

การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบด้วย
วิธีเอกทีพีดีซีโคอันบาลานซ์แมกนีตรอนสเป็คเตอริง

Preparation and Characterization of Titanium Aluminium Nitride Thin Film Deposited by
Reactive DC Co-Unbalanced Magnetron Sputtering Method

อารีรัตน์ สมหวังสกุล^{1,2*} อติศร บุรณวงศ์^{1,2} นรินทร์ วิทิตอนันต์^{1,2} และ สุรสิงห์ ไชยคุณ^{1,2}

Areerat Somwangsakun^{1,2*} Adisorn Buranawong^{1,2} Nirun Witit-anun^{1,2} and Surasing Chaiyakun^{1,2}

บทคัดย่อ

ฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) ถูกเคลือบด้วยวิธีเอกทีพีดีซีโคอันบาลานซ์แมกนีตรอนสเป็คเตอริงบนกระจกสไลด์และซิลิกอน เพื่อศึกษาผลของกระแสไฟฟ้าในการสเป็คเตอริงเป้าไทเทเนียม (I_T) ต่อโครงสร้างผลึก ลักษณะพื้นผิวและความหนา ในช่วง 300 - 900 มิลลิแอมป์ โครงสร้างผลึก ลักษณะพื้นผิวและความหนา ศึกษาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction; XRD) และอะตอมมิคฟอซไมโครสโคป (Atomic Force Microscope; AFM) ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าในการสเป็คเตอริงเป้าไทเทเนียมมีผลโดยตรงต่อโครงสร้างผลึก ลักษณะพื้นผิวและความหนาของฟิล์ม โดยฟิล์มที่เคลือบได้แสดงโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ระนาบ (111) (200) และ (220) ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มที่ได้มีค่าในช่วง 147 - 252 นาโนเมตร และ 1.4 - 3.1 นาโนเมตร ตามลำดับ

Abstract

Titanium aluminium nitride (TiAlN) thin film was deposited by reactive DC Co-unbalanced magnetron sputtering method on glass slide and silicon. The effect of titanium sputtering current (I_T), in range of 300 - 900 mA, on the crystal structure, surface morphology and thickness were investigated. The crystal structure, surface morphology and thickness were characterized by X-ray Diffraction (XRD) and Atomic Force Microscope (AFM) techniques, respectively. The results show that the crystal structure, surface morphologies and thickness of the film are strongly depended on the titanium sputtering current. The as-deposited films were composed of TiAlN with (111), (200) and (220) planes. The roughness and thickness of the as-deposited films were in the range of 147 to 252 nm and 1.4 to 3.1 nm, respectively.

Key Words: Thin films, titanium aluminium nitride, sputtering, reactive co-sputtering.

E-mail: areerat_buu@hotmail.com

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri 20131.

² ห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิว ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ (ThEP) สบว. สกอ.

Plasma for Surface Sciences Laboratory, Thailand Center of Excellence in Physics (ThEP), PERDO, CHE

บทนำ

การปรับปรุงสมบัติเชิงผิวของวัสดุทำได้หลายวิธี แนวทางหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง จากกลุ่มนักวิจัยและภาคอุตสาหกรรมทั่วโลกคือการเคลือบด้วยสารที่มีสมบัติเหมาะสมในลักษณะฟิล์มบางด้วยการเคลือบในสุญญากาศ (vacuum coating) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิค PVD (Physical Vapor Deposition) ทั้งนี้ชั้นเคลือบหรือฟิล์มบางชนิดหนึ่งที่ได้รับการยอมรับมาอย่างต่อเนื่องว่าเหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบแข็ง (hard coating) คือ ฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) เนื่องจากมีสมบัติดีเยี่ยมหลายประการ เช่น มีความแข็งสูง มีเสถียรภาพทางเคมีและทนความร้อนสูงได้ดี สามารถทนการกัดกร่อนและมีสมบัติเชิงกลที่ดี (Liu *et al.*, 2005; Su *et al.*, 1993; Reiner *et al.*, 1992) นิยมใช้เคลือบเครื่องมืออุปกรณ์ตัดเจาะและเครื่องจักรกลในภาคอุตสาหกรรม (Cunha *et al.*, 1999)

