บทที่ 4
ผลการวิจัย

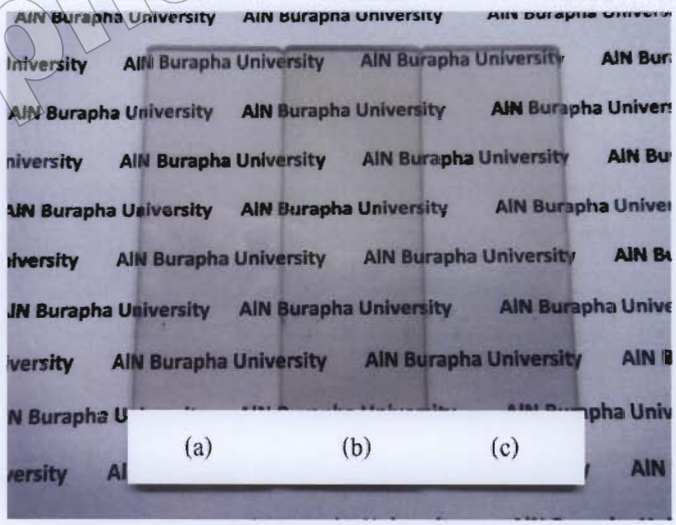
บทนี้กล่าวถึงข้อมูลจากการทดลองตามแนวทางการศึกษาในบทที่ 3 เริ่มจาก ผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่อโครงสร้างของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ผลของความหนาต่อโครงสร้างของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ และผลของความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่อโครงสร้างฟิล์ม

ส่วนนี้จะเป็นการเสนอผลการศึกษาโครงสร้างของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง โดยกำหนดให้อัตราไหลแก๊สอาร์กอนคงที่เท่ากับ 15 sccm และแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 5 sccm, 10 sccm และ 15 sccm ตามลำดับ มีผลดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้จากการแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่ามีลักษณะใสปนสีน้ำตาลอ่อน ส่งผ่านแสงได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 4-1

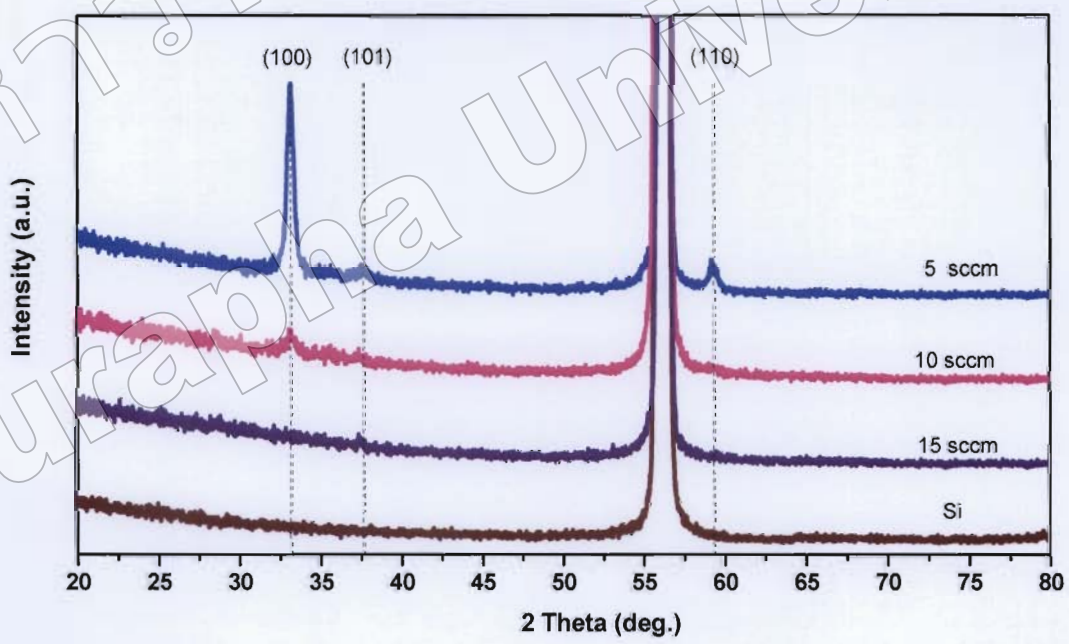


ภาพที่ 4-1 ลักษณะของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ
(a) 5 sccm, (b) 10 sccm, และ (c) 15 sccm

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. โครงสร้างของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

