู้นำด้านการประดิษฐ์คิดค้นระดับโลกแก่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ณ กรุงเจนีวา ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ เมื่อวันที่ 29 มกราคม 2550 โดยพระปรีชาสามารถด้านประดิษฐ์คิดค้นนวัตกรรม ประจวบกับมหาวิทยาลัยรังสิตมีแผนจัดกิจกรรมการประชุมวิชาการ ประจำปีการศึกษา 2549 หรือ RSU Research Conference 2007 เพื่อเทิดพระเกียรติและเผยแพร่พระอัจฉริยภาพด้านการวิจัย อีกทั้งเสริมส่งให้ประชาคมนักวิจัยทั้งในและนอกสถาบัน ได้เห็นความสำคัญของการประดิษฐ์คิดค้นนวัตกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติและมนุษยชาติ ตามรอยพระยุคลบาทและสอดคล้องกับพระราชดำริ

ในรอบสองทศวรรษที่ผ่านมา การวิจัยและพัฒนาเป็นหนึ่งในโครงการที่ได้รับการจัดอันดับความสำคัญสูง ทั้งในส่วนของคณาจารย์และนักศึกษา โดยเน้นหนักการวิจัยเชิงปฏิบัติการ การสร้างสรรค์นวัตกรรมที่เป็นประโยชน์ทั้งทางเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งรวมทั้งการคิดค้นต้นแบบผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีที่จะเพิ่มความสามารถในการแข่งขันระดับภูมิภาคและระดับนานาชาติ ทั้งนี้ มหาวิทยาลัยรังสิตถือว่าการวิจัยเป็นกระบวนการพัฒนาคุณภาพการศึกษาสมรรถภาพของคณาจารย์และนักศึกษา โดยเฉพาะการช่วยให้นักศึกษาได้มีโอกาสเรียนรู้นอกตำรา เปิดโลกทรรศน์ทางศาสตร์ต่างๆ ของวิชาชีพให้แตกฉานตั้งแต่ยังอยู่ในรั้วมหาวิทยาลัย นอกจากนี้ยังส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยระหว่างสถาบันอุดมศึกษา ภาคอุตสาหกรรม และเอกชนที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นเครือข่ายและพลังขับเคลื่อนให้เกิดการพัฒนาต่อยอด จนสามารถสร้างนวัตกรรมใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อประชาชนและประเทศชาติอย่างต่อเนื่อง

ผมขอขอบคุณท่านเลขาธิการมูลนิธิชัยพัฒนา ดร.สุเมธ ตันติเวชกุล ที่กรุณามาเปิดเวทีวิชาการ เรื่อง "ความรู้จากโครงการพระราชดำริ และพระอัจฉริยภาพด้านการวิจัยของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ" ขอบคุณท่านวิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน และขอให้การประชุมครั้งนี้สัมฤทธิ์ผลสมความมุ่งหมายทุกประการ

ดร.อาทิตย์ อุไรรัตน์

มหาวิทยาลัยรังสิต Burapha University

กำหนดการประชุมวิชาการประจำปีการศึกษา 2549

เวลา	กิจกรรม
08.00-09.00 น.	ลงทะเบียน
09.00-10.00 น.	การบรรยายพิเศษในหัวข้อเรื่อง "ความรู้จากโครงการพระราชดำริและพระอัจฉริยภาพด้านการวิจัยของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ" โดย ดร. สุเมธ ตันติเวชกุล เลขาธิการมูลนิธิชัยพัฒนา
10.00-12.00 น.	การนำเสนอผลงานวิจัย จำแนกตามกลุ่มสาขาวิจัย
12.00-13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน
13.00-15.00 น.	การนำเสนอผลงานวิจัย จำแนกตามกลุ่มสาขาวิจัย
15.00-15.30 น.	มอบเกียรติบัตร/รางวัลแก่ผู้นำเสนอผลงานวิจัยดีเด่น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญบทความ (ต่อ)

หน้า

กลุ่มที่ 2 วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)