อย่างไรก็ดีฟิล์มไทเทเนียมไนไตรด์มีข้อจำกัดบางประการคือไม่สามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงเกิน 500 °C เป็นผลให้สมบัติด้านความแข็งของฟิล์มลดลง (Singh *et al.*, 2005; Shum *et al.*, 2004) การแก้ปัญหาแนวทางหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจคือการเพิ่มอะตอมอลูมิเนียม (Al) เข้าไปในโครงสร้างของไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) เพื่อฟอร์มตัวเป็นชั้นของฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) ซึ่งไม่เพียงเพิ่มสมบัติต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากเกิดชั้นของออกไซด์บนผิวหน้าฟิล์มเท่านั้นแต่ยังช่วยเพิ่มความแข็งให้แก่ฟิล์มที่ได้อีกด้วย เนื่องจากไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์เป็นสารละลายของแข็ง (solid solution) ที่มีความแข็งมากกว่าไทเทเนียมไนไตรด์ (Lugscheider *et al.*, 1999)

สำหรับการเคลือบฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ดีซีรีแอคทีฟสปัตเตอริง (DC reactive sputtering) อาร์เอฟรีแอคทีฟสปัตเตอริง (RF reactive sputtering) และการอาร์คในสุญญากาศ (vacuum arc deposition) (Ramana *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตามการเคลือบฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ให้มีโครงสร้างระดับนาโนในส่วนใหญ่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าค่อนข้างสูง (Niu *et al.*, 2008; Uglov *et al.*, 2006) หรือ ต้องให้ความร้อนและความต่างศักย์ไบแอสแก่วัสดุรองรับ (Ramana *et al.*, 2004) การศึกษาเงื่อนไขการเคลือบที่มีผลต่อโครงสร้างและสมบัติของฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์จึงมีค่อนข้างน้อยและจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นการควบคุมสัดส่วนองค์ประกอบธาตุของฟิล์มที่เคลือบได้ ทั้งนี้วิธีการเคลือบที่สามารถควบคุมสัดส่วนขององค์ประกอบธาตุของฟิล์มได้สะดวกและไม่ยุ่งยากคือการเคลือบวิธีโคสปัตเตอริง (co-sputtering) การเคลือบวิธีนี้ใช้เป้าสารเคลือบ 2 ชุด ทำให้สามารถควบคุมอัตราการผลิตสารเคลือบของไทเทเนียม (Ti) หรือ อลูมิเนียม (Al) โดยการแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่เป้าสารเคลือบเท่านั้น บทความวิจัยนี้เป็นรายงานผลการเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่มีโครงสร้างระดับนาโนโดยไม่ให้ความร้อนแก่วัสดุรองรับด้วยวิธีรีแอคทีฟดีซีโคอานบาลานซ์แมกนีตรอนสปัตเตอริง เพื่อศึกษาผลของกระแสไฟฟ้าในการสปัตเตอริงเป้าสารเคลือบไทเทเนียม (I_T) ที่มีต่อโครงสร้างผลึก ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์ในไตรดิวไทด์ในงานนี้เตรียมด้วยวิธีรีเอกทีฟดีซีโคอ์นบาลานซ์แมกนีตรอนสปัตเตอริง จากเครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบดีซีอ์นบาลานซ์แมกนีตรอนสปัตเตอริง (Figure 1) ห้องเคลือบทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 31.0 เซนติเมตร สูง 31.0 เซนติเมตร มีเป้าสารเคลือบเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 เซนติเมตร จำนวน 2 ชุด ได้แก่ ไทเทเนียม (99.97%) และ ออกไซด์ (99.97%) พร้อมภาคจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ใช้แก๊สอาร์กอน (99.999%) เป็นแก๊สสปัตเตอร์ และแก๊สไนโตรเจน (99.995%) เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา การจ่ายแก๊ส ในการเคลือบควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอัตราไหลมวลแก๊สของ MKS รุ่น type247D เครื่องสุบสุญญากาศ ประกอบด้วยเครื่องสูบบแบบแปรไอมีเครื่องสูบกัลโรตารีเป็นเครื่องสูบท้าย ใช้มาตรวัดความดันของ PFEIFFER ซึ่งใช้ส่วนแสดงผลรุ่น TPG262 และ มาตรวัดความดันชนิด Compact Full Range Gauge รุ่น PKR251

