Research Article

Received: August 8, 2018; Accepted: August 14, 2019

ผลของอัตราส่วนกระแสสปัตเตอร์ต่อฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ภายใต้การเคลือบโดยเทคนิคดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง

Effect of Sputtered Current Ratio on Titanium Aluminum Nitride Films under DC Reactive Magnetron Co-Sputtering

สายัณห์ ผุดวัฒน์*, พรพันธ์ ภารพ และกมล เอี่ยมพนากิจ

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

มติ ห่อประทุม

ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีฟิล์มบางเชิงแสง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ธนัตถา รัตนะ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

Sayan Pudwat*, Pornpan Parhop and Kamon Aiempanakit

Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Mati Horphratum

Optical Thin-Film Technology Laboratory, National Electronics and Computer Technology Center,

Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Tanatta Rattana

Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University,

Long-Hard Bangsaen Road, Saensook, Muang, Chonburi 20131

บทคัดย่อ

ฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ซึ่งเตรียมด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริงของเป้าโลหะไทเทเนียม (Ti) และเป้าอลูมิเนียม (Al) ที่เคลือบภายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอน (Ar) และมีก๊าซไนโตรเจน (N_2) เข้าทำปฏิกิริยา ในการเคลือบมีการเปลี่ยนค่ากระแสสปัตเตอร์ของเป้าสารเคลือบ Ti และ

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** pudwatsayan@gmail.com **doi:** 10.14456/tstj.2020.122

Al พบว่าเมื่อผลรวมกระแส Ti กับ Al เท่ากัน จะทำให้ฟิล์มมีความหนาใกล้เคียงกัน โดยฟิล์มเคลือบที่มีกระแสของ Ti มากขึ้นจะทำให้ปริมาณธาตุของ Ti ในเนื้อฟิล์มมากขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงลดต่ำลง โดยเมื่อสัดส่วนของ Ti/Al เท่ากับ 1.31/1.00 จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านเฉลี่ยแสงอาทิตย์ (Tavg) 61.01 % และในทางตรงข้ามเมื่อปริมาณธาตุ Al สูงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงสูงขึ้น เมื่อเคลือบฟิล์มด้วยกระแสสปัตเตอร์ของ Ti และ Al เท่ากับ 500 และ 400 mA ตามลำดับ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ฟิล์มมีค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงสูง พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการเคลือบนานขึ้นฟิล์มเคลือบที่หนาขึ้น จะทำให้ขนาดเกรนใหญ่ขึ้นและมีลักษณะการก่อตัวเป็นคอลัมนา โดยที่เวลาเคลือบ 15, 30 และ 60 min จะให้ฟิล์มที่มีขนาดเกรนเฉลี่ย 28, 46 และ 57 nm ตามลำดับ และมีความหนาเฉลี่ย 196, 268 และ 357 nm โดยให้ค่า Tavg มีค่า 73.01, 54.70 และ 25.97 % ตามลำดับ โดยฟิล์มเคลือบ 60 min. จะให้ฟิล์มเคลือบที่เป็นผลึก TiAlN ในระนาบ (111), (200) และ (220) โดยฟิล์มที่ได้มีเหมาะสมต่อการนำสมบัติทางแสงและโครงสร้างที่ได้ไปประยุกต์ใช้ต่อไป

คำสำคัญ : TiAlN; โคสปัตเตอริง; กระแส; สมบัติทางแสง

Abstract

Titanium aluminum nitride thin films were prepared by DC reactive magnetron co-sputtering. Titanium and aluminum were used as sputtering targets. Deposition occurred under argon and nitrogen gases ambient with the flow rates of 4.0 and 2.5 sccm, respectively. Films were deposited under the changing of sputtering current for Ti and Al targets. It is found that when the sum of the sputtered currents of the Ti and Al targets is the same, the film thickness is nearby similar. The element of Ti in the film increased as the sputtered current of Ti increased, resulting in a lower percentage of transmittance because Ti showed a good absorption film. Under the Ti/Al ratio of 1.31/1.00, the normal solar transmittance percentage (Tavg) was 61.01 %. In contrast, the higher Al content showed a higher light transmittance. Under a condition of coating the film with the sputtered current of Ti of 500 mA and Al of 400 mA, the film had a high light transmittance percentage. When the coating time was increased, the thickness of the film was also increased, and surface structure was induced to be greater grain size with columnar structure. With the coating times of 15, 30 and 60 min, the average grain sizes were 28, 46 and 57 nm, respectively, the average thicknesses were 196, 268 and 357 nm, respectively, and Tavg were 73.01 54.70 and 25.97 %, respectively. The film with a coating time of 60 min was formed in the crystal structure of TiAlN for (111), (200) and (200) plane. Under this coating condition, it is suggested that the films are suitable for further application with their optical and structural properties.