ภาพที่ 4-2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากเทคนิค XRD ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบบนแผ่นซิลิกอน โดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 5 sccm มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 33.24°, 37.96° และ 59.39° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบอลูมิเนียมไนไตรด์ ตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 65-3409 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) ที่ระนาบ (100), (101), และ (110) ตามลำดับ โดยที่ระนาบ (100) ฐานพีคมีลักษณะแคบและมีความเข้มของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สูงสุด ทั้งนี้เมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มเป็น 10 sccm ความเป็นผลึกของฟิล์มลดลง และเปลี่ยนเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous) เมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 15 sccm พบว่าฟิล์มที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน โดยที่มุม 56.50° เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของธาตุซิลิกอน ซึ่งเป็นวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4-2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ หาได้จากสูตรการคำนวณหาระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกที่มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล เนื่องจากฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน มีค่าคงที่แลตทิซตรงตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 65-3409 ดังแสดงในตารางที่ 4-1

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ นั้นหาได้จากสมการของ Seherrer โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 5 sccm มีค่าเท่ากับ 34 nm ส่วนที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 10 sccm และ 15 sccm ไม่สามารถคำนวณขนาดผลึกได้เนื่องจากฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์มีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน ดังแสดงในตารางที่ 4-2

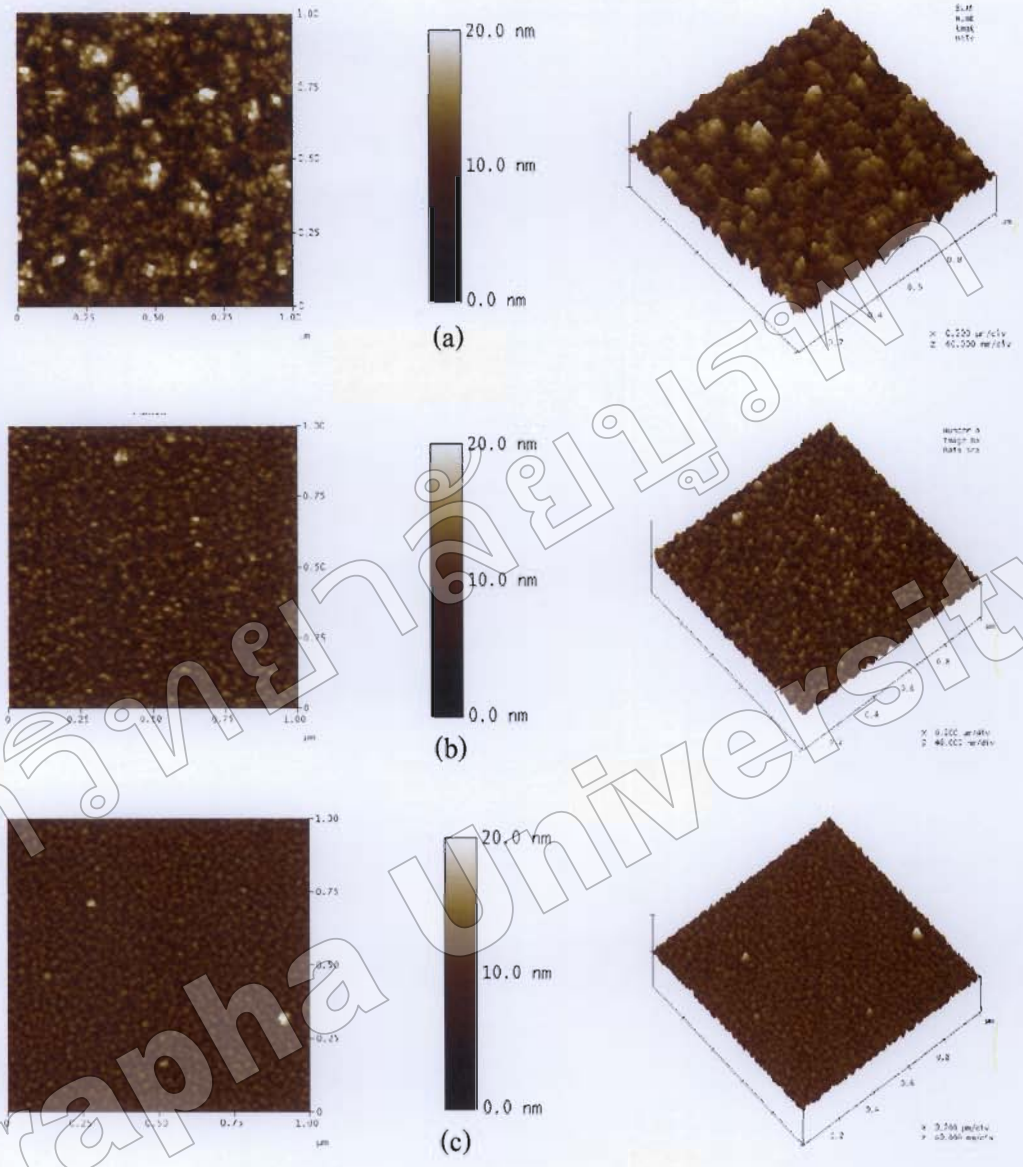
ตารางที่ 4-1 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน (sccm)	***a*** **(Å)**	***c*** **(Å)**
JCPDS (65-3409)	3.110	4.975
5 sccm	3.112	5.103
10 sccm	-	-
15 sccm	-	-

