

บทที่ 4

ผลการวิจัย

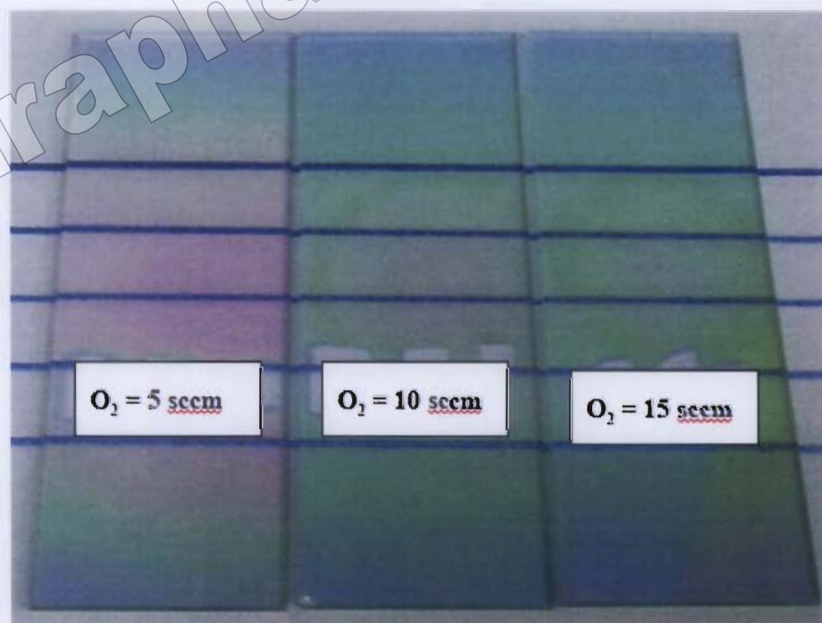
บทนี้เป็นข้อมูลจากการทดลองตามแนวทางในบทที่ 3 มีผลดังนี้ การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอานาเทส การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนและสมบัติทางแสงและแถบพลังงานของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจน ดังนี้

การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอานาเทส

ส่วนนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้จากวิธีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสเป็คเตอรืง แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ (1) ผลของอัตราไหลแก๊สออกซิเจน และ (2) ผลของความดันรวม ดังนี้

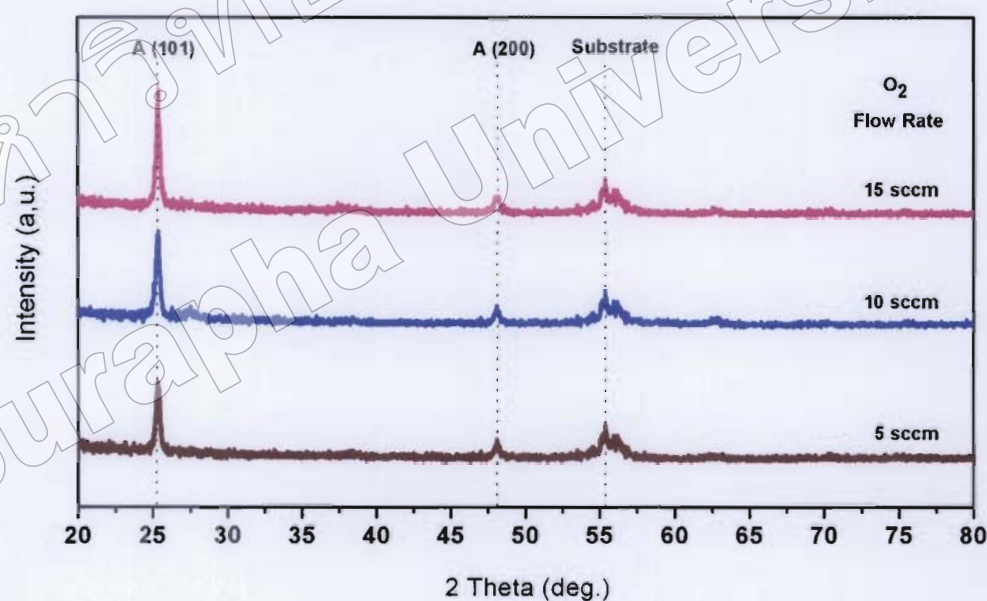
1. ผลของอัตราไหลแก๊สออกซิเจน

1.1 ลักษณะทางกายภาพ ฟิล์มบางที่เคลือบได้จากการแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจน พบว่าฟิล์มมีลักษณะใส ส่องผ่านแสงได้ดี มีสีม่วง หรือเขียวอ่อน ๆ เปลี่ยนไปตามอัตราไหลแก๊สออกซิเจน ดังแสดงในภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 ลักษณะของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

1.2 โครงสร้างผลึก ภาพที่ 4-2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนแผ่นซิลิกอน โดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 5 sccm มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 25.34° และ 47.98° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอลที่เฟสอนาเทรสนาบ (101) และ เฟสอนาเทรสนาบ (200) ตามลำดับ และเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 10 sccm และ 15 sccm ฟิล์มที่เคลือบได้มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุมเดิมทั้งหมด แต่ความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 25.34° เฟสอนาเทรสนาบ (101) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 15 sccm ความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเฟสอนาเทรสนาบ (101) มีค่าสูงสุด โดยที่มุม 56.50° เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของธาตุซิลิกอนซึ่งเป็นวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4-2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ จากสมการการคำนวณหาระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกที่มีโครงสร้างแบบเตตระโกนอล โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเฟลสอนาเทส คือ a มีค่าอยู่ในช่วง $3.784 \text{ \AA} - 3.785 \text{ \AA}$ และ c มีค่าอยู่ในช่วง $9.365 \text{ \AA} - 9.534 \text{ \AA}$ ตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 ดังแสดงในตารางที่ 4-1

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์หาจากสมการของ Scherrer อาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่ได้ พบว่าเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นขนาดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง $54.28 \text{ nm} - 65.14 \text{ nm}$ ดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เฟลสอนาเทสที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

ค่าคงที่แลตทิซ	มาตรฐาน JCPDS (89-4921)	อัตราไหลแก๊สออกซิเจน (sccm)		
		5	10	15
$a \text{ (\AA)}$	3.777	3.784	3.784	3.785
$c \text{ (\AA)}$	9.501	9.499	9.534	9.365