ขั้นตอนการเคลือบเริ่มจากนำวัสดุรองรับ 2 ชนิดได้แก่ กระจกใสลดขนาด 2.5x7.5 เซนติเมตร และ ซิลิกอน ขนาด 1.0x1.0 เซนติเมตร เข้าห้องเคลือบวางห่างจากเป้าสารเคลือบเท่ากับ 18 เซนติเมตร ลดความดันในห้องเคลือบให้ได้ความดันพื้นเท่ากับ 5.0×10^{-5} มิลลิบาร์ ปล่องแก๊สเข้าห้องเคลือบผ่านเครื่องควบคุมอัตราไหล มวลแก๊สในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที (Standard Cubic Centimeters per Minute; sccm) โดย กำหนดให้อัตราไหลแก๊สอาร์กอนเท่ากับ 16 sccm และแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 8 sccm กำหนดกระแสไฟฟ้าในการสปัตเตอร์เป้าออกไซด์ (I_{A1}) คงที่เท่ากับ 300 มิลลิแอมป์ และแปรค่ากระแสไฟฟ้าในการสปัตเตอร์ เป้าไทเทเนียม (I_{T1}) เท่ากับ 300, 600 และ 900 มิลลิแอมป์ โดยฟิล์มแต่ละชุดเคลือบนาน 60 นาที

ฟิล์มที่ได้นำไปศึกษาโครงสร้างผลึก ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer ของ Bruker รุ่น D8 โดยใช้ Cu-K α ($\lambda = 1.54056$ อังสตรอม) ตรวจวัดแบบ 2 θ -scan ด้วยมุมตกกระทบเฉียง (grazing incident angle) เท่ากับ 2 $^{\circ}$ สแกน 2 θ จาก 20 $^{\circ}$ ถึง 80 $^{\circ}$ ขนาดผลึก (crystal size) ของฟิล์มคำนวณจากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตาม สมการของ Scherrer คือ $L = k\lambda/\beta \cos \theta$ เมื่อ L คือขนาดผลึก, k คือค่าคงที่เท่ากับ 0.94, λ คือความยาวคลื่น รังสีเอกซ์ ($\lambda = 1.54056$ อังสตรอม), β คือความกว้างครึ่งหนึ่งของพีคที่มีค่าความเข้มสูงสุด (FWHM) และ θ คือมุมของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ส่วนองค์ประกอบธาตุของฟิล์มศึกษาด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectroscopy รุ่น LEO 1450VP สำหรับลักษณะพื้นผิว ความหนาและความหยาบผิวศึกษาด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope ของ Veeco Instruments Inc. รุ่น Nanoscope IV

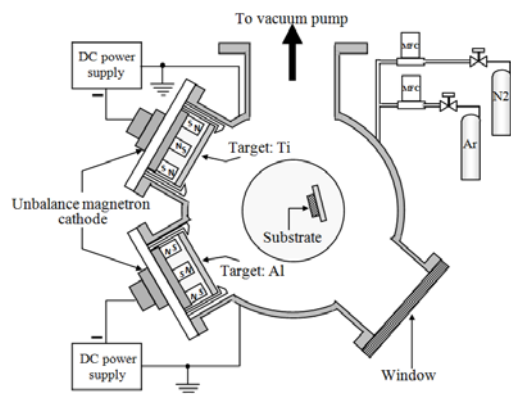


Figure 1 Features and diagram of the DC co-unbalanced magnetron sputtering system