ตารางที่ 4-2 ขนาดผลึกของฟิล์มฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน	**ขนาดผลึก (nm)**	
(sccm)	**β (องศา)**	**Crystallite size (nm)**
5	0.245	34
10	-	-
15	-	-

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-3 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

(a) อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 5 sccm

(b) อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 10 sccm

(c) อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 15 sccm

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

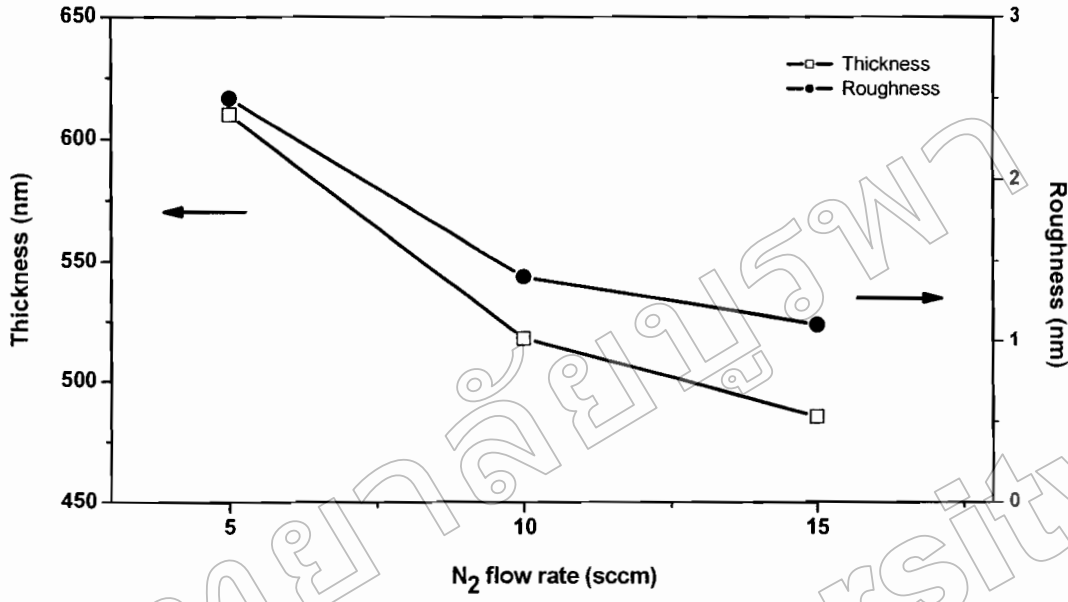
3. ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

ภาพที่ 4-3 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มอลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ จากเทคนิค AFM พบว่าฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 5 sccm เกรนมีลักษณะค่อนข้างแหลมปะปนกันของเกรนขนาดเล็กและใหญ่กระจายทั่วผิวหน้าฟิล์ม โดยมีบางส่วนรวมเป็นกลุ่มค่อนข้างใหญ่ เมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มเป็น 10 sccm เกรนมีลักษณะแหลมเล็กกระจายทั่วผิวหน้าฟิล์ม สุดท้ายเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 15 sccm เกรนมีลักษณะกลมมนขนาดเล็กใกล้เคียงกันกระจายทั่วผิวหน้าฟิล์ม สำหรับความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ พบว่าเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 5 sccm เป็น 15 sccm ฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนา และความหยาบผิวลดลงจาก 610 nm เป็น 485 nm และ 2.5 nm เป็น 1.1 nm ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน (sccm)	**ความหนา (nm)**	**ความหยาบผิว (nm)**
5	610	2.5
10	518	1.4
15	485	1.1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-4 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มอลูมิเนียมไนไตรด์
ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ

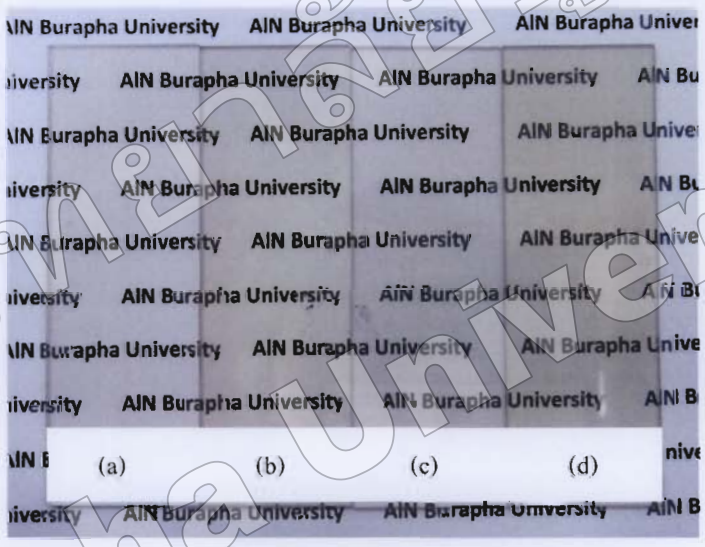
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลของความหนาต่อโครงสร้างฟิล์ม