ตารางที่ 4-2 ขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สออกซิเจน (sccm)	FWHM (องศา)	Crystallite size (nm)
5	0.150	54.28
10	0.145	56.15
15	0.125	65.14

1.3 ความหนาและลักษณะพื้นผิว ภาพที่ 4-3 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ จากเทคนิค AFM พบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 5 sccm และ 10 sccm เกรนมีลักษณะเล็กแหลม เมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 15 sccm เกรนเริ่มมีขนาดใหญ่ เรียว และแหลมขึ้น สำหรับความหนาและความหยาบผิวของฟิล์ม พบว่าเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 5 sccm เป็น 15 sccm ฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนาและความหยาบผิวลดลงจาก 238 nm เป็น 215 nm และ 5.92 nm เป็น 4.85 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM ที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

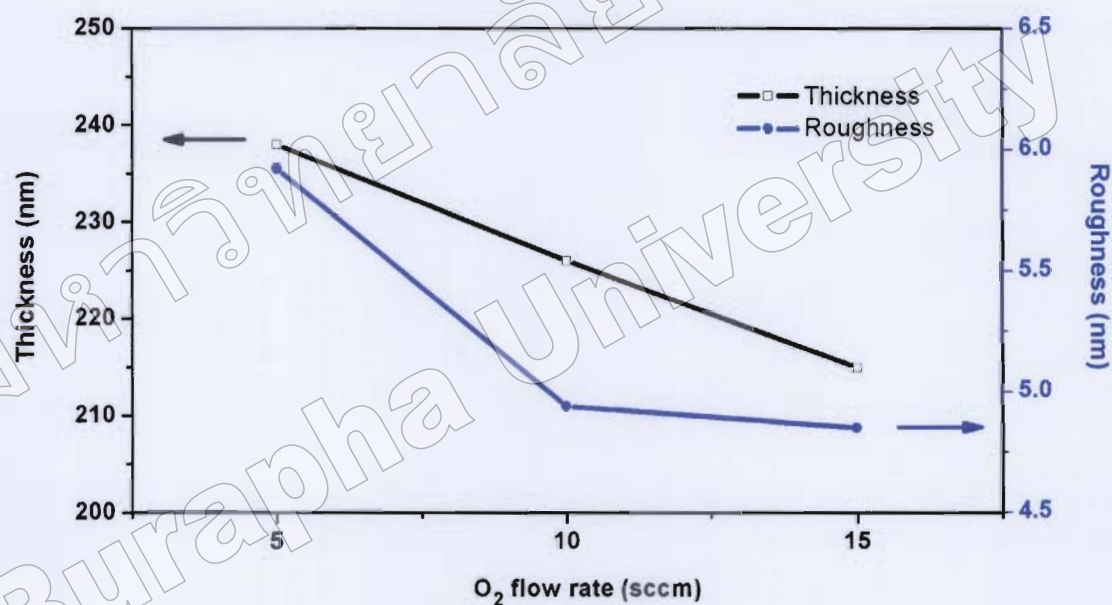
(a) 5 sccm

(b) 10 sccm

(c) 15 sccm

ตารางที่ 4-3 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์
ที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สออกซิเจน (sccm)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)
5	238	5.92
10	226	4.94
15	215	4.85



ภาพที่ 4-4 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่
อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

2. ผลของความดันรวม

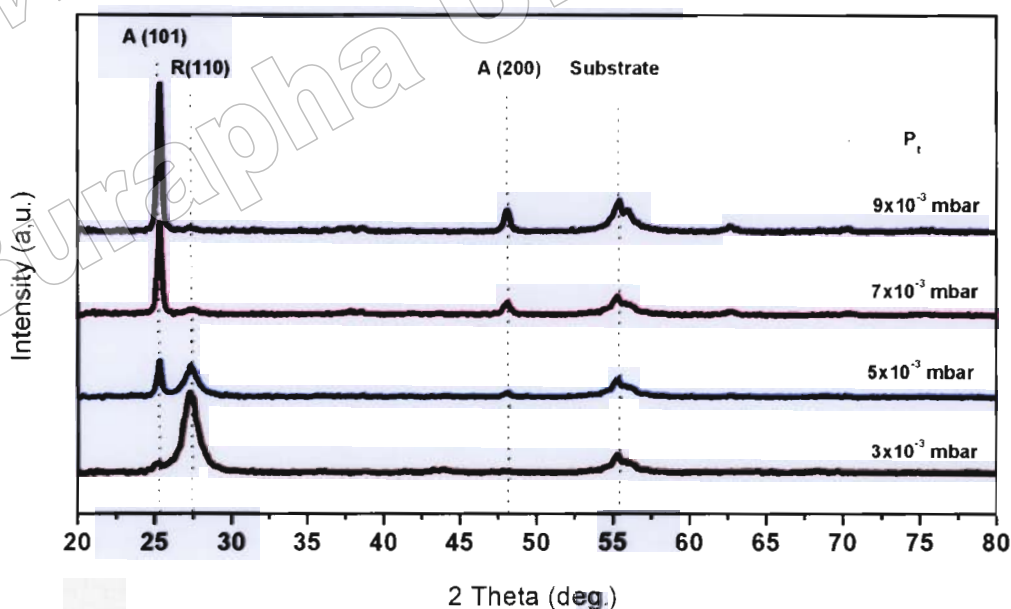
2.1 ลักษณะทางกายภาพ ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้จากการแปรค่าความดันรวมต่าง ๆ มีลักษณะใส ส่องผ่านแสงได้ดี เมื่อสังเกตสีของฟิล์มจากการสะท้อนและการส่องผ่านแสง พบว่าแสงสะท้อนที่ผิวหน้าของฟิล์มบนกระจกเป็นสีม่วงอ่อนขณะที่แสงส่องผ่านฟิล์มและกระจกเป็นสีเขียวอมฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 ลักษณะของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ที่ความดันรวมต่าง ๆ

2.2 โครงสร้างผลึก ภาพที่ 4-6 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง

ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนแผ่นซิลิกอน โดยแปรค่าความดันรวมต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยความดันรวมเท่ากับ 3×10^{-3} mbar มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 27.28° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอลเฟสรูไทล์ระนาบ (110) ส่วนที่ความดันรวมเท่ากับ 5×10^{-3} mbar พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 25.34° , 27.28° และ 47.98° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 และ 89-4921 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอลเฟสอานาเทสระนาบ (101) เฟสรูไทล์ระนาบ (110) และเฟสอานาเทส ระนาบ (200) และเมื่อความดันรวมเพิ่มขึ้นเป็น 7×10^{-3} mbar และ 9×10^{-3} mbar พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 25.34° และ 47.98° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอลเฟสอานาเทสระนาบ (101) และเฟสอานาเทส ระนาบ (200) โดยที่มุม 56.50° เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของธาตุซิลิกอนซึ่งเป็นวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4-6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความดันรวมต่าง ๆ

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ หาได้จากสูตรการคำนวณหา ระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกที่มีโครงสร้างแบบเตตระโกนอล โดยอาศัยรูปแบบ การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเฟสอนาเทส คือ a มีค่า อยู่ในช่วง $3.780 \text{ \AA} - 3.784 \text{ \AA}$ และ c มีค่าอยู่ในช่วง $9.446 \text{ \AA} - 9.485 \text{ \AA}$ ตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 ส่วนฟิล์มบางเฟสรูไทล์ (ความดันรวมเท่ากับ $3 \times 10^{-3} \text{ mbar}$) ไม่สามารถคำนวณหา ค่าคงที่แลตทิซได้ เนื่องจากฟิล์มที่เคลือบได้เกิดเพียงระนาบเดียว ดังแสดงในตารางที่ 4-4

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์หาจากสมการของ Scherrer โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าเมื่อความดันรวมเพิ่มขึ้น ขนาดผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง $17.21 \text{ nm} - 58.16 \text{ nm}$ ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-4 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทสที่ความดันรวมต่าง ๆ

ค่าคงที่ แลตทิซ	มาตรฐาน JCPDS (89-4921)	ความดันรวม (mbar)			
		3×10^{-3}	5×10^{-3}	7×10^{-3}	9×10^{-3}
$a \text{ (\AA)}$	3.777		3.783	3.784	3.780
$c \text{ (\AA)}$	9.501	-	9.471	9.466	9.485

ตารางที่ 4-5 ขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความดันรวมต่าง ๆ

ความดันรวม (mbar)	FWHM (องศา)	Crystallite size (nm)
3×10^{-3}	0.475	17.21
5×10^{-3}	0.140	58.16
7×10^{-3}	0.165	49.35
9×10^{-3}	0.160	50.89

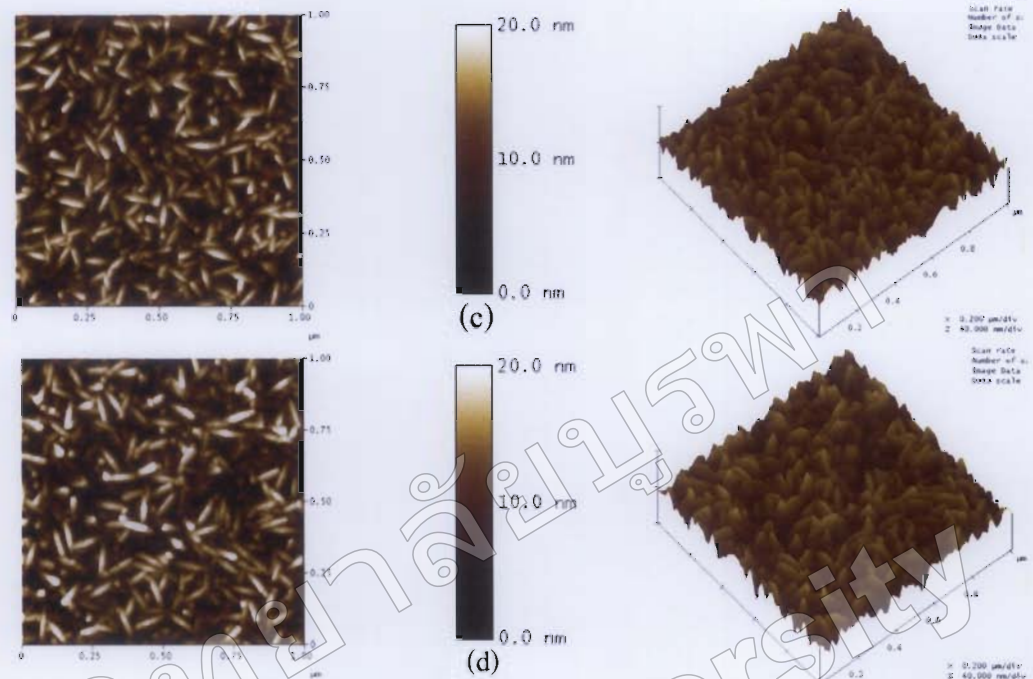
2.3 ความหนาและลักษณะพื้นผิว ภาพที่ 4-7 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ความดันรวมต่าง ๆ จากเทคนิค AFM พบว่า ฟิล์มที่เคลือบด้วยความดันรวมเท่ากับ 3×10^{-3} mbar เกรนมีลักษณะเล็กกลมมน เมื่อความดันรวมเพิ่มขึ้น เกรนเริ่มมีขนาดเล็ก เรียว และแหลมขึ้น สำหรับความหนาและความหยาบผิว พบว่าเมื่อความดันรวมเพิ่มขึ้นจาก 3×10^{-3} mbar เป็น 9×10^{-3} mbar ฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 190 nm เป็น 220 nm ส่วนความหยาบผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยยกเว้นที่ความดันรวมเท่ากับ 5×10^{-3} mbar มีความหยาบผิวสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 4-6



ภาพที่ 4-7 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM ที่ความดันรวมต่าง ๆ