G2-15 ผลของความดันรวมต่อโครงสร้างและสมบัติไฮโดรฟิลิกของฟิล์มบาง ไททาเนียมไดออกไซด์ 142
อดิศร บูรณวงศ์ และคณะ

G2-16 ผลของอุณหภูมิการอบอ่อนที่มีต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง ไททาเนียมไดออกไซด์ 148
ธีระวิทย์ ดีเลิศ และคณะ

G2-17 การเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลด้วยการใช้ไบโอดีเซลจาก น้ำมันไก่และน้ำมันปาล์ม 155
พนิดา สามไพบูลย์ และคณะ

G2-18 เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการพัฒนาเครื่องมือบูรณาการเชิงพื้นที่ อย่างมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาความยากจน 164
เกษม กุลประดิษฐ์ และคณะ

G2-19 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการแจกแจงก่อนในตัวประมาณ ค่าเฉลี่ยแบบเบส์ของปัวซง 171
วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล

G2-20 การออกแบบและสร้างสถานการณ์จำลองของวงจรประมวลผลแบบขนาน สำหรับการเทียบเรียงคู่ลำดับเบสดีเอ็นเอ 177
จักกริช พฤษการ

กลุ่มที่ 3 สถาปัตยกรรมและการออกแบบ

G3-01 การศึกษาลักษณะทางสถาปัตยกรรมเรือนพื้นถิ่นของชุมชนบริเวณ เตาโอ่งอ่าง อ.สามโคก จ.ปทุมธานี 185
สุดจิต สนั่นไหว

G3-02 ผังแม่บทที่พักบ้านศาลาแดงเหนือ ตำบลเชียงรากน้อย อำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี 192
นฤพนธ์ ไชยยศ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปีการศึกษา 2549 (RSU Research Conference 2007) วันที่ 3 เมษายน 2550

ผลของอุณหภูมิการอบอ่อนที่มีต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

Influence of annealing temperature on the optical property of titanium dioxide thin film

ธีระวิทย์ ดีเลิศ, นิรันดร์ วิทิตอนันต์, สำเภา จงจิตต์, อดิศร บูรณวงศ์ และ สุรสิงห์ ไชยคุณ

ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิอบอ่อนต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์จะถูกนำไปวัดค่าการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ส่วนค่าดัชนีหักเห (n) และค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญ (k) ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์จะคำนวณด้วยวิธี envelope ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญ จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อบอ่อนด้วยอุณหภูมิ 500 °C จะมีค่าสมบัติทางแสงดีที่สุด

คำสำคัญ: ค่าคงที่ทางแสง, ฟิล์มบาง, ไททาเนียมไดออกไซด์, สปัตเตอริง, รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง

Abstract

The influence of annealing temperature on the optical property of titanium dioxide thin films prepared by dc reactive magnetron sputtering technique has been studied. The transmittance spectra of titanium dioxide thin films on glass slide substrate were measured by spectrophotometer. The refractive index (n) and extinction coefficients (k) of titanium dioxide thin films were calculated by envelope method. The results show that the refractive index of titanium dioxide thin films increases with annealing temperature and the extinction coefficient decreases with annealing temperature. The titanium dioxide thin films annealed at 500°C have the best optical property.

Keywords: Optical constant, Thin film, Titanium Dioxide, Sputtering, Reactive DC Magnetron Sputtering

1. บทนำ

ปัจจุบันฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นฟิล์มที่มีสมบัติน่าสนใจหลายประการ เช่น มีค่าการส่งผ่านแสงในช่วงตามองเห็นสูง มีการยึดติดดี มีเสถียรภาพดีในหลายด้าน สามารถทนอุณหภูมิสูง ทนการกัดกร่อนของสารเคมี ทนการขัดสีดี ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ มีค่าดัชนีหักเหสูง (n = 2.55 สำหรับอนาเทส และ n = 2.7 สำหรับรูไทล์) เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานกว้าง (3.18 eV สำหรับอนาเทส และ 3.03 eV สำหรับรูไทล์) ทำให้ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับความสนใจจากกลุ่มวิจัยต่างๆ อย่างมาก

สำหรับการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์นั้นสามารถเตรียมได้หลายกระบวนการ ทั้งจากกระบวนการทางฟิสิกส์ เช่น Evaporation, RF sputtering, DC sputtering หรือจากกระบวนการทางเคมี เช่น sol-gel และ CVD เป็นต้น ทั้งนี้ฟิล์มบางที่ได้จากกระบวนการเตรียมที่แตกต่างกันจะมีสมบัติและลักษณะเฉพาะแตกต่างกันด้วย ขึ้นกับเทคนิคและกระบวนการเตรียมตลอดจนเงื่อนไขที่ในการเตรียมเป็นสำคัญ

ปกติแล้วไททาเนียมไดออกไซด์ที่พบในธรรมชาติจะมีอยู่ 3 เฟส คือ อนาเทส (anatase) รูไทล์ (rutile) และบรูไกท์ (brookite) โดยฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสอนาเทสและเฟสรูไทล์จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเตตระโกนอล (tetragonal) ส่วนเฟสบรูไกท์ จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบออทรอรอมบิก (orthorhombic) แต่ปกติแล้วจะไม่พบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสบรูไกท์จะพบเพียงเฟสอนาเทส รูไทล์และอสัณฐาน (amorphous) เท่านั้น

ด้วยสมบัติที่ดีเยี่ยมของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ทำให้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายด้านเช่น การประยุกต์ใช้ทางด้านสิ่งแวดล้อมในงานด้านโฟโตคะตะไลติคส์ (photocatalytic) เนื่องจากฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสอนาเทสจะมีความสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต หรือการประยุกต์ใช้งานทางด้านการแพทย์เนื่องจากฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสรูไทล์นั้นจะเข้ากันได้ดีกับเลือดมนุษย์ จึงนิยมนำไปใช้ทำชิ้นส่วนทางการแพทย์ที่ใส่เข้าไปในร่างกายมนุษย์เช่นใช้ทำเป็นลิ้นหัวใจเทียม (artificial heart valves) นอกจากนี้ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ยังเป็นฟิล์มบางแสง (optical thin film) ที่สำคัญ เพราะฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เป็นฟิล์มบางที่มีค่าดัชนีหักเหสูง อีกทั้งยังมีลักษณะที่โปร่งใสมีค่าการส่งผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นสูง ด้วยสาเหตุนี้จึงนิยมนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มาเป็นฟิล์มบางสำหรับงานเคลือบฟิล์มบางแสงทั้งในแบบฟิล์มบางชั้นเดียวและฟิล์มบางหลายชั้น

สมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ สามารถอธิบายได้ด้วย ค่าดัชนีหักเห (refractive index) และค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญ (extinction coefficient) ซึ่งค่าทั้งสองของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์นี้ขึ้นกับวิธีการเตรียมและเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในขณะทำการเตรียมฟิล์มบาง เช่น การควบคุมอัตราไหลของแก๊สสปัตเตอร์ ความดันรวม ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจน อุณหภูมิรัสคุรองรับ กระบวนการอบอ่อน ตลอดจนการใช้เทคนิคพิเศษต่างๆ

บทความนี้จะนำเสนอผลการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง รวมถึงผลของอุณหภูมิการอบอ่อนภายหลังการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วย

