# บทที่ 1
# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงผิววัสดุ โดยการเคลือบด้วยฟิล์มบาง (Thin Films) เป็นการปรับปรุงผิววัสดุวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและกำลังได้รับความสนใจจากภาคอุตสาหกรรมและกลุ่มวิจัยต่าง ๆ ในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถนำชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงผิววัสดุแล้วไปใช้งานได้หลายด้าน เช่น การเคลือบแข็ง (Hard Coating) หรือ การเคลือบสวยงาม (Decorative Coating) หรือการเคลือบแสง (Optical Coating) เป็นต้น ทั้งนี้การเคลือบผิววัสดุสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งแต่เดิมอุตสาหกรรมในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการเคลือบด้วยไฟฟ้า (Electroplating) แต่วิธีนี้ใช้สารละลายเคมีในกระบวนการเคลือบ ซึ่งหลังการเคลือบมักมีสารละลายเคมีที่ต้องทิ้งจำนวนมาก ซึ่งนอกจากยากต่อการกำจัดแล้วยังทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (สุรสิงห์ ไชยคุณ, นิรันดร์ วิทิตอนันต์, สกุล ศรีญาณลักษณ์ และจักรพันธ์ ถาวรธิรา, 2540)

จากข้อจำกัดของการเคลือบด้วยไฟฟ้า ทำให้มีการวิจัยและพัฒนาวิธีการเคลือบใหม่ขึ้นมาทดแทน โดยการเคลือบวิธีใหม่ที่ได้รับความสนใจทั้งในด้านการวิจัยและพัฒนาแทนวิธีเดิม คือ การเคลือบในสุญญากาศ (Vacuum Coating) เนื่องจากเป็นการเคลือบที่เกิดในบริเวณสุญญากาศ ไม่ใช้สารละลายเคมีในกระบวนการเคลือบ และที่สำคัญฟิล์มบางหรือชั้นเคลือบที่ได้จากการเคลือบในสุญญากาศยังมีคุณภาพสูงมาก ทำให้การเคลือบในสุญญากาศได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางจากทุกกลุ่ม ทั้งนี้การเคลือบในสุญญากาศ ยังแบ่งเป็นวิธีการต่าง ๆ ได้เป็นอีกหลายวิธี แต่ที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันคือ การเคลือบด้วยวิธีทางฟิสิกส์ หรือ การเคลือบด้วยไอกายภาพ (Physical Vapor Deposition; PVD) เนื่องจากเป็นกระบวนการเคลือบที่มีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมการเกิดฟิล์มบางได้ทั้งในด้านความหนาและองค์ประกอบ อีกทั้งยังสามารถเคลือบผิววัสดุได้หลายประเภท ทั้งโลหะ อโลหะหรือของผสม (พิชยธู ดิ้มสุวรรณ, 2551)

ทั้งนี้การเคลือบด้วยวิธีทางฟิสิกส์ที่ภาคอุตสาหกรรมให้ความสนใจอย่างมากวิธีหนึ่ง คือ การเคลือบด้วยวิธีสปัตเตอริง (Sputtering) ซึ่งเป็นการเคลือบที่เกิดขึ้นภายในห้องเคลือบความดันต่ำ (ประมาณ $10^{-3}$ mbar) โดยอาศัยการดิสชาร์จไฟฟ้าให้แก๊สแตกตัวเป็นไอออน แล้วเร่งให้วิ่งเข้าชนแผ่นเป้าสารเคลือบ (Target) ซึ่งต่ออยู่กับขั้วลบของภาคจ่ายไฟฟ้าแรงสูง อนุภาคของเป้าสารเคลือบที่ถูกชนด้วยไอออนของแก๊สจะหลุดออกมาและวิ่งด้วยความเร็วสูงเข้าชนและพอกพูน (Deposition) เป็นชั้นฟิล์มบางเคลือบบนวัสดุรองรับ (Substrate) ในทุกทิศทาง (Bunshah, 1994)