(a) 3×10^{-3} mbar

(b) 5×10^{-3} mbar



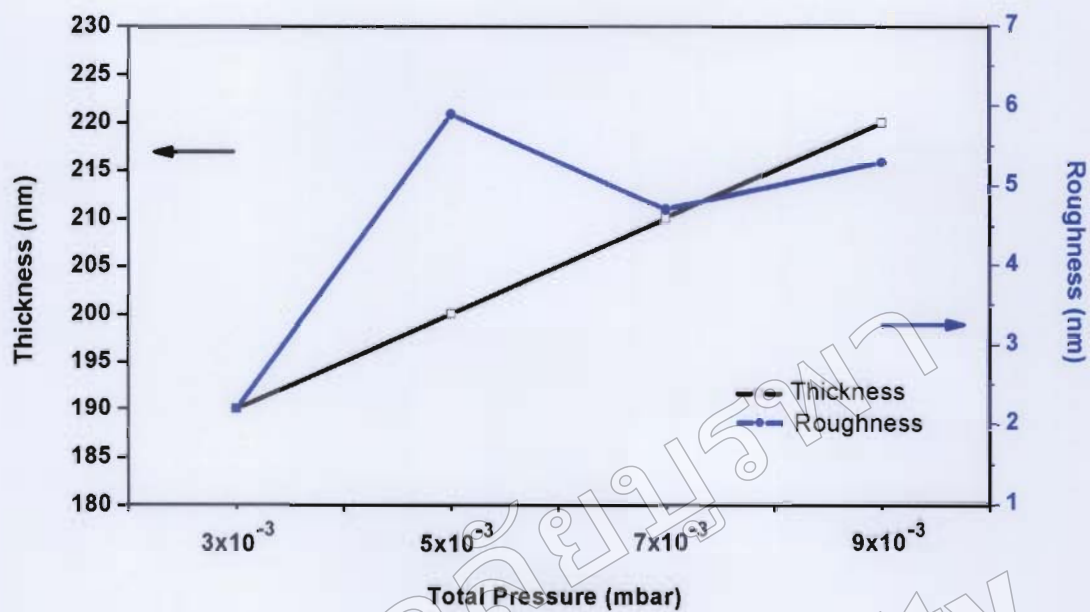
ภาพที่ 4-7 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางโพลิเอทิลีนไดออกไซด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM ที่ความดันรวมต่าง ๆ

(c) 7×10^{-3} mbar

(d) 9×10^{-3} mbar

ตารางที่ 4-6 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางโพลิเอทิลีนไดออกไซด์ ที่ความดันรวมต่าง ๆ

ความดันรวม (mbar)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)
3×10^{-3}	190	2.2
5×10^{-3}	200	5.9
7×10^{-3}	210	4.7
9×10^{-3}	220	5.3



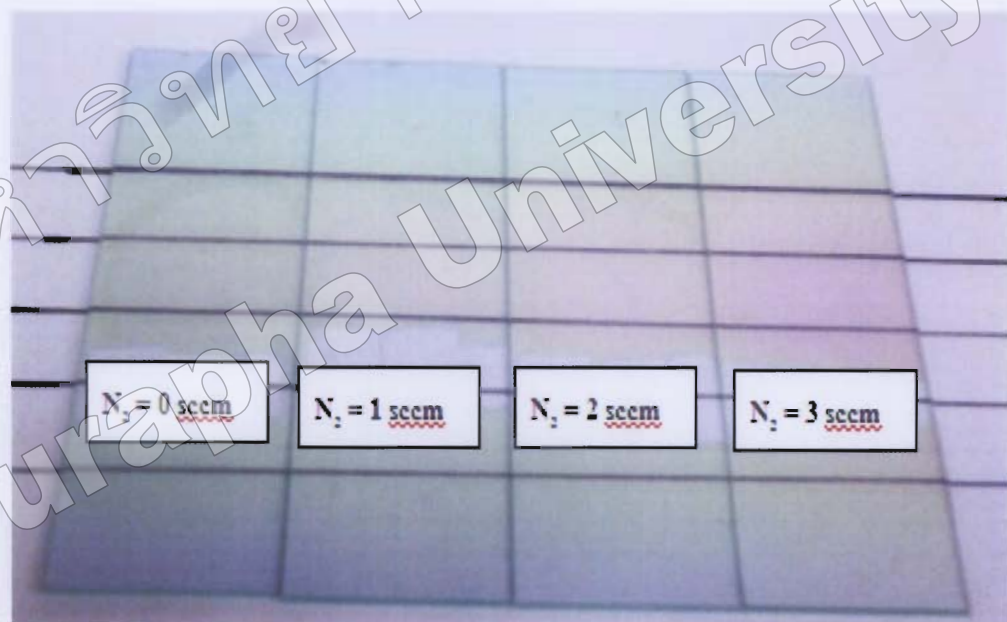
ภาพที่ 4-8 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความดันรวมต่าง ๆ

การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในโตรเจน

ส่วนนี้เป็นการเสนอผลการศึกษาโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในโตรเจนที่เคลือบด้วยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสเปคโตริง โดยลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในโตรเจนที่ศึกษาประกอบด้วย ลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางที่เคลือบได้ โดยศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สในโตรเจนที่เจือในฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ขณะเคลือบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