Keywords: TiAlN; co-sputtering; current; optical property

1. บทนำ

ระบบการเคลือบฟิล์มบางมีหลากหลายเทคนิค การเลือกเทคนิคในการเคลือบฟิล์มบางขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและสมบัติของฟิล์มที่ต้องการนำไปใช้งาน โดยปัจจุบันมีการนำฟิล์มบางไปใช้งานในการสร้างเทคโนโลยีหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ ฟิล์มบางทางแสง ฟิล์มบางเซนเซอร์ ฟิล์มเคลือบแข็ง ฟิล์มเคลือบเพื่อความสวยงาม ฟิล์มบางตัวเร่งปฏิกิริยา [1] เป็นต้น ดังนั้นเทคนิคการเคลือบฟิล์ม วัสดุสำหรับเคลือบ และเงื่อนไขการเคลือบฟิล์มจึงเป็นตัวกำหนดสมบัติของฟิล์มบางที่ต้องการสำหรับนำไปใช้งานด้านต่าง ๆ สปัตเตอริงเป็นเทคนิคการเตรียมฟิล์มรูปแบบหนึ่งที่เป็นการเคลือบฟิล์มภายใต้ระบบความดันต่ำ เป็นรูปแบบที่ทำให้ฟิล์มที่ได้จากการเคลือบมีการยึดจับที่แน่นกับวัสดุรองเคลือบ (substrate) และฟิล์มที่ได้จากการเคลือบมีความบริสุทธิ์สูง [2] ฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) เป็นฟิล์มโลหะไนไตรด์ที่นำมาพัฒนาเป็นฟิล์มเคลือบแข็ง ฟิล์มบางเพื่อความสวยงามและคงทน ฟิล์มบางทางแสง [3] เป็นต้น ฟิล์มบาง TiAlN นั้นมีวิธีการเคลือบหลายเทคนิค ได้แก่ เทคนิคการเคลือบอาร์คทางไฟฟ้า เทคนิคการเคลือบโดยการระเหยสาร เป็นต้น แต่เทคนิคที่ทำให้ฟิล์มเคลือบที่ได้ยึดติดแน่นกับวัสดุรองเคลือบ คือ เทคนิคสปัตเตอริง [4] ซึ่งเป็นเทคนิคการเคลือบภายใต้ความดันต่ำ ทำให้ฟิล์มที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง โดยใช้การป้อนก๊าซอาร์กอนที่ทำให้เป็นไอออนของอาร์กอนด้วยสนามไฟฟ้า ซึ่งไอออนจะวิ่งเข้าชนกับสารหรือวัสดุที่ต้องการเคลือบ ทำให้อะตอมของสารเคลือบหลุดออกมาและตกเคลือบลงบนวัสดุรองเคลือบ แล้วจับตัวกันเป็นแผ่นฟิล์มบาง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอัตราการเคลือบทำได้โดยการจ่ายสนามแม่เหล็กให้กับหัวเป้าสารเคลือบ ซึ่งเรียกว่าแมกนีตรอนสปัตเตอริง และเนื่องจากการเคลือบทำโดยการจ่ายไฟฟ้าที่เป้าสารเคลือบซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยต่อเข้ากับเป้าสารเคลือบแบบแยกอิสระกันระหว่างเป้าสารเคลือบ Ti กับเป้าสารเคลือบ Al โดยที่ระหว่างการเคลือบจะป้อนก๊าซ N_2 เข้าทำปฏิกิริยา จึงเรียกเทคนิคการเคลือบนี้ว่าดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง การทดลองนี้จะเคลือบฟิล์ม TiAlN โดยใช้เทคนิคการเคลือบแบบดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง โดยเปลี่ยนค่ากระแสสปัตเตอร์ เพื่อหาสัดส่วนอะตอม โครงสร้างฟิล์ม และสมบัติทางแสงของฟิล์ม

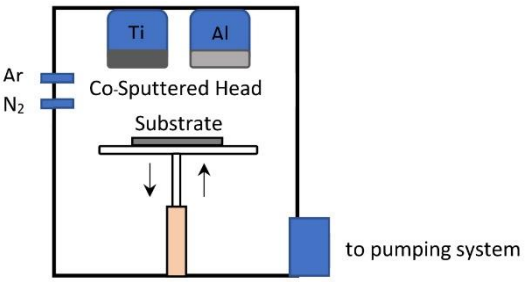


Figure 1 Chamber for film deposition

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเคลือบฟิล์ม

ฟิล์มเคลือบลงบนแผ่นซิลิกอน กระจก และสแตนเลส โดยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง ที่ทำความดันสภาวะพื้น (base pressure) 8×10^{-6} mbar โดยกำหนดอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนซึ่งเป็นก๊าซเข้าชน (bombarding gas) ที่ 4 sccm อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซที่เข้าทำปฏิกิริยา (reactive gas) ที่ 2.5 sccm ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับซับสเตรท (D_{S-T}) = 11 cm ที่เวลาในการเคลือบ 10 min. ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นห้องเคลือบสุญญากาศสำหรับการเคลือบฟิล์มโดยมีระบบหัวเคลือบคู่แบบดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริงเป้าไทเทเนียม (Ti) ความบริสุทธิ์ 99.995 % และเป้าอลูมิเนียม (Al) ความบริสุทธิ์ 99.99 %

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 in. โดยการเคลือบมีการเปลี่ยนค่ากระแสสปัตเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 1

Table 1 Deposited condition for film preparation with changing of sputtering currents.