ส่วนนี้จะเป็นการเสนอผลการศึกษาโครงสร้างของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง โดยแปรค่าความหนาจากเวลาเคลือบเท่ากับ 30 min, 60 min, 90 min และ 120 min ตามลำดับ มีผลดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้จากการแปรค่าความหนาจากเวลาเคลือบต่าง ๆ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่ามีลักษณะใสปนสีน้ำตาลอ่อน ส่งผ่านแสงได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 4-5

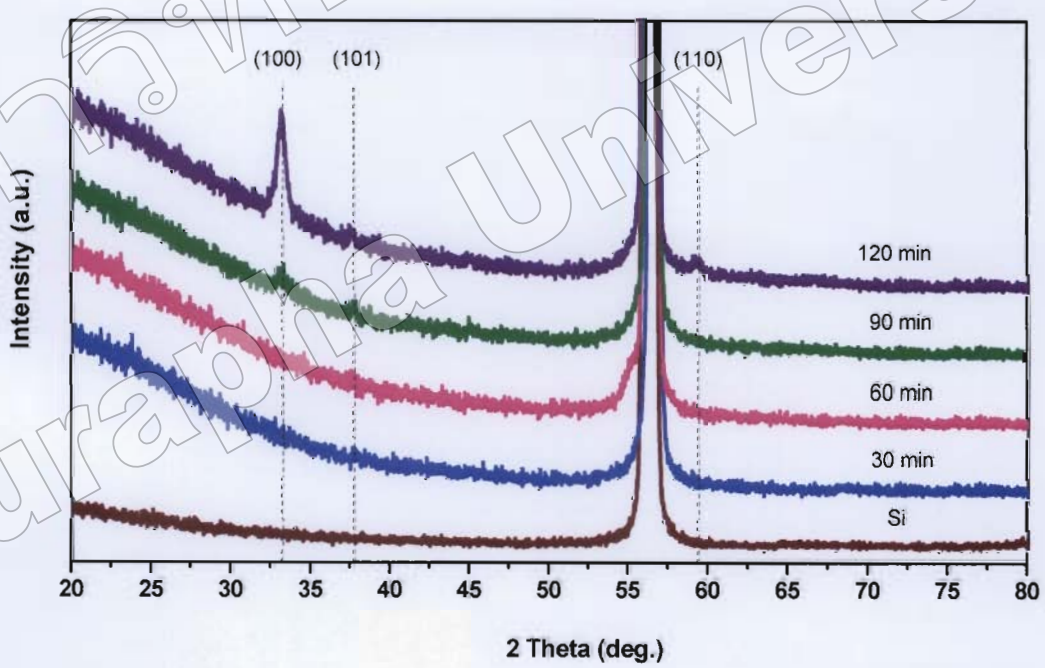


ภาพที่ 4-5 ลักษณะของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ (a) 30 min, (b) 60 min, (c) 90 min, และ (d) 120 min

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. โครงสร้างของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

ภาพที่ 4-6 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากเทคนิค XRD ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบบนแผ่นซิลิกอน โดยแปรค่าความหนาจากเวลาเคลือบต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่เคลือบที่เวลาเท่ากับ 30 min และ 60 min มีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน ส่วนฟิล์มที่เคลือบที่เวลาเท่ากับ 90 min มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลที่ระนาบ (100) และฟิล์มที่เคลือบที่เวลาเท่ากับ 120 min มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 33.24°, 37.96° และ 59.39° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบอลูมิเนียมไนไตรด์ ตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 65-3409 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลที่ระนาบ (100), (101), และ (110) ตามลำดับ โดยที่ระนาบ (100) มีความเข้มของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สูงสุด โดยที่มุม 56.50° เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของธาตุซิลิกอน ซึ่งเป็นวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4-6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์หาได้จากสูตรการคำนวณหาระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกแบบเฮกซะโกนอล เนื่องจากฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าความหนา มีค่าคงที่แลตทิซตรงตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 65-3409 ดังแสดงในตารางที่ 4-4

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์นั้นหาได้จากสมการของ Seherrer โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าความหนาที่เวลาเท่ากับ 30 min, 60 min และ 90 min ไม่สามารถคำนวณขนาดผลึกได้เนื่องจากฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์มีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน ส่วนฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าความหนาที่เวลาเท่ากับ 120 min มีขนาดผลึกเท่ากับ 30 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-4 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

เวลาเคลือบ (min)	***a*** **(Å)**	***c*** **(Å)**
JCPDS (65-3409)	3.110	4.975
30	-	-
60	-	-
90	-	-
120 min	3.123	5.029