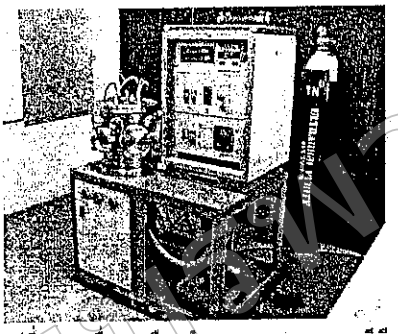
2. วิธีการวิจัย

ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ในการศึกษานี้เตรียมจากเครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบ ดีซี รีแอคตีฟ แมกนีตรอน สปัตเตอริง ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยคณะผู้วิจัย (รูปที่ 1) เครื่องเคลือบนี้มีห้องเคลือบทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 310.0 mm สูง 370.0 mm ติดตั้งเป้าไททาเนียม (99.97%) เส้นผ่าศูนย์กลาง 54.0 mm ที่คาโทด พร้อมภาคจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ใช้แก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์สูง (99.999%) เป็นแก๊สสปัตเตอร์ และใช้แก๊สออกซิเจนความบริสุทธิ์สูง (99.999%) เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา ในส่วนของระบบเครื่องสูบสุญญากาศของเครื่องเคลือบประกอบด้วยเครื่องสูบแบบแพร่ไอซึ่งมีเครื่องสูบกลโรตารีเป็นเครื่องสูบท้าย (backing pump) ความดันภายในภาชนะสุญญากาศใช้มาตรวัดความดันของ balzers

รุ่น TPG300 โดยใช้หัววัดแบบพิรานี รุ่น TPR010 และหัววัดแบบเพนนิ่งรุ่น IKR050 ในส่วนของการจ่ายแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนในกระบวนการเคลือบจะควบคุมด้วย mass flow controller ของ MKS รุ่น type247D

ขั้นตอนการเคลือบเริ่มจากนำกระจกสไลด์ที่ทำความสะอาดแล้วเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ จากนั้นลดความดันในภาชนะสุญญากาศให้ได้ความดันพื้น (base pressure) เท่ากับ 3.0×10^{-5} mbar แล้วปล่อยแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศเพื่อทำการเคลือบ โดยกำหนดให้อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 1:4 ขณะเคลือบจะควบคุมความดันรวมให้มีค่าเท่ากับ 5.0×10^{-3} mbar และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคาโทดเท่ากับ 220 W ตลอดการเคลือบ ก่อนการเคลือบทุกครั้งจะทำความสะอาดหน้าเป้าสารเคลือบโดยสปัตเตอร์หน้าเป้าสารเคลือบ ในบรรยากาศของแก๊สอาร์กอนนาน 10 นาที โดยปิดแผ่นบังที่ติดตั้งระหว่างเป้าสารเคลือบกับแท่นวางวัสดุรองรับ จากนั้นจึงเคลือบฟิล์มบางตามเงื่อนไขในตารางที่ 1

ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ทั้งหมดจะนำไปวัดความหนาด้วยเทคนิค AFM ส่วนการศึกษาผลของอุณหภูมิอบอ่อนที่มีต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง ทำโดยนำฟิล์มบางไปอบอ่อนในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 100, 300 และ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงปล่อยให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวัดค่าเปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ของ Shimadzu รุ่น UV-3100 ในช่วงความยาวคลื่น 250 – 800 nm แล้วนำค่าเปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางที่วัดได้ไปคำนวณค่าดัชนีหักเห (n) และ ค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญ (k) ด้วย envelope method



รูปที่ 1 เครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบ ดีซี รีแอคดีฟ สปัตเตอริง ที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในการศึกษา

Target	Titanium (99.97%)
Substrate	25x75 mm glass slide
Substrate temperature	Room Temperature
annealing temperature	100,300,500 °C
Base pressure	3.0×10^{-5} mbar
Working pressure	5.0×10^{-3} mbar
Power	220 Watt
Ratio of $Ar:O_2$	1:4
d_{ts}	10 cm
Time	6 hr