Samples	Variables	Currents of Ti (mA)	Currents of Al (mA)
T-1	Ti7Al0N	700	0
T-2	Ti7Al2N	700	200
T-3	Ti6Al3N	600	300
T-4	Ti5Al4N	500	400
T-5	Ti4Al5N	400	500
T-6	Ti3Al6N	300	600

พิจารณาภายใต้สมมุติฐานว่าเมื่อกระแสสปัตเตอร์ที่ให้กับเป้าสารเคลือบต่างกันจะทำให้สปัตเตอร์อะตอมที่หลุดออกมาจากเป้าสารเคลือบทั้งสองชนิด จะมีปริมาณต่างกันและเคลือบตกลงเป็นฟิล์มที่ให้สัดส่วนของอะตอมที่ต่างกัน และทำให้สมบัติต่างๆ ของฟิล์มเปลี่ยนไป

2.2 การศึกษาคุณลักษณะของฟิล์ม

การศึกษาคุณลักษณะของฟิล์มเคลือบเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของกระแสสปัตเตอร์ โดยศึกษาองค์ประกอบของธาตุโลหะในเนื้อฟิล์มด้วยเทคนิคการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ (X-rays fluorescence technique) ศึกษาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคและความหนาของฟิล์มโดยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) และศึกษาสมบัติทางแสงโดยหาค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-1,100 nm โดยใช้เครื่องสเปกตรัมยูวี-วิซิเบิล (UV-VIS spectrophotometer) และหาค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านเฉลี่ยแสงอาทิตย์เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านเฉลี่ยแสงอาทิตย์ ณ ระดับน้ำทะเลที่มวลอากาศ 1.5 ในช่วงแสงตามองเห็นความยาวคลื่น 380-780 nm

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 การศึกษาองค์ประกอบของธาตุในเนื้อฟิล์ม

การศึกษาองค์ประกอบของธาตุในเนื้อฟิล์มที่ได้จากการเคลือบ ศึกษาโดยใช้เทคนิคการเรืองแสงของเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ โดยผลการศึกษาองค์ประกอบของธาตุบนเนื้อฟิล์ม โดยพิจารณาตัวอย่าง T-3, T-4 และ T-6 ได้ผลดังแสดงดังรูปที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อกระแสของเป้า Ti เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ปริมาณอะตอม Ti ในเนื้อฟิล์มสูงขึ้น ขณะที่เมื่อกระแสของ Al เพิ่มขึ้นปริมาณของธาตุ Al ในเนื้อฟิล์มก็จะมีปริมาณมากขึ้นตาม

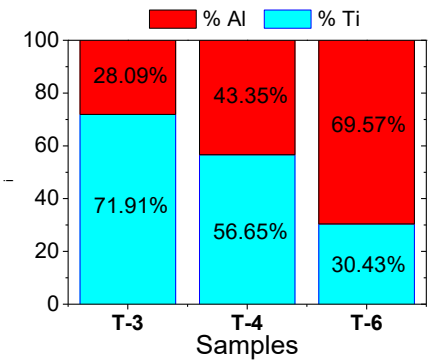


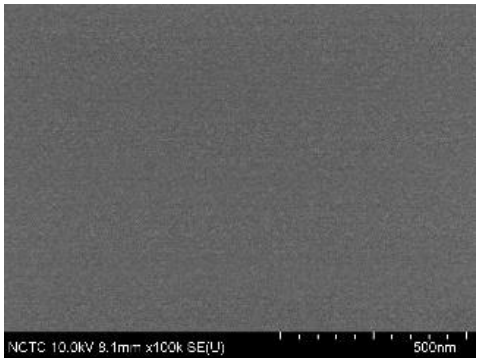
Figure 2 Amounts of Ti and Al elements for T-3, T-4 and T-6 samples

เมื่อนำฟิล์มที่ได้มาตรวจลักษณะโครงสร้างในระดับจุลภาคเพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิว (surface morphology) และตรวจสอบความหนาและลักษณะโครงสร้างของฟิล์มโดยตรวจสอบลักษณะของภาคตัดขวางฟิล์ม