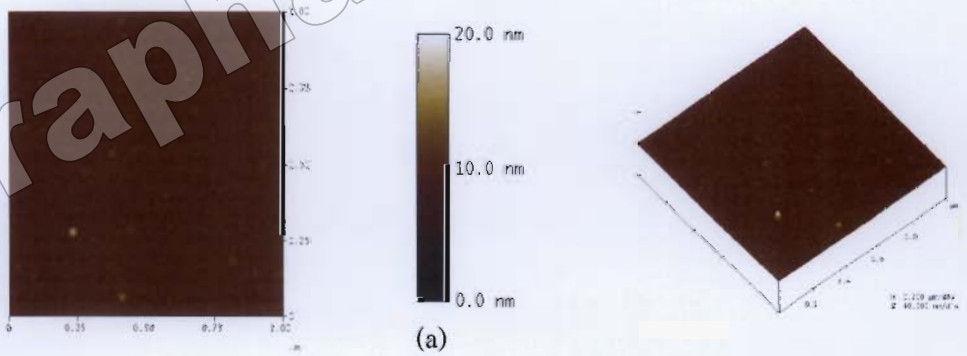
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-5 ขนาดผลึกของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

เวลาเคลือบ (min)	ขนาดผลึก (nm)	
	β (องศา)	Crystallite size (nm)
30 min	-	-
60 min	-	-
90 min	-	-
120 min	0.280	30

3. ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

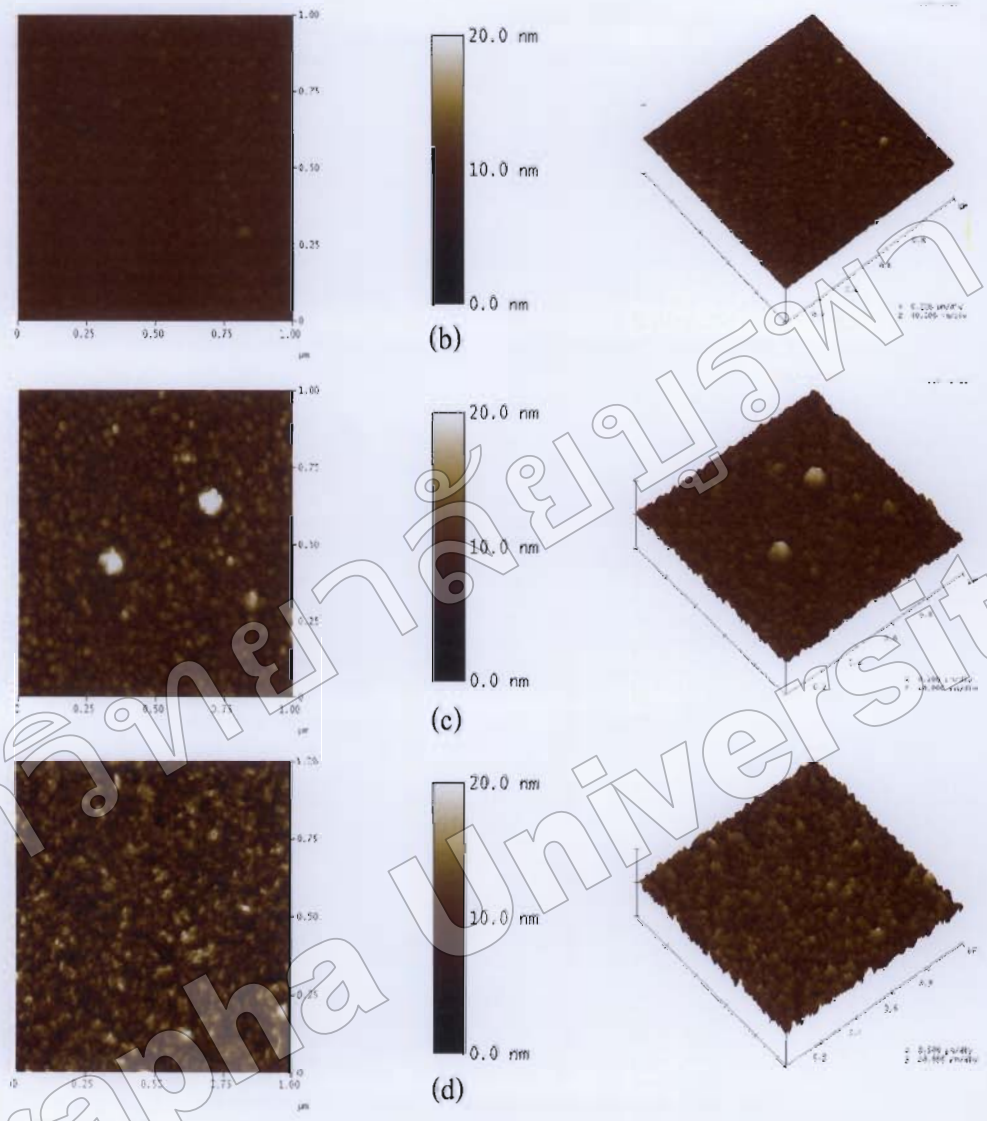
ภาพที่ 4-7 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มอลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบที่แปรค่าความหนาจากเวลาเคลือบต่าง ๆ จากเทคนิค AFM พบว่าฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบที่เวลาเท่ากับ 30 min และ 60 min ผิวหน้าของฟิล์มมีลักษณะเรียบ ส่วนที่เวลาเคลือบเท่ากับ 90 min พบว่าเกรนมีลักษณะเป็นเม็ดกลมมนขนาดเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของฟิล์ม และที่เวลาเท่ากับ 120 min พบว่าเกรนมีลักษณะเป็นเม็ดปลายแหลมอยู่ทั่วพื้นผิวของฟิล์ม