3. ผลและอภิปรายการทดลอง

3.1 ลักษณะของฟิล์มบางที่เคลือบได้

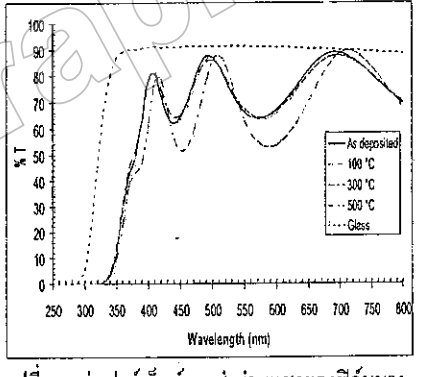
ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ในการศึกษาครั้งนี้มีความหนาประมาณ 260 nm สำหรับลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางที่เคลือบได้ เมื่อพิจารณาด้วยตาเปล่าพบว่า มีลักษณะใส สามารถส่งผ่านแสงดี เมื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของฟิล์มพบว่ามีการกระจายตัวของเนื้อฟิล์มสม่ำเสมอทั่วแผ่นกระจกสไลด์ที่เป็นวัสดุรองรับ เมื่อสังเกตสีของฟิล์มบางจากการสะท้อนและส่งผ่านแสงด้วยตาเปล่าพบว่า แสงสะท้อนที่ผิวหน้าของฟิล์มบางบนกระจกเป็นสีม่วงอ่อน ขณะที่แสงส่งผ่านฟิล์มบางและกระจกเป็นสีเขียวอมฟ้า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

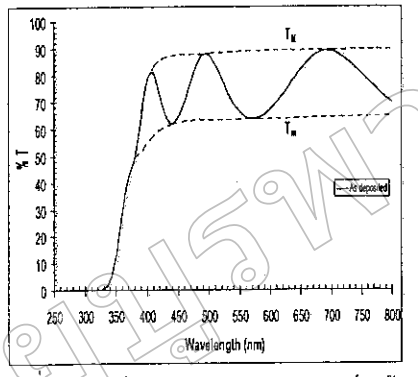
3.2 การส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง

รูปที่ 2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตและช่วงที่ตามองเห็นของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ก่อนและหลังการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่างๆ จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ส่งผ่านแสงได้ดีในช่วงตามองเห็นและลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอัลตราไวโอเลต โดยค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มจะมีเพิ่มและลดสลับกันตลอดความยาวคลื่นแสงที่พิจารณา เนื่องจากการแทรกสอดของแสงที่ผ่านชั้นฟิล์มบาง ทั้งนี้ลักษณะและรูปแบบของการแทรกสอดนี้จะเหมือนกันทั้งในกรณีก่อนและหลังการอบอ่อน โดยค่าขอบการดูดกลืน (absorption edge) ของฟิล์มก่อนการอบอ่อนจะมีค่าประมาณ 400 nm และเพิ่มเป็น 420 nm ที่อุณหภูมิอบอ่อนเท่ากับ 500 °C

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอบอ่อนต่อการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่า ค่าเปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางเมื่ออบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 300 °C มีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มบางที่ไม่ได้อบอ่อน ซึ่งต่างกับฟิล์มที่นำไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 500°C จะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงจะลดลงเล็กน้อย



รูปที่ 2 ค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิอบอ่อนต่างๆ



รูปที่ 3 ตัวอย่างซอง (envelope) คลุมสเปคตรัมการส่งผ่านแสงที่ใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบาง โดยลากผ่านเส้นผ่านค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสเปคตรัมการส่งผ่านแสง ในรูปเป็นสเปคตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบที่อุณหภูมิห้อง

3.3 ค่าดัชนีหักเหและค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบาง

การหาค่าดัชนีหักเหและค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในการศึกษาครั้งนี้หาจาก envelope method ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Swanepoel ตามแนวคิดของ Manifacier et.al ที่อาศัยเพียงค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางในการคำนวณเท่านั้น ซึ่งไม่ยุ่งยากอีกทั้งยังให้ค่าที่แม่นยำ