ทั้งนี้ชั้นเคลือบแข็งที่ได้รับความสนใจ คือ ธาตุกลุ่มทรานซิชันของสารประกอบไนไตรด์ ซึ่งเป็นสารประกอบของธาตุ 2 ชนิด ที่เรียกว่า Binary Nitride Coating หรือ Binary Nitride Hard Coating เช่น ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) ซึ่งมีความเสถียรทั้งด้านเคมี ความร้อน และมีค่าความแข็งประมาณ 20 GPa (Chu, Shum, & Shen, 2006) มีสัมประสิทธิ์การเสียดทานต่ำ ต้านทานการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง และมีสีสวยงาม (Chu et al., 2006) แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า 550 °C ได้ เนื่องจากฟิล์มเกิดออกซิเดชันทำให้ฟิล์มหลุดลอกและเสื่อมสภาพในที่สุด (Buranawong, Witit-Anun, Chaiyakun, Pokaipisit, & Limsuwan, 2011)

การแก้ปัญหาข้อจำกัดดังกล่าวของฟิล์มบางของสารประกอบของธาตุ 2 ชนิด ดังกล่าว แนวทางหนึ่ง คือการเติมอะตอมของธาตุบางชนิดเช่น Al, Cr, Zr เข้าไปในโครงสร้างของฟิล์ม เพื่อทำให้เป็นสารประกอบของธาตุ 3 ชนิดและเรียกฟิล์มชนิดนี้ว่า Ternary Nitride Coating หรือ Ternary Nitride Hard Coating ซึ่งเป็นฟิล์มบางที่มีสมบัติและประสิทธิภาพดีกว่าฟิล์มบางของสารประกอบของธาตุ 2 ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านความแข็งและความสามารถด้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง สำหรับฟิล์มบางแข็งของสารประกอบของธาตุ 3 ชนิดที่น่าสนใจคือ ไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) เนื่องจากเป็นฟิล์มบางหรือชั้นเคลือบแข็งที่มีความเสถียรทั้งทางด้านเคมีและความร้อน มีความแข็งสูงมากประมาณ 35 GPa (Fanghua, Nan, Lun, & Geyang, 2005) ทนการขัดสีและการกัดกร่อนได้ดี ทั้งยังสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงถึง 800 °C ทำให้สามารถใช้งานได้ดีกว่าไทเทเนียมไนไตรด์ (Kim, Lee, & Hahn, 2005)

สำหรับการเตรียมฟิล์มบางของสารประกอบของธาตุ 3 ชนิดของไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ด้วยวิธีสปัตเตอริง อารีรัตน์ สมหวังสกุล (2556) ได้อธิบายว่าสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มที่ใช้เป้าสารเคลือบแบบอัลลอยด์ (Alloy Target) โดยการผสมไทเทเนียมและอะลูมิเนียมในอัตราส่วนที่ต้องการ แล้วขึ้นรูปเป็นเป้าสารเคลือบ วิธีนี้จากใช้เป้าสารเคลือบชุดเดียว แต่มีข้อจำกัดในการแปรค่าอัตราส่วนของสารเคลือบ เพราะต้องทำเป้าสารเคลือบใหม่ทุกครั้งหากต้องการเปลี่ยนอัตราส่วนของสารเคลือบ (2) กลุ่มที่ใช้เป้าสารเคลือบแบบโมเสก (Mosaic Target) โดยใช้อะลูมิเนียมตัดให้มีขนาดต่าง ๆ อัดฝังในเนื้อของไทเทเนียมที่เป็นสารเคลือบหลัก วิธีนี้ใช้เป้าสารเคลือบชุดเดียว แปรค่าอัตราส่วนของสารเคลือบได้สะดวก แต่ยุ่งยากในการทำเป้าสารเคลือบที่มีลักษณะเฉพาะ และ (3) กลุ่มที่ใช้เป้าสารเคลือบแบบร่วม (Co-Target) วิธีนี้เป็นการเคลือบโดยใช้เป้าสารเคลือบของไทเทเนียมและอะลูมิเนียมแยกกันอย่างละหนึ่งชุด ทำให้สามารถควบคุมหรือแปรค่าอัตราส่วนของไทเทเนียมและอะลูมิเนียมในเนื้อฟิล์มที่เตรียมได้ตามที่ต้องการ โดยควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเป้าสารเคลือบแต่ละชุด แต่มีข้อเสียเนื่องจากระบบเคลือบที่จำเป็นต้องมีการจ่ายไฟฟ้าแรงสูงจำนวนสองชุด