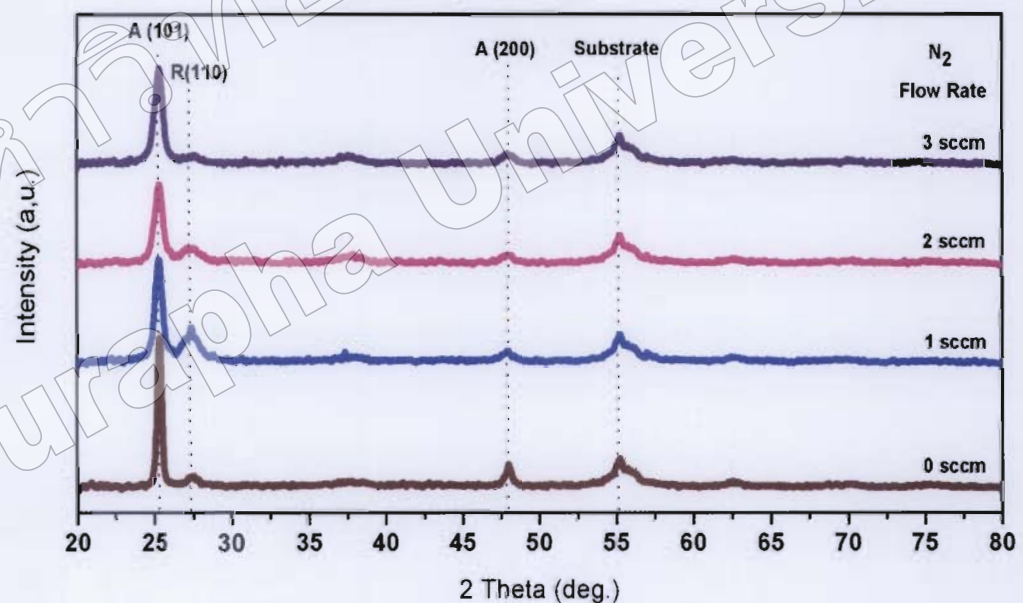
1. ผลของอัตราไหลแก๊สในโตรเจน

1.1 ลักษณะทางกายภาพ ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในโตรเจนที่เคลือบได้จากการแปรค่าอัตราไหลแก๊สในโตรเจนต่าง ๆ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า มีลักษณะใส ส่องผ่านแสงได้ดี และมีสีเขียวจาง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 ลักษณะของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในโตรเจนที่เคลือบบนกระจกสไลด์ที่อัตราไหลแก๊สในโตรเจนต่าง ๆ

1.2 โครงสร้างผลึก ภาพที่ 4-10 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากเทคนิค XRD ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนเคลือบบนแผ่นซิลิกอน เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สในไตรเจนต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่เคลือบโดยไม่เจือแก๊สในไตรเจน มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 25.34° , 27.28° และ 47.98° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4920 และ 89-4921 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอลที่เฟสอนาเทรสนาบ (101), เฟสรูไทล์รนาบ (110) และเฟสอนาเทรสนาบ (200) ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอัตราไหลแก๊สในไตรเจนที่เจือในกระบวนการเคลือบเป็น 1 sccm, 2 sccm และ 3 sccm ฟิล์มที่เคลือบได้มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุมเดิมทั้งหมด แต่ความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของทุกระนาบมีแนวโน้มลดลง โดยที่เฟสอนาเทรสนาบ (101) มีความเข้มของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สูงสุด โดยที่มุม 56.50° เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของธาตุนิกเกิลซึ่งเป็นวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4-10 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือใน ไตรเจนที่อัตราไหลแก๊สในไตรเจนต่าง ๆ

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มที่เคลือบได้หาจากสูตรการคำนวณหาระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกแบบเตตระโกนอล โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเฟสออร์โธโรโมนาเทส คือ a มีค่าอยู่ในช่วง $3.781 \text{ \AA} - 3.792 \text{ \AA}$ และ c มีค่าอยู่ในช่วง $9.361 \text{ \AA} - 9.567 \text{ \AA}$ ตรงตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 ส่วนฟิล์มบางเฟสรูไทล์นั้นไม่สามารถคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซได้ เนื่องจากฟิล์มที่เคลือบได้เกิดเพียงระนาบเดียว ดังแสดงในตารางที่ 4-7

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มที่เคลือบได้หาจากสมการของ Scherrer โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าเมื่ออัตราไหลแก๊สในโตรเจนเพิ่มขึ้น ขนาดผลึกมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง $27.14 \text{ nm} - 50.88 \text{ nm}$ ดังแสดงในตารางที่ 4-8

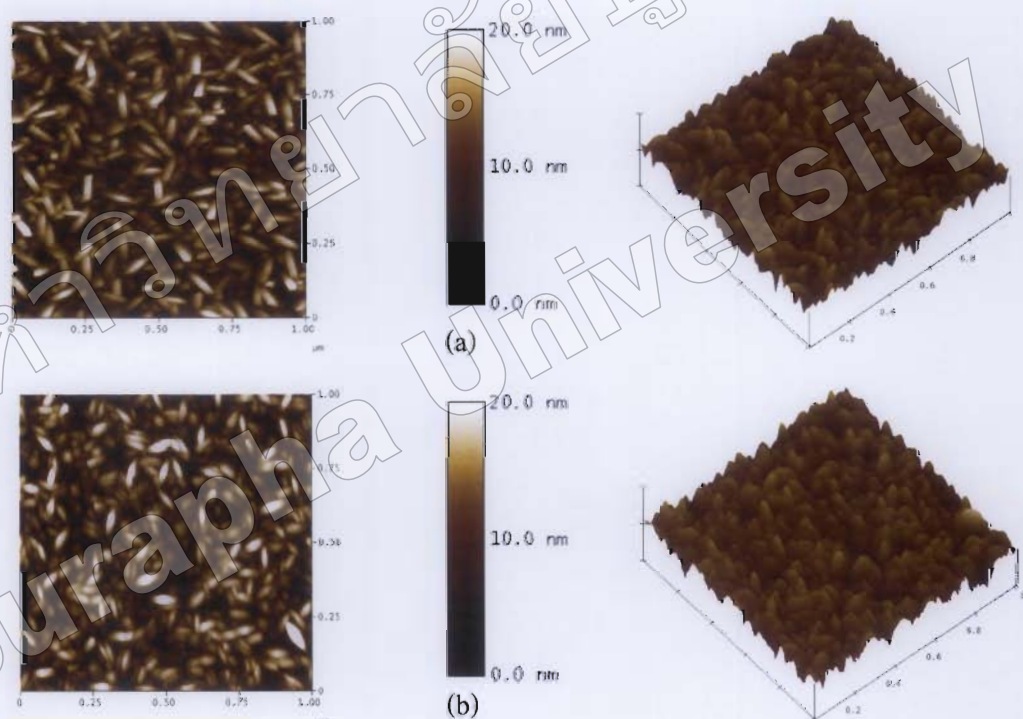
ตารางที่ 4-7 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางที่เคลือบได้ เมื่อใช้อัตราไหลแก๊สในโตรเจนต่างๆ

ค่าคงที่ แลตทิซ	มาตรฐาน JCPDS (89-4921)	อัตราไหลแก๊สในโตรเจน (sccm)			
		0	1	2	3
$a \text{ (\AA)}$	3.777	3.783	3.781	3.783	3.792
$c \text{ (\AA)}$	9.501	9.444	9.567	9.498	9.361

ตารางที่ 4-8 ขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในโตรเจนที่อัตราไหลแก๊สในโตรเจนต่างๆ