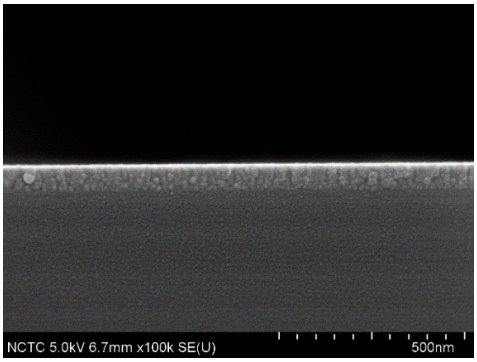
3.2 โครงสร้างของฟิล์ม

3.2.1 โครงสร้างฟิล์มภายใต้เงื่อนไขการเคลือบที่สัดส่วนกระแสต่างกัน

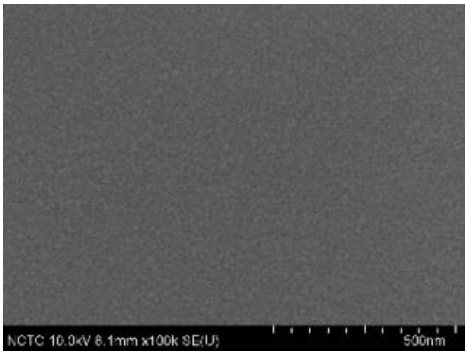
เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิวของฟิล์มที่ได้จากการเตรียมภายใต้เงื่อนไขการเคลือบที่สัดส่วนกระแสต่างกัน แสดงดังรูปที่ 3 จากรูปพื้นผิวฟิล์มแสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่มีปริมาณธาตุ Ti มากกว่า Al จะมีลักษณะขรุขระมากกว่าฟิล์มที่มีปริมาณ Al มากกว่าโดยตัวอย่าง T-1 ถึง T-4 มีขนาดเกรนที่ใหญ่กว่า T-5 และ T-6 เมื่อพิจารณาฟิล์มภาคตัดขวางพบว่าฟิล์มมีเกรนลักษณะกลมเรียงต่อกันในแนวดิ่งและก่อตัวเป็นชั้นฟิล์ม โดยฟิล์มที่ตรียมทุกเงื่อนไขมีลักษณะคล้ายกัน โดยฟิล์มเคลือบมีการกระจายตัวสม่ำเสมอและมีความหนาสม่ำเสมอ



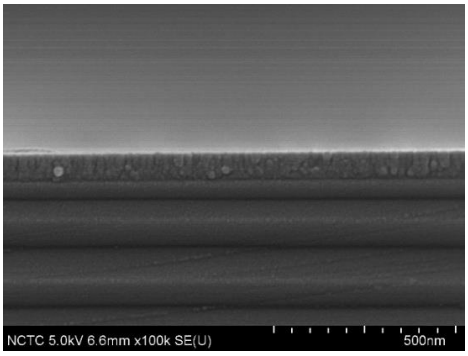
(a) surface morphology of T-1



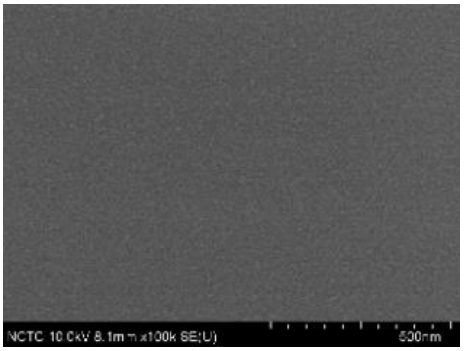
(b) cross-section of T-1, thickness ≈ 71 nm



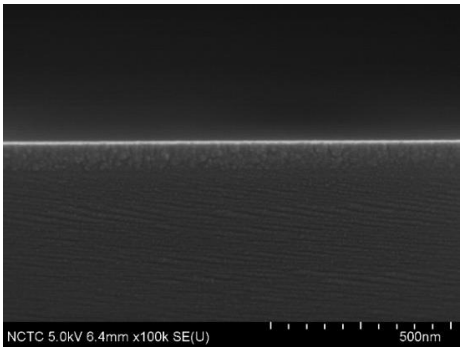
(c) surface morphology of T-2



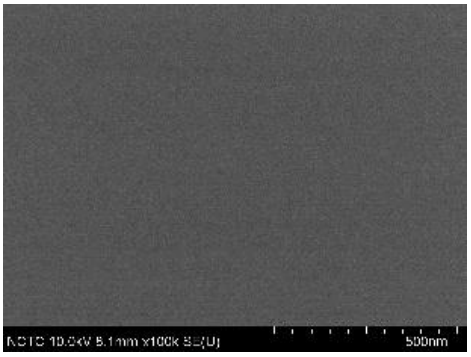
(d) cross-section of T-2, thickness ≈ 73 nm



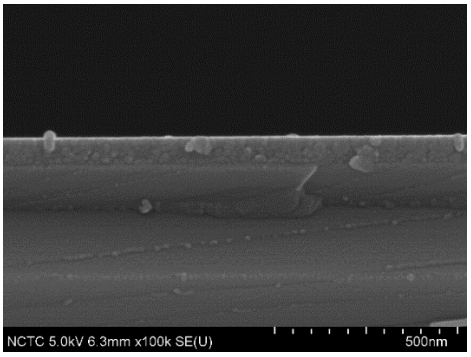
(e) surface morphology of T-3



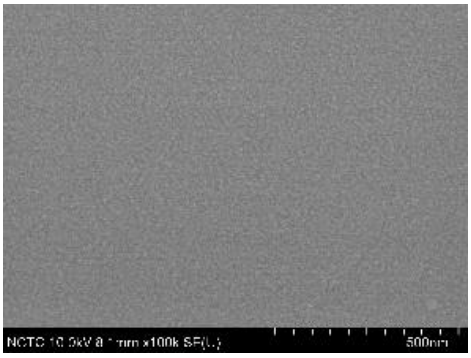
(f) cross-section of T-3, thickness ≈ 75 nm