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ฟิล์มบางไทเทเนียมออกไซด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ทั้งหมดทุกเงื่อนไขพบว่าผิวหน้าฟิล์มมีลักษณะเรียบเนียนสารเคลือบกระจายตัวสม่ำเสมอ ส่งผ่านแสงได้บางส่วน ฟิล์มที่เคลือบได้มีสีน้ำตาลอ่อน น้ำตาลและน้ำตาลเข้มแปรไปตามกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมที่ใช้ในการเคลือบ (Figure 2) สำหรับอัตราเคลือบซึ่งหาจากค่าความหนาฟิล์มหารด้วยเวลาในการเคลือบ (Figure 3) พบว่าเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมเท่ากับ 300 มิลลิแอมป์ อัตราเคลือบเท่ากับ 2.5 นาโนเมตรต่อนาที และเพิ่มขึ้นเป็น 4.2 นาโนเมตรต่อนาที เมื่อกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมเพิ่มเป็น 900 มิลลิแอมป์ เนื่องจากเมื่อกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการสputtering เป้าไทเทเนียมออกมารวมตัวกับออกไซด์และไนโตรเจนแล้วฟอร์มตัวเป็นชั้นเคลือบหรือฟิล์มบางตกเคลือบบนวัสดุรองรับมีโอกาสสูงขึ้นทำให้อัตราเคลือบฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์ไนโตรเจนสูงขึ้น

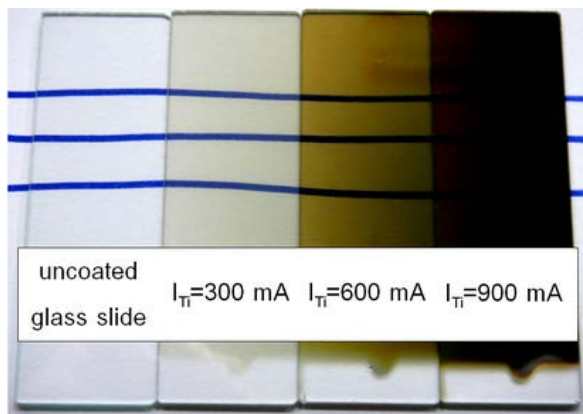


Figure 2 Surface characteristics and colors of TiAlN thin films deposited on glass slide under various sputtering current of Ti

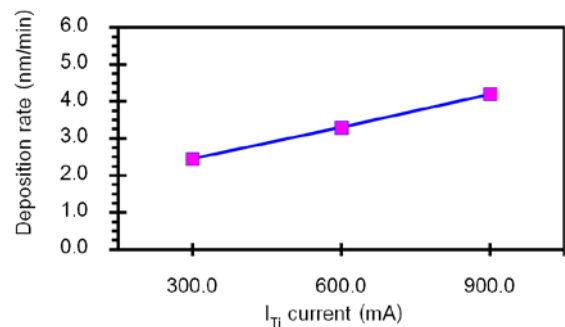


Figure 3 Deposition rates of TiAlN thin films deposited on Si under various sputtering current of Ti

ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมออกไซด์ไนโตรเจนที่เคลือบได้ทั้งหมดด้วยเทคนิค XRD ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ดังแสดงใน Figure 4 พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เคลือบได้เปลี่ยนแปลงไปตามกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียม โดยเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าต่ำเท่ากับ 300 มิลลิแอมป์ พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 43.08° สอดคล้องกับไทเทเนียมออกไซด์ไนโตรเจน (200) เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 600 mA พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 42.88° และ 62.18° ซึ่งสอดคล้องกับไทเทเนียมออกไซด์ไนโตรเจน (200) และ (220) สุดท้ายเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มเป็น 900 มิลลิแอมป์ พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 36.76° , 42.84° และ 62.18° ซึ่งสอดคล้องกับไทเทเนียมออกไซด์ไนโตรเจน (111) (200) และ (220) จากผลการทดลองพบว่าโครงสร้างผลึกของฟิล์มมีการโตหรือมีการพัฒนาในระหว่างการฟอร์มตัว สัมพันธ์กับพลังงานของอะตอมสารเคลือบที่เคลือบลงบนผิววัสดุรองรับที่เพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมที่เพิ่มขึ้น ทำให้อะตอมสารเคลือบมีพลังงานมากพอในการฟอร์มตัวเป็นชั้นของฟิล์มบางในที่สุด