อัตราไหลแก๊สในโตรเจน (sccm)	FWHM (องศา)	Crystallite size (nm)
0	0.016	50.88
1	0.260	31.32
2	0.265	30.72
3	0.300	27.14

1.3 ความหนาและลักษณะพื้นผิว ภาพที่ 4-11 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือใน โตรเจนซึ่งเคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สใน โตรเจนต่าง ๆ จากเทคนิค AFM พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ไม่ได้เจือใน โตรเจน ที่ผิวหน้าฟิล์มมีเกรนขนาดใหญ่ กระจายอยู่ทั่วพื้นผิว และเมื่อเจือใน โตรเจนในฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วย อัตราไหลแก๊สใน โตรเจนเท่ากับ 1 sccm, 2 sccm และ 3 sccm พบว่าเกรนเริ่มเปลี่ยนเป็นขนาดเล็ก และจับกลุ่มกันเป็นก้อนกระจายอยู่ทั่วผิวหน้าฟิล์ม สำหรับความหนาและความหยาบผิวของฟิล์ม พบว่าเมื่ออัตราไหลแก๊สใน โตรเจนเพิ่มขึ้น ฟิล์มที่เคลือบ ได้มีความหนาเพิ่มขึ้น จาก 225 nm เป็น 236 nm ส่วนความหยาบผิวมีค่าอยู่ในช่วง 4.1 nm – 5.4 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-9



ภาพที่ 4-11 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ใน โตรเจน ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM ที่อัตราไหลแก๊สใน โตรเจนต่าง ๆ

(a) 0 sccm

(b) 1 sccm



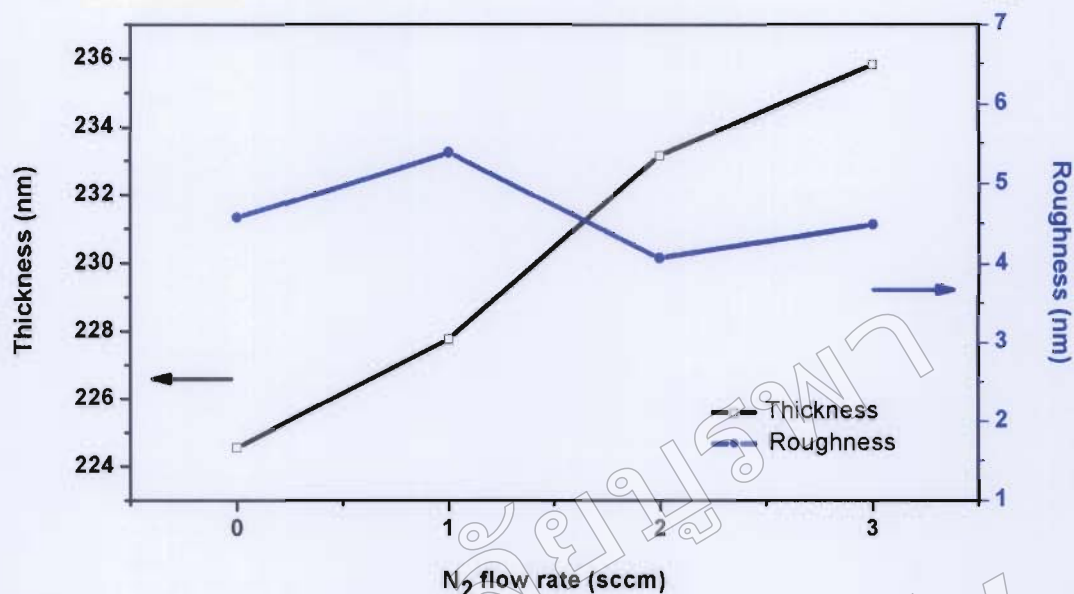
ภาพที่ 4-11 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางโพลิเอไมด์ไดออกไซด์ใน ไตรเจน ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM ที่อัตราไหลแก๊สใน ไตรเจนต่าง ๆ

(c) 2 sccm

(d) 3 sccm

ตารางที่ 4-9 ความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มบางโพลิเอไมด์ไดออกไซด์เจือใน ไตรเจน ที่ อัตราไหลแก๊สใน ไตรเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สในไตรเจน (sccm)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)
0	225	4.6
1	228	5.4
2	233	4.1
3	236	4.5



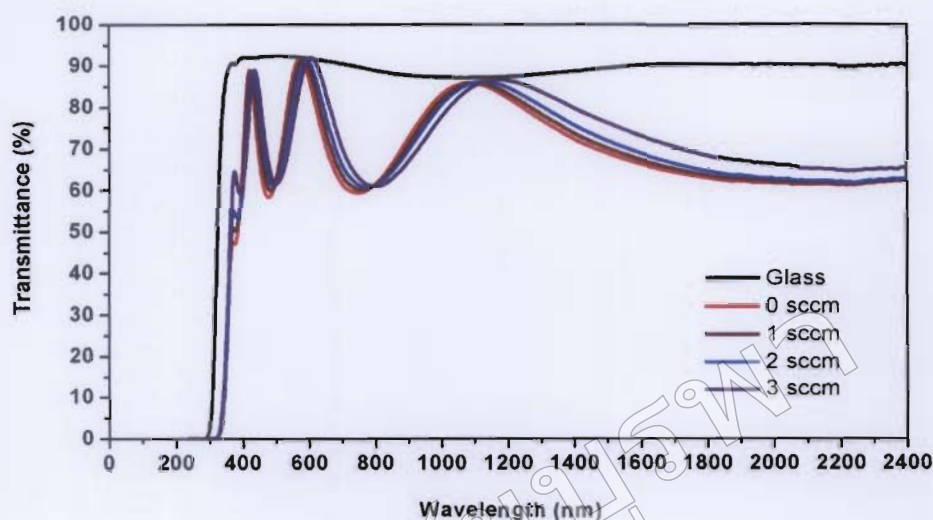
ภาพที่ 4-12 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนที่อัตราไหลแก๊สในไตรเจนต่างๆ

สมบัติทางแสงและแถบพลังงานของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจน

ส่วนนี้เป็นผลการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนที่เคลือบบนกระจกสไลด์ โดยกำหนดให้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนคงที่เท่ากับ 5 sccm : 15 sccm และแปรค่าอัตราไหลแก๊สในไตรเจนอยู่ในช่วง 1 sccm – 3 sccm เพื่อศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สในไตรเจนต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจน โดยสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนที่ศึกษาประกอบด้วย การส่งผ่านแสง ดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดูดกลืน และแถบพลังงาน

1. การส่งผ่านแสง

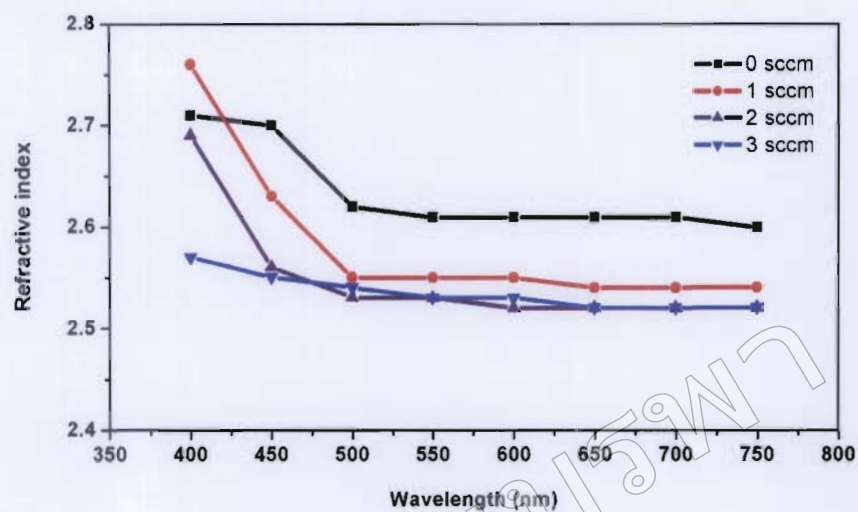
ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนที่เคลือบ เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สในไตรเจน มีค่าการส่งผ่านแสงได้ดีในช่วงตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้ (ความยาวคลื่นในช่วง 300 nm - 2500 nm) โดยมีค่าการส่งผ่านแสงสูงตลอดความยาวคลื่นที่พิจารณา ทั้งนี้หากพิจารณาสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนที่เคลือบได้ทั้งหมดพบว่า มีลักษณะคล้ายการกระเพื่อมของคลื่น กล่าวคือมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันตลอดความยาวคลื่นแสงที่พิจารณา เนื่องจากการแทรกสอดของแสงผ่านชั้นของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนที่เคลือบบนแผ่นกระจกสไลด์นั่นเอง



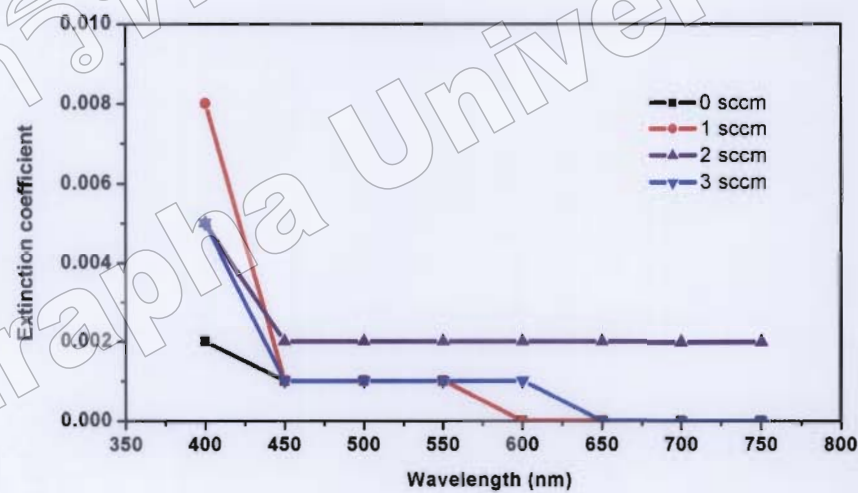
ภาพที่ 4-13 การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจน
ที่อัตราไหลแก๊สในไตรเจนต่างๆ

2. ดัชนีหักเหและสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

สำหรับค่าดัชนีหักเห (n) และสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (k) ของฟิล์มที่เคลือบได้
หาจากวิธี Envelope โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมการส่งผ่านแสงมาคำนวณในช่วงความยาวคลื่น
400 nm – 750 nm สำหรับแต่ละอัตราไหลแก๊สในไตรเจน พบว่าค่าดัชนีหักเหของฟิล์มที่เคลือบได้
มีค่าเปลี่ยนไปตามความยาวคลื่น โดยในช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 400 nm – 500 nm ดัชนีหักเหมีค่า
ลดลง และมีค่าคงที่ในช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 500 nm – 750 nm ทั้งนี้พบว่าดัชนีหักเหมี
ค่าลดลงเมื่ออัตราไหลแก๊สในไตรเจนเพิ่มขึ้น โดยที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 550 nm ฟิล์มบาง
ไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนมีค่าดัชนีหักเหลดลงจาก 2.61 เป็น 2.53 (ภาพที่ 4-14)
ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของฟิล์มที่เคลือบได้นั้นมีแนวโน้มลดลงซึ่งเปลี่ยนไปตามความยาว
คลื่นและอัตราไหลแก๊สในไตรเจนที่เพิ่มขึ้น โดยในช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 400 nm – 450 nm
ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนลดลงอย่างเห็นได้ชัด และที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 550 nm ฟิล์มบาง
ไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนอยู่ในช่วง 0.001 – 0.002
(ภาพที่ 4-15)



ภาพที่ 4-14 ดัชนีหักเหของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนเคลือบที่อัตราไหลแก๊สในไตรเจนต่างๆ