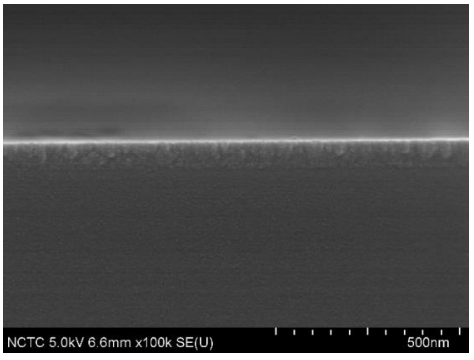
(g) surface morphology of T-4



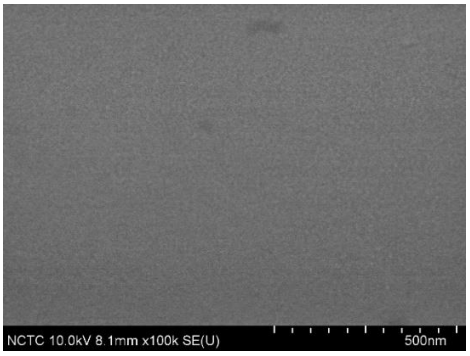
(h) cross-section of T-4, thickness ≈ 72 nm



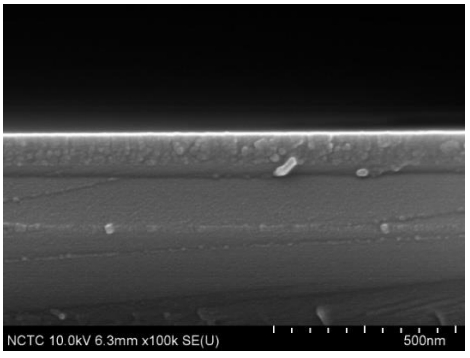
(i) surface morphology of T-5



(j) cross-section of T-5, thickness ≈ 75 nm



(k) surface morphology of T-6



(l) cross-section of T-6, thickness ≈ 84 nm

Figure 3 Surface morphology and cross-section under various currents for T-1, T-2, T-3, T-4, T-5 and T-6 samples

ฟิล์มเคลือบที่ได้จากเงื่อนไขการเคลือบที่ต่างกันจะให้ฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (71-84 nm) กราฟความหนาที่เงื่อนไขการเคลือบต่างกันแสดงดังรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าความหนาแต่ละเงื่อนไขต่างกันเพียงเล็กน้อย โดย T-6 ที่มีปริมาณ Al มากกว่าเงื่อนไขอื่น ๆ มีความหนาสูงที่สุดที่ 84 nm ซึ่งอาจเกิดจากความหนาแน่นของ Al ต่ำกว่าของ Ti ทำให้ความหนาที่วัดได้สูงกว่า

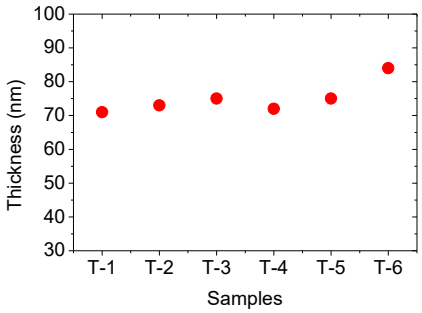


Figure 4 Film thickness of T-1, T-2, T-3, T-4, T-5 and T-6 samples

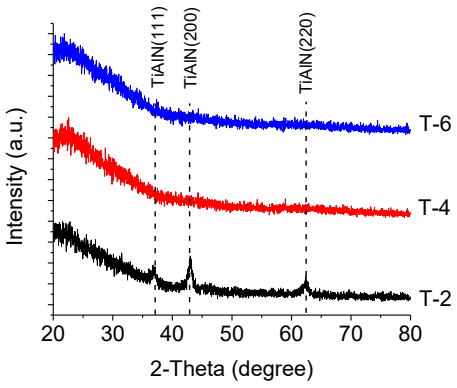


Figure 5 XRD pattern of T-2, T-4 and T-6 under a coating time of 10 min.

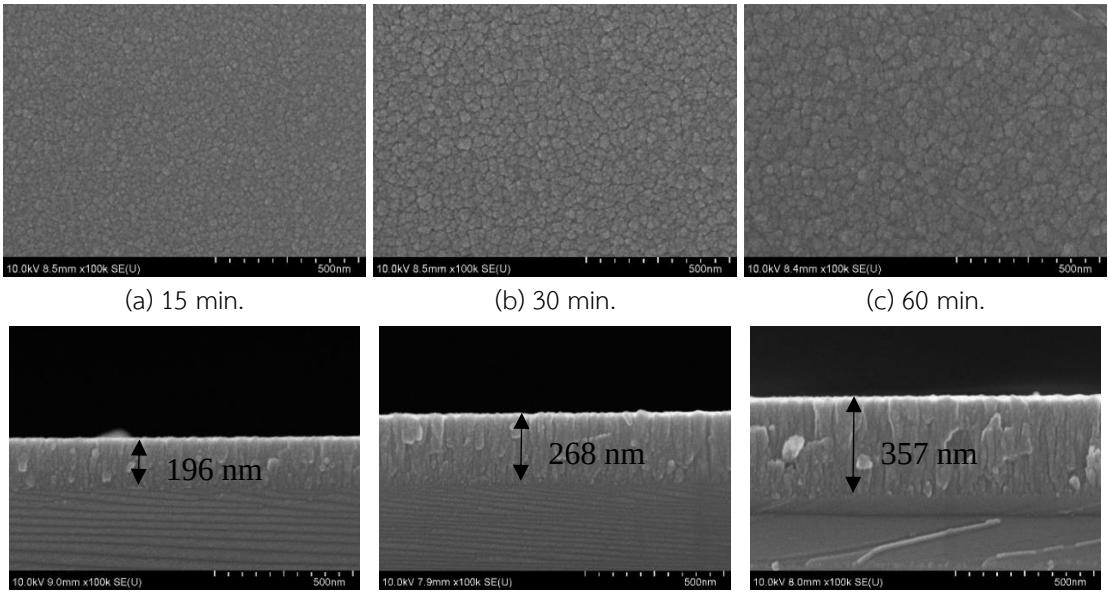
ความเป็นผลึกภายใต้เงื่อนไขการเคลือบที่สัดส่วนกระแสต่างกัน พิจารณาได้จากรูปที่ 5 แสดงรูปแบบการเลี้ยวรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มตัวอย่างโดยจะเห็นว่าฟิล์มเคลือบ มีความหนาน้อยกว่า 85 nm จะเห็นว่าฟิล์ม T-2 แสดงความเป็นผลึกสูงที่ความหนาฟิล์มประมาณ 73 nm โดยฟิล์มที่ได้แสดงความเป็นผลึกของฟิล์ม TiAlN ในระนาบผลึก (111), (200) และ (220) ในขณะที่ฟิล์มเคลือบ T-4 และ T-6 ตรวจสอบไม่เจอความเป็นผลึก โดยโครงสร้างที่ตรวจสอบได้แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของโครงสร้างอสัญฐาน