(a)

ภาพที่ 4-7 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM
เวลาเคลือบเท่ากับ 30 min

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-7 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

(b) เวลาเคลือบเท่ากับ 60 min

(c) เวลาเคลือบเท่ากับ 90 min

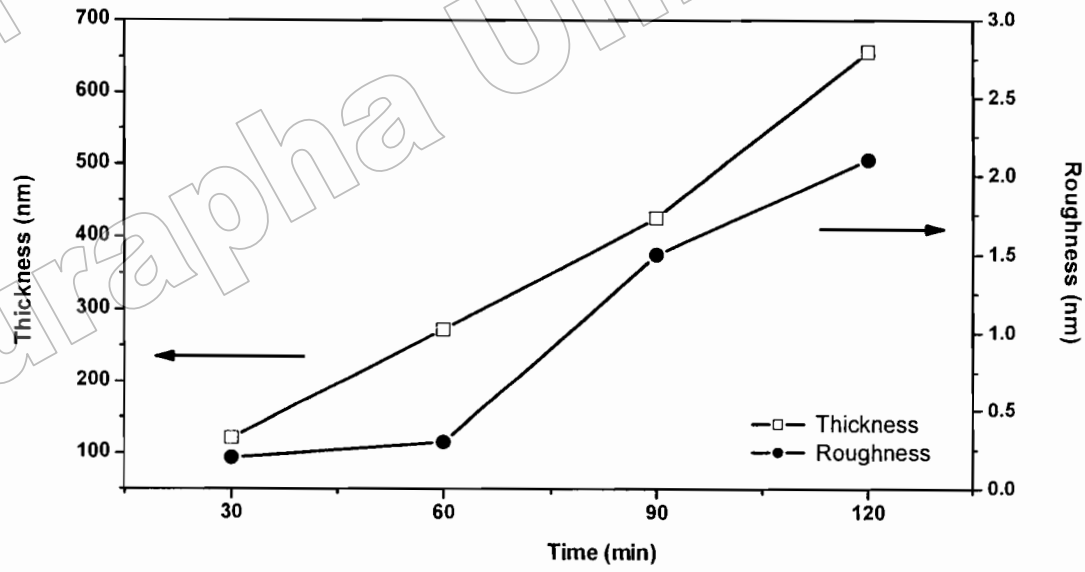
(d) เวลาเคลือบเท่ากับ 120 min

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำหรับความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มพบว่าเมื่อเวลาเคลือบเพิ่มขึ้นจาก 30 min เป็น 120 min ฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนา และความหยาบเพิ่มขึ้น จาก 121 nm เป็น 656 nm และ 0.2 nm เป็น 2.1 nm ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

เวลาเคลือบ (min)	**ความหนา (nm)**	**ความหยาบผิว (nm)**
30	121	0.2
60	272	0.3
90	425	1.5
120	656	2.1



ภาพที่ 4-8 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

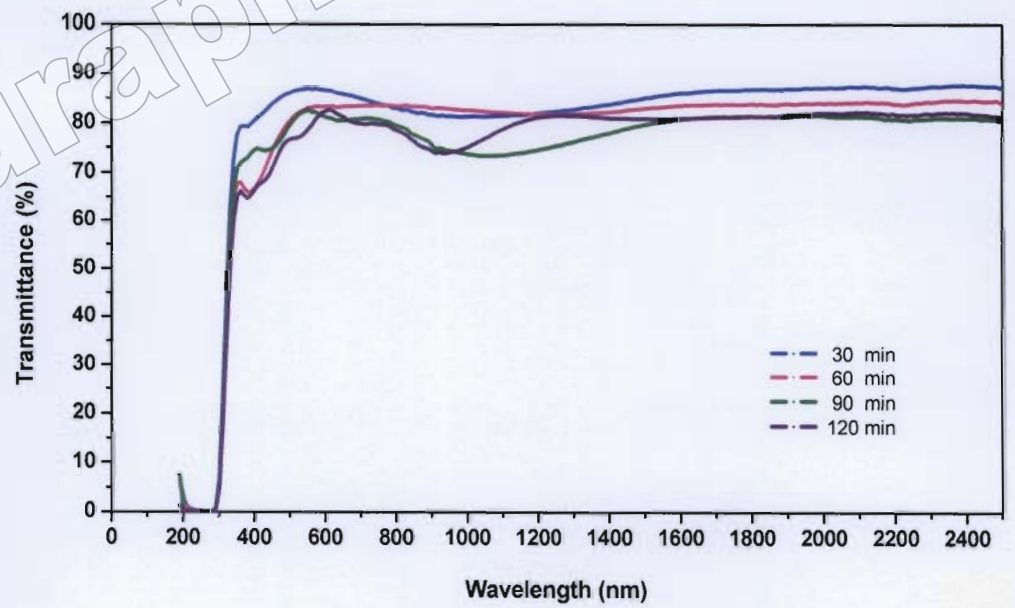
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สมบัติทางแสงและแถบพลังงานของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