ปกติโครงสร้างและสมบัติของฟิล์มที่เคลือบได้มักขึ้นกับเทคนิคและเงื่อนไขการเคลือบเป็นสำคัญ สำหรับฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ มีนักวิจัยหลายกลุ่มให้ความสนใจศึกษาผลของพารามิเตอร์การเคลือบฟิล์มได้แก่ อัตราไหลของแก๊สไนโตรเจน หรือกำลังไฟฟ้าที่มีต่อโครงสร้างของฟิล์ม เช่น Jeong, Hwang, and Lee (2002) ได้เตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ด้วยวิธีรีแอคตีฟสปัตเตอริง เพื่อศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่อโครงสร้างฟิล์ม พบว่าฟิล์มที่เคลือบได้มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ระนาบ (200) เป็น Preferred Orientation เมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนลดลงพบว่าความเข้มรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ระนาบ (200) มีค่าลดลง โดยฟิล์มมีโครงสร้างแบบคอลัมนาร์เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น หรือ Wuhrer and Yeung (2004) ได้เคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ด้วยวิธีรีแอคตีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง เพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการเคลือบ โดยให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (Power Density) ของเป้าไทเทเนียมคงที่ เท่ากับ 0.9 W/ $cm^2$ และแปรค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเป้าอะลูมิเนียมในช่วง 1.5 ถึง 6.0 W/ $cm^2$ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของเป้าอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น เกรนของฟิล์มมีค่าลดลงจาก 210 nm เป็น 90 nm ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนและกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเป้าสารเคลือบซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของการเคลือบนั้น ล้วนมีผลสำคัญต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์มที่เคลือบได้ทั้งสิ้น

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาขั้นตอนการเตรียมสารประกอบไนไตรด์ของธาตุสามชนิดในลักษณะฟิล์มบางของไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ด้วยวิธีรีแอคตีฟโคสปัตเตอริง เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์การเคลือบ ได้แก่ อัตราไหลแก๊สของไนโตรเจน และกำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมที่มีต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางที่เคลือบได้ด้วยเทคนิค XRD, AFM, FE-SEM และ EDX เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำวิจัยต่อไป

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ด้วยวิธีรีแอคตีฟโคสปัตเตอริง

2. เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์การเคลือบต่อโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ทำให้ทราบขั้นตอนและกระบวนการเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ด้วยวิธีรีแอคตีฟโคสปัตเตอริง และทราบลักษณะเฉพาะของฟิล์มที่เคลือบได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD, AFM FE-SEM และ EDX เพื่อนำมาสรุปหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเคลือบต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิจัยต่อไป

## ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเทคนิคขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ด้วยวิธีรีแอคตีฟโคสปัตเตอริง โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาคือ อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน และกำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม ในส่วนการวิเคราะห์เพื่อหาลักษณะเฉพาะของฟิล์ม ใช้เทคนิค XRD เพื่อศึกษาเฟส โครงสร้างผลึก และขนาดผลึก ใช้เทคนิค AFM ศึกษาลักษณะพื้นผิวและความหนา ใช้ FE-SEM ศึกษาโครงสร้างจุลภาค สุดท้ายใช้ EDX ศึกษาองค์ประกอบธาตุของฟิล์มที่เคลือบได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University