3.2.2 โครงสร้างฟิล์มภายใต้เงื่อนไขการเคลือบที่เวลาในการเคลือบต่างกัน

รูปที่ 2 จะเห็นว่าปริมาณธาตุ Ti และ Al ของตัวอย่าง T-4 ภายใต้เงื่อนไขการเคลือบที่มีกระแสสปัตเตอร์ของ Ti 500 mA และ Al 400 mA มีปริมาณใกล้เคียงกัน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วน 1.31 : 1.00 เมื่อนำเงื่อนไขการเคลือบดังกล่าวมาเคลือบฟิล์มโดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการเคลือบ เป็น 15, 30 และ 60 min. และนำฟิล์มที่ได้จากการเคลือบนำมาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่ได้จากการเคลือบที่ระยะเวลาต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะก่อตัวเป็นเกรนโดยที่เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเวลาในการเคลือบมากขึ้น ซึ่งขนาดเกรนเฉลี่ยมีค่าประมาณ 28, 46 และ 57 nm ที่ระยะ เวลาในการเคลือบ 15, 30 และ 60 min. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาภาคตัดขวางพบว่าเมื่อฟิล์มหนาขึ้นมีลักษณะการก่อตัวเป็นคอลัมน์ที่ใหญ่อย่างชัดเจน และเมื่อเวลาในการเคลือบนานขึ้นความหนาฟิล์มจะหนาขึ้น โดยความหนาฟิล์มมีค่าเฉลี่ย 196, 268 และ 357 nm สำหรับหรับระยะเวลาเคลือบ 15, 30 และ 60 min. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเคลือบนานขึ้น อะตอมที่ตกเคลือบบนผิวรองเคลือบจะก่อตัวเป็นนิวเคลียสและมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีการทับถมของสปัตเตอร์อะตอมที่เข้ามาใหม่พร้อมกับในขณะเคลือบฟิล์มมีการสะสมของความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทพลังงานและโมเมนตัมให้กับวัสดุรองเคลือบทำให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะเป็นคอลัมนาที่ใหญ่ขึ้น โดยฟิล์มมีการก่อตัวขึ้นในแนวดิ่งด้วยอัตราสูงกว่าด้านข้างทำให้ฟิล์มที่ได้ก่อตัวเป็นคอลัมนาที่สูงขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการเคลือบ

พิจารณาความเป็นผลึกของฟิล์มเคลือบ T-4 โดยพิจารณาเวลาที่ใช้ในการเคลือบ คือ 15, 30 และ 60 min. ซึ่งรูปทที่ 8 แสดงรูปแบบการ

เลี้ยวเบนรังเอ็กซ์ของฟิล์มเคลือบ จะเห็นได้ว่าที่เวลาในการเคลือบน้อย (15 min.) ฟิล์มที่ได้มีลักษณะโครงสร้างเป็นอสัญฐานในขณะที่เมื่อเวลาที่ในการ 30 min. ฟิล์มแสดงโครงสร้างเป็นผลึก TiAlN ใน ระนาบ (200) และ (220) อย่างชัดเจน และเมื่อเวลาที่ใช้ในการเคลือบผ่านไป 60 min. พบว่าฟิล์มเคลือบที่ได้แสดงโครงสร้างของผลึก TiAlN ในระนาบ (111), (200) และ (220) โดยมีระนาบหลักคือ (200) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความหนามากขึ้น ความเป็นผลึกปรากฏชัดขึ้นจากการวัด โดยความเข้มของระนาบผลึกที่ตรวจสอบเจอมีความเข้มมากขึ้นเมื่อความหนามากขึ้น



(a) 15 min. (b) 30 min. (c) 60 min.

(d) 15 min. (e) 30 min. (f) 60 min.

Figure 6 Surface morphology and cross-section for T-4 under the coating times of 15, 30 and 60 min.