เมื่อพิจารณารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไทเทเนียมไนไตรด์ซึ่งใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงจากฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 381420 ซึ่งมีค่าคงที่แลตทิซเท่ากับ 4.241 อังสตรอม เทียบกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์ที่เคลือบได้ (Figure 4) พบว่าฟิล์มที่เคลือบได้มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เลื่อนไปทางขวาเมื่อเทียบกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์มาตรฐานของไทเทเนียมไนไตรด์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu *et al.* (2005) ซึ่งอธิบายว่าค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์ที่เคลือบได้มีขนาดเล็กกว่าของค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มไทเทเนียมไนไตรด์เนื่องจากอะตอมของออกไซด์เข้าไปแทนที่อะตอมของไทเทเนียมในโครงสร้างของไทเทเนียมไนไตรด์ ทำให้ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มที่เคลือบได้ในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานของไทเทเนียมไนไตรด์ เป็นผลให้ตำแหน่งของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เคลือบได้มีการเลื่อนไปทางขวานั้นเอง

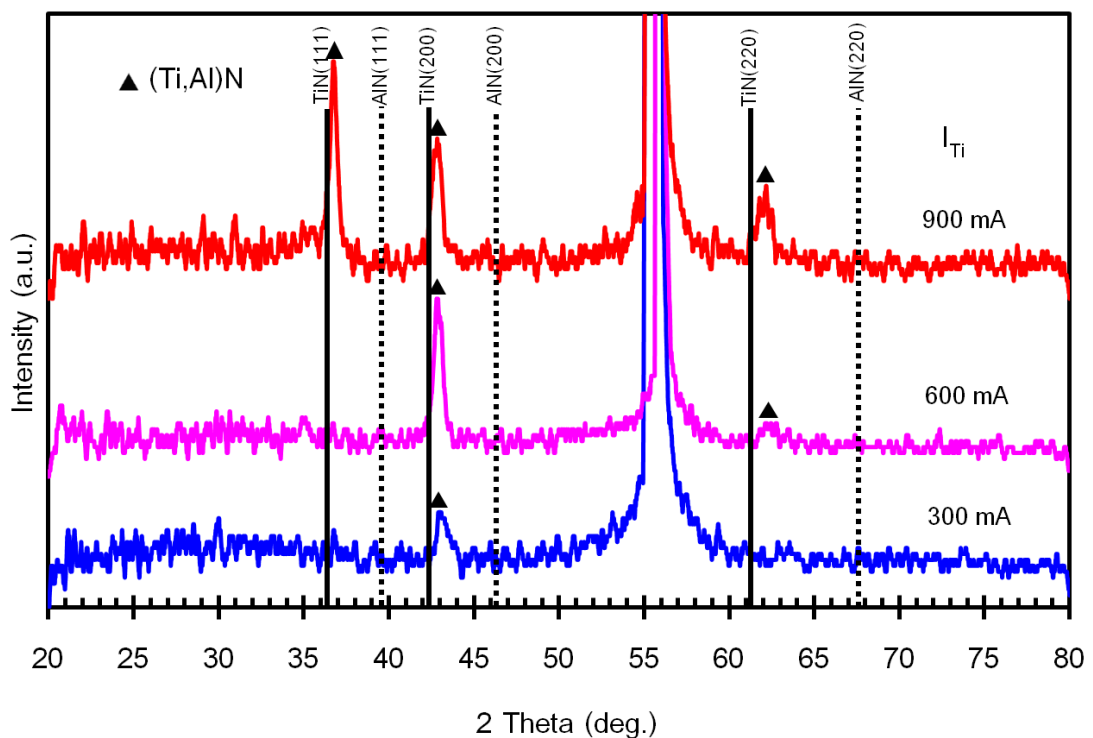


Figure 4 X-ray diffraction patterns of TiAlN thin films deposited on Si under various sputtering current of Ti