ส่วนนี้จะเป็นการเสนอผลการศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ ด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง โดยกำหนดให้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สไนโตรเจนคงที่เท่ากับ 15 sccm : 5 sccm ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 10 cm และแปรค่าความหนาจากเวลาเคลือบเท่ากับ 30 min, 60 min, 90 min และ 120 min ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลของความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ สำหรับสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่ศึกษาประกอบด้วย ดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดับสูญ และแถบพลังงาน

1. ดัชนีหักเหและสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

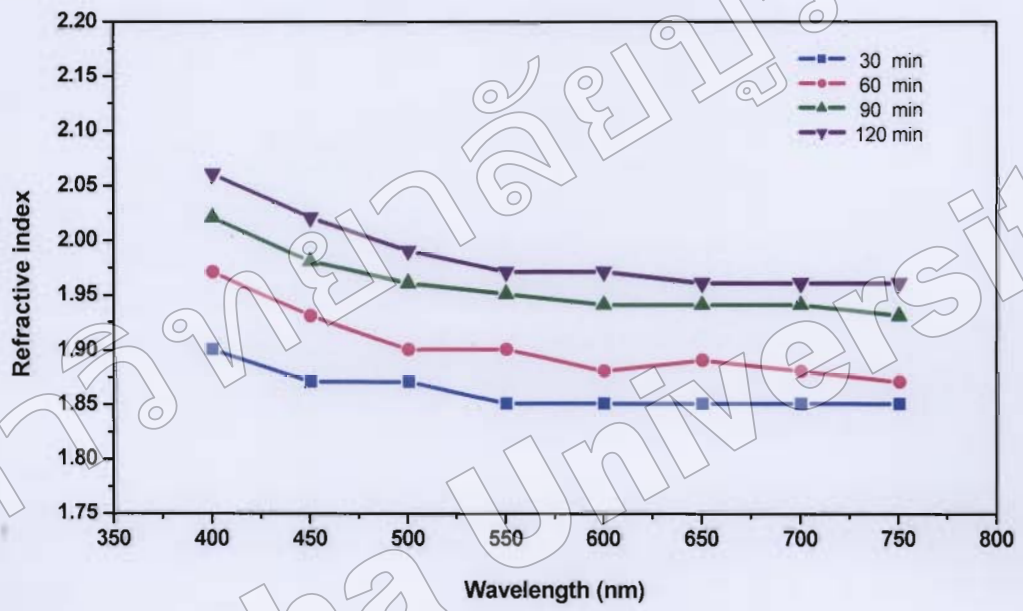
ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบ โดยแปรค่าความหนาจากเวลาเคลือบในช่วงต่าง ๆ มีค่าการส่งผ่านแสงได้ดีทั้งในช่วงตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้ (ความยาวคลื่นในช่วง 300 nm - 2500 nm) โดยมีค่าการส่งผ่านแสงสูงประมาณ 85% ตลอดความยาวคลื่นที่พิจารณา ทั้งนี้หากพิจารณาสเปคตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ทั้งหมดพบว่ามีลักษณะคล้ายการกระเพื่อมของคลื่นกล่าวคือมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันตลอดความยาวคลื่นแสงที่พิจารณา เนื่องจากการแทรกสอดของแสงผ่านชั้นของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบบนแผ่นกระจกสไลด์นั้นเอง



ภาพที่ 4-9 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำหรับค่าดัชนีหักเห (n) และสัมประสิทธิ์การดับสูญ (k) หาได้จากวิธี Swanepoel โดยใช้ข้อมูลจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสงมาคำนวณ พบว่าที่ความยาวคลื่นแสง 600 nm ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบ โดยแปรค่าเวลาในช่วง 30 min ถึง 120 min ดัชนีหักเหมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.85 เป็น 1.97 (ภาพที่ 4-10) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญมีค่าลดลงจาก 0.018 เป็น 0.007 (ภาพที่ 4-11)