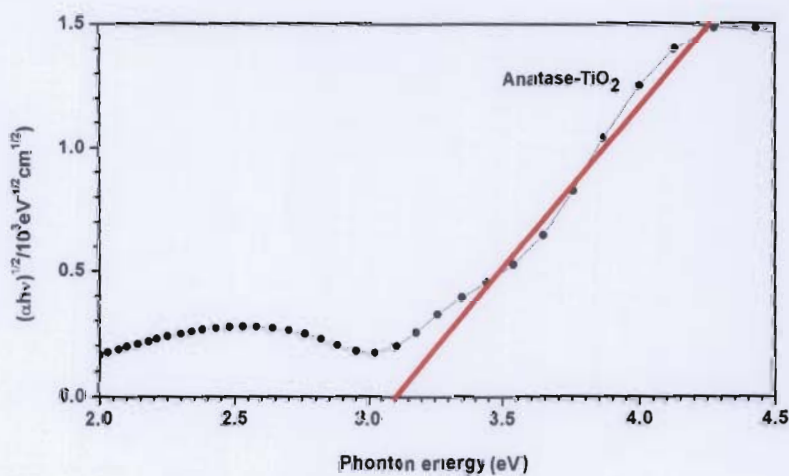
ภาพที่ 4-15 สัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในไตรเจนที่อัตราไหลแก๊สในไตรเจนต่างๆ

3. แลปพลังงาน

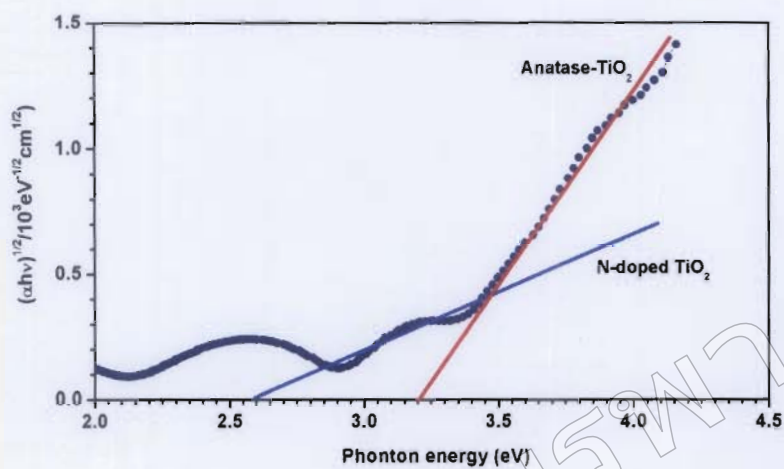
ค่าแลปพลังงานของฟิล์มบางที่เคลือบได้ คำนวณจาก $ah\nu = A(h\nu - E_g)^m$ เมื่อ $m = 2$ (Chiu et al., 2007) ได้ผลสรุปดังตารางที่ 4-10 พบว่าสำหรับกรณีฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ เฟสอนาเทส ไม่เจือในโตรเจนพบว่า มีค่าแลปพลังงานเท่ากับ 3.10 eV (รูปที่ 4-16) ส่วนฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือในโตรเจน พบว่ามีค่าแลปพลังงาน 2 ช่วง คือ (1) มีค่าเท่ากับ 3.20 eV ซึ่งเป็นค่าแลปพลังงานของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทส และ (2) มีค่าอยู่ในช่วง 2.40 eV – 2.60 eV นอกจากนี้ยังพบว่าค่าแลปพลังงานของฟิล์มที่เคลือบได้ มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออัตราไหลแก๊สในโตรเจนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4-17)

ตารางที่ 4-10 แลปพลังงานของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือและไม่เจือในโตรเจน

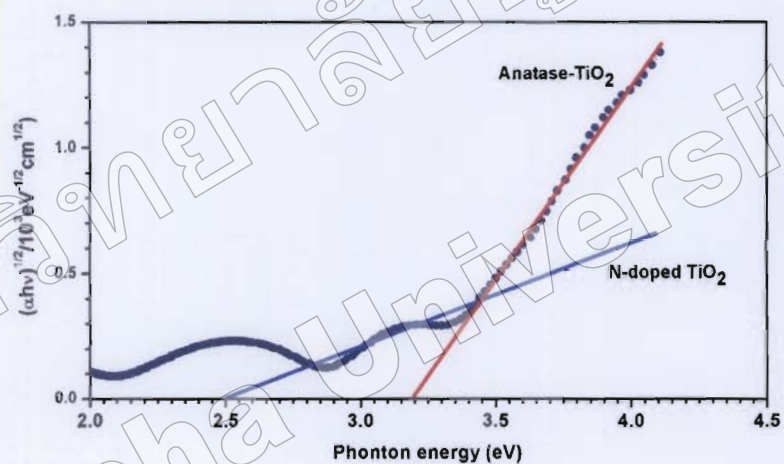
อัตราไหลแก๊สในโตรเจน (sccm)	แลปพลังงาน (eV)	
	ไทเทเนียมไดออกไซด์ เฟสอนาเทส	ไทเทเนียมไดออกไซด์ เจือในโตรเจน
0	3.10	-
1	3.20	2.60
2	3.20	2.50
3	3.20	2.40



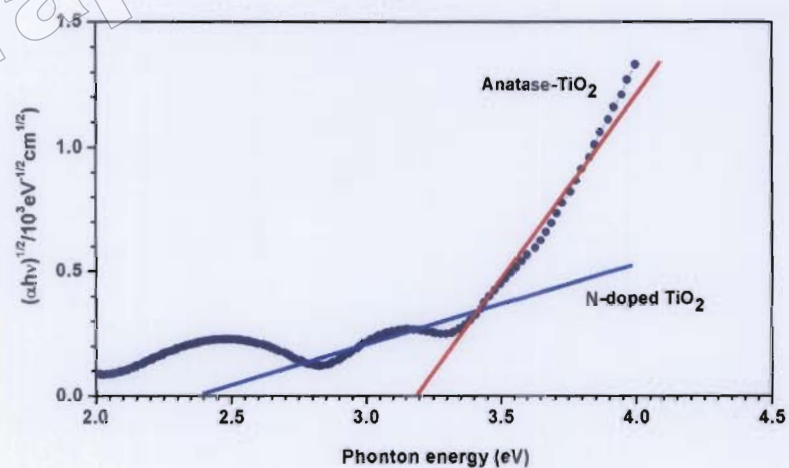
ภาพที่ 4-16 แลปพลังงานของฟิล์มบางฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทส



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 4-17 แถบพลังงานของฟิล์มบางฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์เจือใน โดโรเจนที่ อัตราไหล่แก๊สในโดโรเจนต่าง ๆ

(a) = 1 sccm (b) = 2 sccm (c) = 3 sccm