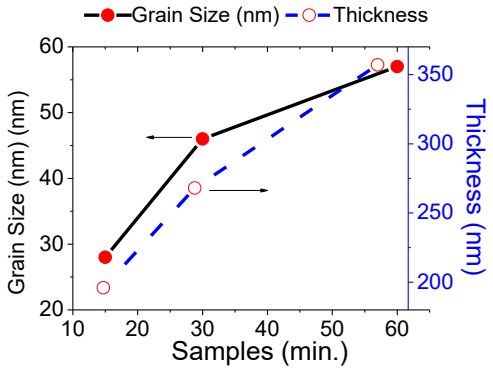


Figure 7 Grain size and film thickness for T-4 under the coating times of 15, 30 and 60 min.

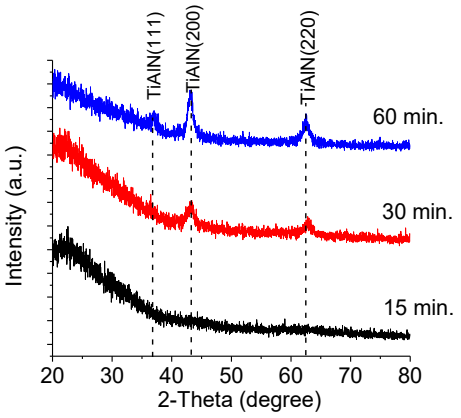


Figure 8 XRD pattern for T-4 under the coating times of 15, 30 and 60 min.

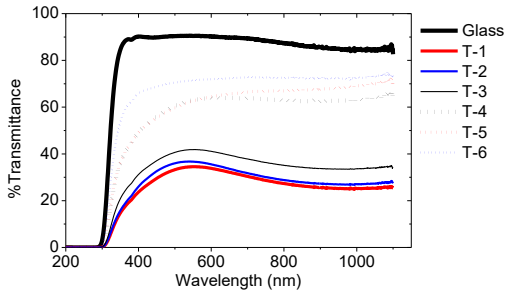


Figure 9 Transmittance percentages of glass and T-1, T-2, T-3, T-4, T-5 and T-6 samples

3.3 สมบัติทางแสง

พิจารณาฟิล์มเคลือบ T-1, T-2, T-3, T-4, T-5 และ T-6 ซึ่งมีความหนา 71-84 nm ดังแสดงในรูปที่ 4 อย่างไรก็ตาม ฟิล์มที่มีสัดส่วนของปริมาณอะตอมโลหะ Ti และ Al ที่ต่างกันในเนื้อฟิล์มทำให้ฟิล์มที่ได้มีสมบัติทางแสงที่ต่างกัน ซึ่งเมื่อวัดค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านในช่วงความยาวคลื่น 200-1,100 nm แสดงดังรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าฟิล์ม T-1, T-2 และ T-3 ซึ่งมีปริมาณ Ti ในปริมาณมากกว่า Al ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงที่ต่ำ ขณะที่เมื่อปริมาณ Al เพิ่มมากขึ้นเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านจะมีค่ามากขึ้น ได้แก่ ฟิล์ม T-4, T-5 และ T-6 แต่ก็มีเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านที่ต่ำกว่ากระจก (glass) โดยที่ความยาวคลื่นประมาณ 300-400 nm เป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ (valence band) ไปยังแถบตัวนำ (conduction band) เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านเฉลี่ยแสงอาทิตย์ (Tavg) ณ ระดับน้ำทะเลที่มวลอากาศ 1.5 ในช่วงแสงตามองเห็นของฟิล์มบาง T-1 ถึง T-6 ดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่าสามารถแบ่งฟิล์มได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม G.1 ซึ่งมี Tavg น้อยกว่า 40 % โดย Tavg ของ T-1, T-2 และ T-3 มีค่า 31.12, 33.15 และ 38.55 % ตามลำดับ และกลุ่ม G.2 ซึ่งมี Tavg มากกว่า 60 % โดยที่ T-4, T-5, T-6 และ glass มีค่า Tavg เท่ากับ 61.01, 61.85, 71.00 และ 89.78 % ตามลำดับ

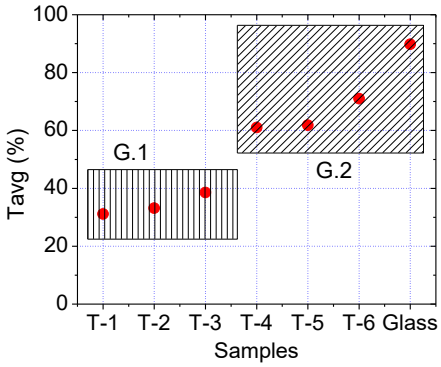


Figure 10 Normal solar transmittance percentages at sea level and air mass of 1.5 for visible light of glass, T-1, T-2, T-3, T-4, T-5 and T-6 samples