Table 1 Lattice constant, crystal size, thickness and roughness of as-deposited TiAlN thin film

Ti current (mA)	Lattice constant (Å)			Crystal size(nm)			Thickness (nm)	R_{rms} (nm)
	TiAlN(111)	TiAlN(200)	TiAlN(220)	TiAlN(111)	TiAlN(200)	TiAlN(220)		
300	-	4.1759	-	-	20.6	-	147	1.4
600	-	4.2186	4.2189	-	29.9	25.3	198	1.9
900	4.2306	4.2093	4.2348	36.4	26.7	19.7	252	3.1

Lattice constant of TiN = 4.241 Å, from JCPDS file No. 381420

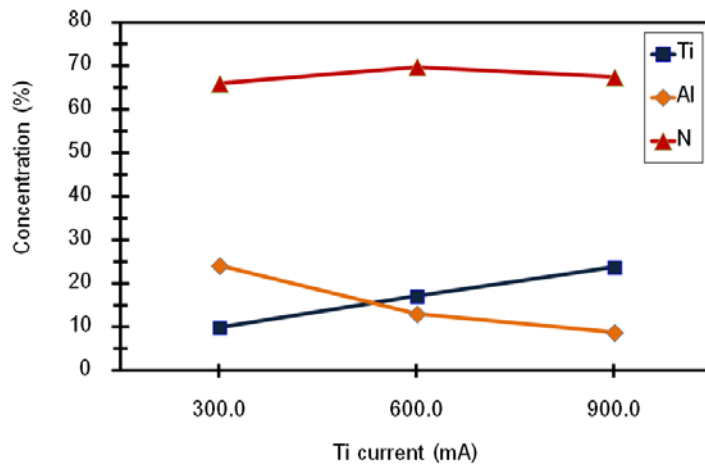
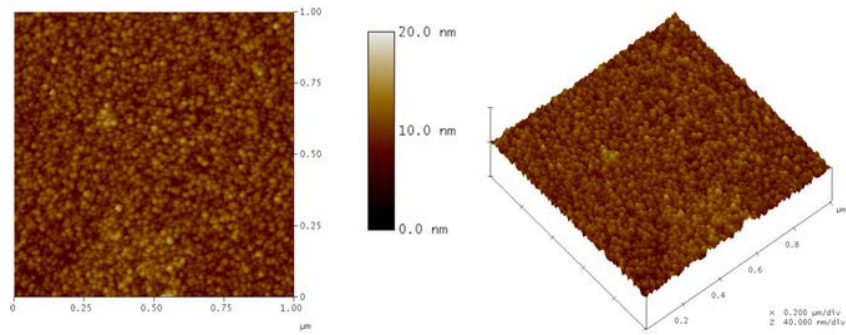


Figure 5 Element concentration (a%) of TiAlN thin films deposited on Si under various sputtering current of Ti

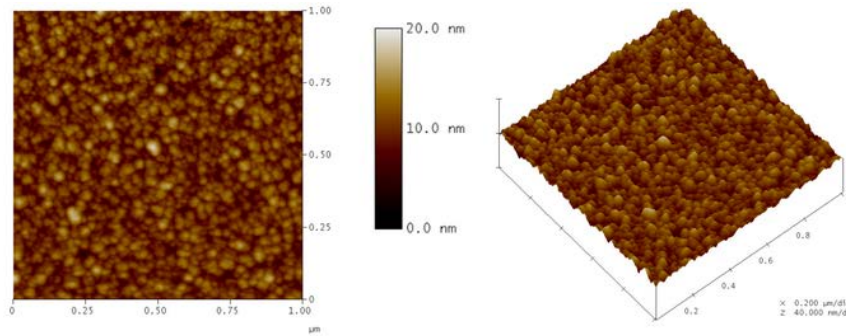
เมื่อนำฟิล์มที่เคลือบได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค EDX พบว่าฟิล์มที่เคลือบได้ทั้งหมดมีไทเทเนียม (Ti) อลูมิเนียม (Al) และ ไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนต่างๆ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามค่ากระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมที่ใช้ในกระบวนการเคลือบ ดังแสดงใน Figure 5 โดยพบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 300 มิลลิแอมป์ เป็น 900 มิลลิแอมป์ องค์ประกอบธาตุของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้คือ ไทเทเนียมเพิ่มขึ้นจาก 9.89% เป็น 23.82% ขณะที่อลูมิเนียมลดลงจาก 24.20% เป็น 8.77% เนื่องจากไทเทเนียมถูกสputtering ออกจากเป้าสารเคลือบเพิ่มขึ้นตามค่ากระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมแล้วเข้าไปแทนที่อะตอมอลูมิเนียมในโครงสร้างผลึกของฟิล์มที่เคลือบได้ ทำให้อลูมิเนียมในฟิล์มมีปริมาณลดลง ส่วนไนโตรเจนมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 65.91% ถึง 69.74% แสดงว่างานวิจัยนี้สามารถเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่อุณหภูมิห้องได้สำเร็จ