การคำนวณดัชนีหักเหและสัมประสิทธิ์การดับสูญของวิธีนี้จะเริ่มจากการสร้างซอง (envelope) คลุมสเปคตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางซึ่งวัดได้จากสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยการลากเส้นผ่านค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสเปคตรัมการส่งผ่านแสงตลอดช่วงความยาวคลื่นที่สนใจ และจากซองที่สร้างขึ้นนี้จะทำให้สามารถหาเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงสูงสุด (T_M) และ ต่ำสุด (T_m) ของความยาวคลื่นแสงที่ต้องการคำนวณค่าดัชนีหักเหและค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากตัวอย่างการสร้างของในรูปที่ 3 จะสามารถคำนวณค่าดัชนีหักเห (n) ของฟิล์มบางได้จากสมการ (1)

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_0^2 n_s^2}} \qquad (1)$$

เมื่อ

$$N = 2n_0 n_s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{n_0^2 + n_s^2}{2}$$

n_0 และ n_s คือ ดัชนีหักเหของอากาศและวัสดุรองรับ ส่วน T_M และ T_m คือค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงสูงสุดและต่ำสุดของความยาวคลื่นแสงที่พิจารณา

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญ (k) ของฟิล์มบางสามารถหาได้จากสมการ (2)

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \qquad (2)$$

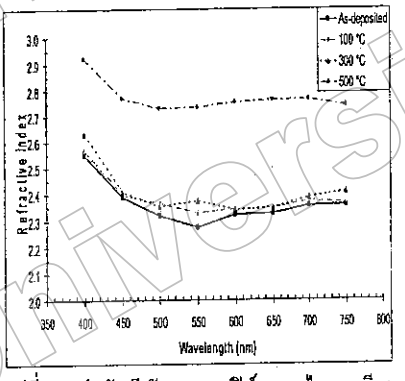
เมื่อ

$$\alpha = -\frac{1}{d}\ln\frac{(n+1)(n+n_s)(\sqrt{T_M} - \sqrt{T_m})}{(n-1)(n-n_s)(\sqrt{T_M} + \sqrt{T_m})}$$

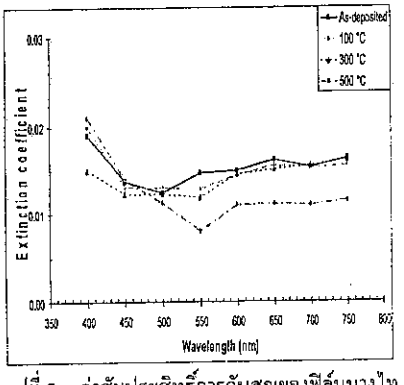
λ คือ ความยาวคลื่นแสงที่พิจารณา และ d คือ ความหนาของฟิล์มบางที่ศึกษา

รูปที่ 4 แสดงค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิอบอ่อนต่างๆ แปรค่าตามความยาวคลื่นแสง จะเห็นว่าค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นแสงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิอบอ่อนฟิล์มบางมีค่าสูงขึ้น ค่าดัชนีหักเหก็สูงเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ดีหากพิจารณาค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางที่อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิที่ 100°C และ 300°C ที่ความยาวคลื่น 550 nm พบว่าดัชนีหักเหจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จาก 2.28 เป็น 2.33 และ 2.37 ตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 500 °C ค่าดัชนีหักเหเพิ่มเป็น 2.74 แสดงว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีความเป็นผลึกมากขึ้นนั่นเอง

รูปที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิอบอ่อนต่างๆ แปรค่าตามความยาวคลื่น ทั้งนี้จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางจะมีค่าลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางยังมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนของฟิล์มบางสูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางที่ความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 550 nm พบว่ามีค่าลดลงจาก 0.015 (เป็นฟิล์มบางไม่ได้นำไปอบอ่อน) มาเป็น 0.013, 0.012 และ 0.008 สำหรับในกรณีของฟิล์มที่นำไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C 300 °C และ 500 °C ตามลำดับ



รูปที่ 4 ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิอบอ่อนต่างๆ แปรค่าตามความยาวคลื่น



รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิอบอ่อนต่างๆ แปรค่าตามความยาวคลื่น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ถึงแม้ว่าค่าดัชนีหักเหของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้โดยไม่มีการให้ความร้อนขณะเคลือบจะมีค่าไม่สูงมากนัก แต่ถ้านำฟิล์มบางไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C, 300 °C และ 500 °C จะพบว่าดัชนีหักเหจะมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญมีค่าลดลง

เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีหักและช่วงของค่าการส่งผ่านแสงที่อุณหภูมิอบอ่อนต่างๆ แล้ว พบว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อบอ่อนที่อุณหภูมิ 500 °C จะมีค่าดัชนีหักเหมากที่สุด และช่วงของการส่งผ่านแสงกว้างที่สุด แสดงว่าการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 500 °C จะทำให้ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีสมบัติทางแสงดีที่สุด

4. สรุปผลการวิจัย

ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง มีลักษณะใสและส่งผ่านแสงในช่วงตามองเห็นดี ค่าดัชนีหักเหและค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางนอกจากจะแปรค่าตามความยาวคลื่นแล้ว อุณหภูมิอบอ่อนยังมีผลต่อค่าดัชนีหักเหและค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางอีกด้วย โดยค่าดัชนีหักเหจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบอ่อนเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญจะลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิการอบอ่อนเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย "การวิจัยและพัฒนาฟิล์มบางนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์สำหรับกระจกไร้คราบสกปรก" ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ รหัสโครงการ NN-B-22-m34-100-49-51

เอกสารอ้างอิง

Dumitriu D, Bally AR, Ballif C, Hones P, Schmid PE, Sanjinés R, Lévy F, Pârvulescu VI. Photocatalytic degradation of phenol by TiO_2 thin films prepared by sputtering. Applied Catalysis B: Environmental 2000; 25: 83-92.

Hou Y Q, Zhuang D M, Zhong G, Zhao M, Wu M. S. Influence of annealing temperature of the properties of titanium oxide thin film. Applied Surface Science 2003 ; 218:97-105.

Li GH,Yang L, Jin YX, Zhang LD. Structural and optical properties of TiO_2 Thin film and TiO_2 + 2 wt.% $ZnFe_2O_4$ composite film prepared by r.f. sputtering. Thin Solid Films 2000; 368: 163-167.

Löbl P, Huppertz M, Mergel D. Nucleation and growth in TiO_2 films prepared by sputtering and evaporation. Thin Solid Films 1994; 251: 72-79.

Macleod H.A. Thin-Film Optical Filters, 2nd ed., Adam Hilger Ltd., 1986 Bristol 71.

Manifacier JC, Gasiot J, Fillard JP. A simple method for the determination of the optical constants n, k and the thickness of a weakly absorbing thin film. J. Physics K 1976; 9:1002-1004.

Mardare D. Optical constants of heat-treated TiO_2 thin films. Materials Science and Engineering B 2002 ; 95:83-87.

Pulker, H.K. Coatings on Glass, Elsvier Science Publishers B.V. 311, 1984.

Swanepoel R. Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon. J physics E 1983; 16: 1214-1222.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Takeda S, Suzuki S, Odaka H, Hosono H. Photocatalytic TiO_2 thin film deposited onto glass by DC magnetron sputtering.Thin Solid Films 2001; 392: 338-344.

Zhang F, Huang N, Yang P,Zeng X, Mao Y, Zheng Z, Zhou Z, Liu X. Blood compatibility of titanium oxide prepared by ion-beam-enhanced deposition. Surface and Coatings Technology 1996; 84: 476-479.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

มหาวิทยาลัยรังสิต

ขอมอบเกียรติบัตรนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

ธีระวิทย์ ดีเลิศ

ได้ร่วมนำเสนอผลงานวิจัย เรื่อง

ผลของอุณหภูมิการอบอ่อนที่มีต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปีการศึกษา ๒๕๔๙

มอบไว้ ณ วันที่ ๓ เดือนเมษายน ๒๕๕๐

(ดร.อาทิตย์ อุไรรัตน์)

อธิการบดี

มหาวิทยาลัยรังสิต Burapha University