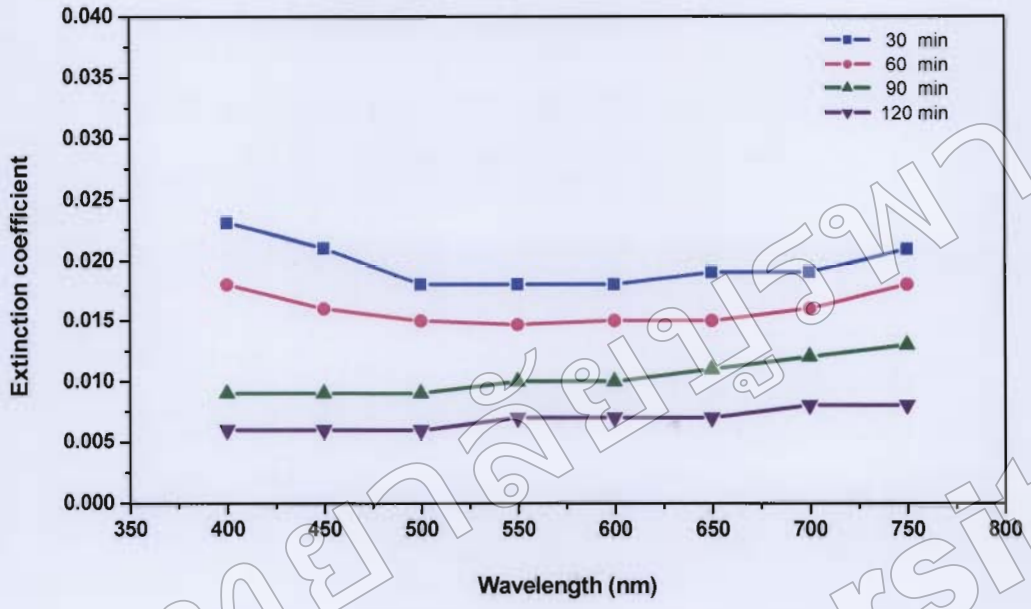


ภาพที่ 4-10 ดัชนีหักเหของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

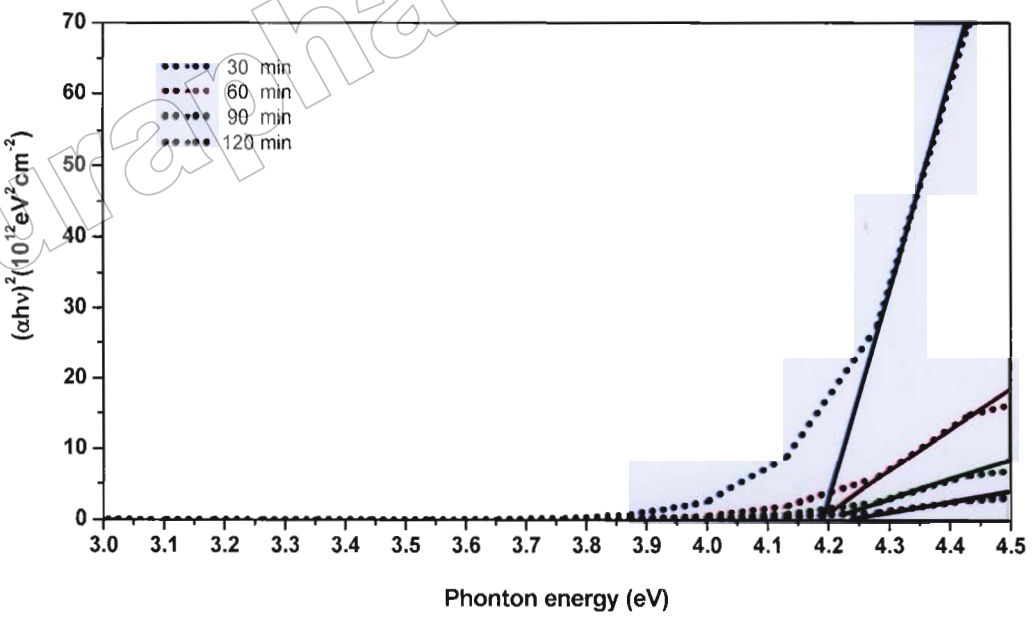
2. แถบพลังงานของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์

ภาพที่ 4-12 แสดงแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ คำนวณจาก $\alpha_{(\lambda)} = A\sqrt[p]{h\nu - E_g}\,/\,h\nu$ เมื่อ $p = 2$ (Direct Optical Band Gap) (Henri & Jansen, 1991) พบว่าแถบพลังงานของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ในงานวิจัยนี้มีค่าในช่วง 4.19 - 4.24 eV โดยแถบพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามความหนาของฟิล์ม และที่เวลาเคลือบเท่ากับ 120 min ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์มีแถบพลังงานเท่ากับ 4.24 eV

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4-11 สัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ



ภาพที่ 4-12 แถบพลังงานของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University