Figure 6 แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค AFM ในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ พบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมเท่ากับ 300 มิลลิแอมป์ ฟิล์มที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กกระจายทั่วผิวนำของฟิล์ม ส่วนฟิล์มที่เคลือบด้วยกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมเท่ากับ 600 มิลลิแอมป์ สารเคลือบเริ่มเกาะกลุ่มกันมีขนาดใหญ่ขึ้น และฟิล์มที่เคลือบด้วยกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมเท่ากับ 900 มิลลิแอมป์ ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่เคลือบได้มีลักษณะแหลมสูงต่ำกว่ากระจายทั่วผิวนำฟิล์ม โดยฟิล์มที่เคลือบได้ มีค่าความหยาบผิว (R_{rms}) ในช่วง 1.4 – 3.1 นาโนเมตร เมื่อกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นความหนาของฟิล์มเพิ่มจาก 147 นาโนเมตร เป็น 252 นาโนเมตร ดังสรุปใน Table 1

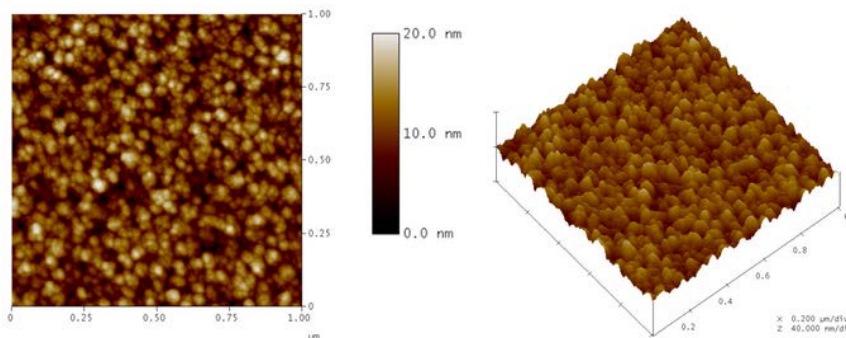
จากการศึกษาด้วยเทคนิค AFM พบว่าลักษณะพื้นผิว ความหยาบผิว ความหนา ตลอดจนขนาดของลักษณะพื้นผิวของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียม ซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานของอะตอมสารเคลือบที่เคลือบบนผิวนำของวัสดุรองรับ ทำให้สารเคลือบมีพลังงานมากพอในการเกาะกลุ่มรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นจนทำให้ความหยาบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้การเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการสputtering เป้าไทเทเนียมยังทำให้มีอะตอมสารเคลือบหลุดจากเป้าสารเคลือบออกมารวมตัวกับอลูมิเนียมและไนโตรเจนแล้วฟอร์มตัวเป็นชั้นของฟิล์มบางบนวัสดุรองรับมากขึ้นจนฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้นตามลำดับ



(a) $I_{Ti} = 300 \text{ mA}$



(b) $I_{Ti} = 600 \text{ mA}$



(c) $I_{Ti} = 900 \text{ mA}$

Figure 6 Surface morphology of TiAlN thin films deposited on Si under various sputtering current of Ti