รูปที่ 9 และ 10 จะเห็นว่าเงื่อนไขในการเคลือบฟิล์มที่ทำให้สมบัติทางแสงเป็นช่วงเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด คือ ฟิล์ม T-4 ซึ่งภายใต้เงื่อนไขการเคลือบที่มีกระแส Ti 500 mA และ Al 400 mA ซึ่งให้ปริมาณอะตอม Ti : Al มีค่า 1.31 : 1.00 โดยให้ค่า Tavg เท่ากับ 61.01 % โดยฟิล์มมีความหนาเฉลี่ย 72 nm ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นฟิล์มบางทางแสง อย่างไรก็ตาม เมื่อนำเงื่อนไขเคลือบดังกล่าวไปเคลือบฟิล์มที่เวลาต่างกัน คือ 15, 30 และ 60 min. ซึ่งฟิล์มที่ได้มีความหนาเฉลี่ย 196, 268 และ 357 nm ตามลำดับ เพื่อศึกษาสมบัติทางแสง เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งเมื่อเวลาในการเคลือบหรือความหนามีค่ามากขึ้น เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านในช่วงความยาวคลื่น 200-1,100 nm ก็จะมีค่าลดลง เนื่องจากมีค่าการดูดกลืนแสงที่มากขึ้นเมื่อความหนาฟิล์มมากขึ้น และเมื่อนำเปอร์เซ็นต์การส่งผ่าน ไปหาค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านเฉลี่ยแสงอาทิตย์ในช่วงแสงตา

มองเห็นแสดงดังรูปที่ 12 โดยที่เวลาในการเคลือบฟิล์ม 15, 30 และ 60 min. มีค่า Tavg เท่ากับ 73.01, 54.70 และ 25.97 ตามลำดับ

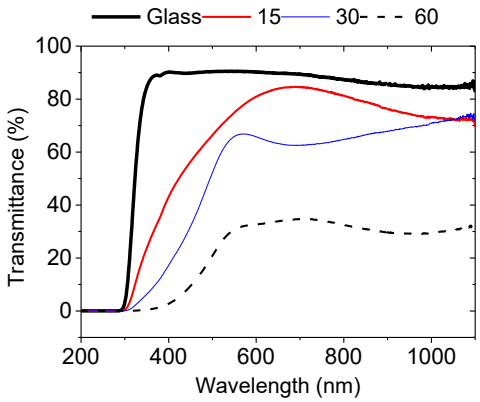


Figure 11 Transmittance percentages of T-4 under the coating times of 15, 30 and 60 min.

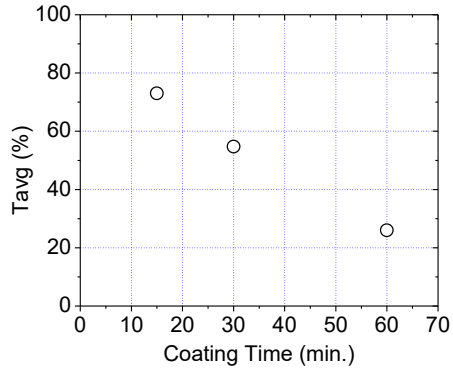


Figure 12 Normal solar transmittance percentages at sea level and air mass of 1.5 for visible light of T-4 under the coating times of 15, 30 and 60 min.

4. สรุป

ระบบเคลือบดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริงเคลือบฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ซึ่งสามารถสร้างฟิล์มที่มีส่วนประกอบปริมาณธาตุ Ti และ Al ต่างกันโดยการเปลี่ยนค่ากระแสสปัตเตอร์ของแต่ละหัวเคลือบที่สามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างอิสระ ฟิล์มเคลือบภายใต้เงื่อนไขการเคลือบ T-1 ถึง T-6 ที่ได้มีความหนาของฟิล์มเฉลี่ย 71-84 nm เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-1,100 nm แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มี Tavg ต่ำกว่า 40 % เป็นกลุ่มที่มีปริมาณสัดส่วนธาตุ Ti สูง ที่มี Tavg สูงกว่า 60 % เป็นกลุ่มที่มี Ti ปริมาณสัดส่วนธาตุ Ti ต่ำกว่ากลุ่มแรก โดยมีสัดส่วนปริมาณธาตุ Al สูงขึ้น เมื่อนำเงื่อนไขการเคลือบฟิล์ม T-4 โดยเปลี่ยนค่าเวลาที่ใช้ในการเคลือบ พบว่าฟิล์มเคลือบมีค่าความหนามากขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการเคลือบ มีขนาดเกรนใหญ่ขึ้น และเมื่อฟิล์มหนามากขึ้นมีลักษณะการก่อตัวในแนวตั้งเป็นคอลัมนา และเมื่อฟิล์มมีความหนามากขึ้นจะมีการดูดกลืนแสงมากขึ้น ทำให้ Tavg มีค่าลดลงโดยที่ความหนาเฉลี่ย 357 nm มีค่า Tavg เท่ากับ 25.97 %

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2560 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

6. References

[1] Bach, F.W., Laarmann, A. and Wenz, T., 2006, Modern Surface Technology, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

[2] Leon, I.M. and Reinhard, G., 1970, Hand Book of Thin Film Technology, McGraw-Hill, Inc., New York.

[3] Drnovšek, A., Panjan, P., Panjan, M. and Čekada, M., 2016, The influence of growth defects in sputter-deposited TiAlN hard coatings on their tribological behavior,

Surf. Coat. Technol. 288: 171-178.

[4] Zhou, W., Liang, J., Zhang, F., Mu, J. and Zhao, H., 2014, A comparative research on TiAlN coatings reactively sputtered from powder and from smelting TiAl targets at various nitrogen flow rates, Appl. Surf. Sci. 313: 10-18.