สรุป

ฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ในงานวิจัยนี้เตรียมด้วยวิธีเอกซ์พีดีซีโคอันบาลานซ์แมกนีตรอน สเป็คเตอรืงบนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอน ฟิล์มที่เคลือบบนกระจกสไลด์มีลักษณะเรียบเนียนสีน้ำตาลอ่อน น้ำตาลและน้ำตาลเข้มส่งผ่านแสงได้บางส่วน ผลการศึกษาพบว่ากระแสไฟฟ้าในการสเป็คเตอรืงเข้าไทเทเนียมมีผลต่อโครงสร้างผลึกและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่ได้ เมื่อกระแสไฟฟ้าในการสเป็คเตอรืงเข้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นพบว่าฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่ได้มีโครงสร้างผลึกระนาบ (111) (200) และ (220) ค่าคงที่แลตทิซอยู่ในช่วง 4.1759 – 4.2348 อังสตรอม องค์ประกอบธาตุของฟิล์มที่เคลือบได้มีไทเทเนียม (Ti) อลูมิเนียม (Al) และไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนต่างๆ ขึ้นกับค่ากระแสไฟฟ้าในการสเป็คเตอรืงเข้าไทเทเนียม ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มที่เคลือบได้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 147 นาโนเมตร เป็น 252 นาโนเมตร และ 1.4 นาโนเมตร เป็น 3.1 นาโนเมตร ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ทุนสนับสนุนทุนการวิจัย ประเภทงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555 เป็นอย่างสูง ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Cunha, L., Andritschky, M., Rebouta, L. and Pischow, K. 1999. Corrosion of CrN and TiAlN coatings in chloride-containing atmospheres. **Surface and Coatings Technology**. 116-119: 1152-1160.
- Liu, G.T., Duha, J.G., Chung, K.H. and Wang, J.H. 2005. Mechanical characteristics and corrosion behavior of (Ti,Al)N coatings on dental alloys. **Surface and Coatings Technology**. 200: 2100 – 2105
- Lugscheider, E., Knotek, O., Barimani, C., Leyendecker, T., Lemmer, O. and Wenke, R. 1999. PVD hard coated reamers in lubricant-free cutting. **Surface and Coatings Technology**. 112: 146-151.
- Niu, E.W., L. Li, G.H. Lv, H. Chen, W.R. Feng and S.Z. Yang. 2008. Characterization of Ti-Zr-N films deposited by cathodic vacuum arc with different substrate bias. **Applied Surface Science**. 254: 3909-3914.
- Ramana, J.V., Kumar, S., David, C. and Saju, V.S. 2004. Structure, composition and microhardness of (Ti,Al)N and (Ti,Al)N coatings prepared by DC magnetron sputtering. **Materials Letters**. 58: 2553-2558.
- Reiner, H., Hantche, H., Jehn, H.A., Kopacz, U. and Rack, A. 1992. Decorative properties and chemical composition of hard coatings. **Surface and Coatings Technology**. 54-55: 273-278.
- Shum, P.W., Tam, W.C., Li, K.Y., Zhou, Z.F. and Shen, Y.G. 2004. Mechanical and tribological properties of titanium-aluminium-nitride films deposited by reactive close-field unbalance magnetron sputtering. **Wear**. 257: 1030-1040.
- Singh, K., Limaye, P.K., Soni, N.L., Grover, A.K., Agrawal, R.G. and Suri, A.K. 2005. Wear studies of (Ti-Al)N coatings deposited by reactive magnetron sputtering. **Wear**. 258: 1813-1824.
- Su, Y.L., Lin, J.S., Shiau, L.I. and Wu, J.D. 1993. A tribological investigation of physical vapour deposition TiN coatings paired with surface treated steels for machine element applications. **Wear**. 167: 73-83.
- Uglov, V.V., Anishchik, V.M., Zlotski, S.V. and Abadias, G. 2006. The phase composition and stress development in ternary Ti-Zr-N coatings grown by vacuum arc with combining of plasma flow. **Surface and Coatings Technology**. 200: 6389-6394.