บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

บทนี้เป็นการอภิปรายและสรุปผลการศึกษางานวิจัยประกอบด้วย ผลของกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม และผลของอัตราไหลแก๊ส ต่อโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อภิปราย

ผลของกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

ฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ชุดนี้เคลือบบนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนด้วยเทคนิครีแอคตีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง โดยกำหนดให้กระแสไฟฟ้าของเป้าอลูมิเนียมคงที่เท่ากับ 300 mA และแปรค่ากระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเท่ากับ 300 mA, 600 mA และ 900 mA ตามลำดับ ผลการศึกษาโดยสรุปพบว่า เกิดฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ทุกเงื่อนไขการเคลือบ ส่วนนี้เป็นการอภิปรายผลของกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่อโครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา ลักษณะพื้นผิว องค์ประกอบธาตุและโครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์

1. โครงสร้างผลึก

ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่ได้ด้วยเทคนิค XRD พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 36.76^{O}, 42.84^{O}, 62.18^{O} และ 56.50^{O} โดยฟิล์มที่เคลือบได้ มีโครงสร้างผลึกระนาบ (111), (200) และ (220) ตามลำดับ โดยมีระนาบ (200) เป็น Preferred Orientation สอดคล้องกับงานวิจัยของ Musil and Hruby (2000) ที่พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ด้วยวิธีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ มีโครงสร้างผลึกแบบ NaCl (เฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก) พบว่า ที่ระนาบ (200) มีความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สูงสุด แต่ต้องให้ความร้อนแก่วัสดุรองรับขณะเคลือบสูงถึง $400^{O}C$ อย่างไรก็ดีงานวิจัยนี้ สามารถเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่มีความเป็นผลึกได้ โดยไม่ต้องให้พลังงานความร้อนเพิ่มเติมแก่วัสดุรองรับ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ เคลือบด้วยระบบโคสปัตเตอริงแบบอันบาลานซ์ที่มีสนามแม่เหล็กสูง ส่งผลให้อะตอมของสารเคลือบมีพลังงานสูง จึงเกิดฟอร์มตัวเป็นฟิล์มที่มีความเป็นผลึกสูงได้ โดยไม่ต้องให้พลังงานเพิ่ม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากผลของ XRD พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างผลึกแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก เมื่อนำมาคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซพบว่าไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ มีค่าคงที่แลตทิซลดลงเมื่อเทียบกับไทเทเนียมไนไตรด์ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 381420 (4.241 Å) แต่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอลูมิเนียมไนไตรด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 882250 (3.938 Å) เมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นจาก 300 mA เป็น 900 mA แล้วค่าคงที่แลตทิซ ($a = b = c$) ของไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่ระนาบ (200) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.1759 Å เป็น 4.2093 Å เนื่องจากอะตอมของไทเทเนียมมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับอะตอมของอลูมิเนียม และเมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นทำให้อะตอมของสารเคลือบถูกสปัตเตอร์ออกมามากขึ้นทำใหมีโอกาสเข้าไปรวมเป็นไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์มากขึ้น

ส่วนขนาดผลึกของฟิล์ม คำนวณได้จากสมการของ Scherrer พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบด้วยกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นที่ระนาบ (200) พบว่าผลึกมีขนาดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าในช่วง 20.6 nm ถึง 29.9 nm

2. ความหนา และลักษณะพื้นผิว

ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ พิจารณาจากเทคนิค AFM พบว่าความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเปลี่ยนไปตามกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมที่เพิ่มขึ้น โดยผิวหน้าของฟิล์มบางมีเกรนลักษณะเล็กกระจายทั่วผิวหน้าของฟิล์ม และเริ่มเกาะกลุ่มกันมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเมื่อกระแสของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น สำหรับความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มพบว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นจาก 300 mA เป็น 900 mA ฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 67 nm เป็น 262 nm สอดคล้องกับงานวิจัยของ Buranawong, Witit-anun, Chaiyakun, Pokaipisit, and Limsuwan (2011) พบว่า ความหนาของฟิล์มขึ้นอยู่กับความหนาแน่นพลาสมาของไทเทเนียมและอลูมิเนียม จึงสามารถสรุปได้ว่า กระแสไฟฟ้าของเป้าสารเคลือบที่เพิ่มขึ้น ทำให้อะตอมของสารเคลือบหลุดออกมามากขึ้น จึงส่งผลให้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น ในส่วนของความหยาบผิวพบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นจาก 300 mA เป็น 900 mA ความหยาบผิวมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.4 nm เป็น 3.1 nm เนื่องจากเมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น อัตราการสปัตเตอร์ (Sputter Rate) เป้าสารเคลือบเพิ่มขึ้น ทำให้ได้อะตอมของสารเคลือบ (Deposition Atom) เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราเคลือบ (Deposition Rate) สูงขึ้นด้วย ซึ่งสุดท้ายทำให้อะตอมของสารเคลือบตกเคลือบไปบนผิววัสดุอย่างรวดเร็ว จึงส่งผลให้ mobility ของอะตอมสารเคลือบลดลง จึงเกิดการเคลือบในลักษณะสามเหลี่ยมและมีความหยาบผิวมากขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม

องค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ พิจารณาจากเทคนิค EDX พบว่าสัดส่วนขององค์ประกอบของฟิล์มบางเปลี่ยนไปตามกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมที่เพิ่มขึ้นคือ ไทเทเนียมมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นจาก 9.89% เป็น 23.82% ส่วนอลูมิเนียมลดลงจาก 24.20% เป็น 8.77 % ในขณะที่ไนโตรเจนมีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 65.91% - 69.74% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ding-Fwu (1998) พบว่า องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นพลาสมาของไทเทเนียมและอลูมิเนียม จึงสามารถสรุปได้ว่า สัดส่วนขององค์ประกอบของฟิล์ม ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ให้กับเป้าสารเคลือบ

4. โครงสร้างจุลภาคและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่ได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค FE-SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ซึ่งพบว่าโครงสร้างของฟิล์มมีการจัดเรียงตัวเป็นแบบคอลัมนาร์ และเมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น ลักษณะของฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนาและความหยาบผิวมากขึ้น เนื่องจากกระแสไฟฟ้าของเป้าสารเคลือบที่เพิ่มขึ้น ทำให้อะตอมของสารเคลือบหลุดออกมามากขึ้น จึงส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น และทำให้อะตอมของสารเคลือบตกเคลือบไปบนผิววัสดุอย่างรวดเร็ว จึงส่งผลให้ mobility ของอะตอมสารเคลือบลดลง จึงเกิดการเคลือบในลักษณะสามเหลี่ยมและมีความหยาบผิวมากขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

ฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ชุดนี้เคลือบบนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนด้วยเทคนิครีแอคตีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง โดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 4, 6 และ 8 sccm ตามลำดับ ผลการศึกษาโดยสรุปพบว่า เกิดฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ทุกเงื่อนไขการเคลือบ ส่วนนี้เป็นการอภิปรายผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่อโครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา ลักษณะพื้นผิว องค์ประกอบธาตุ และโครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์

1. โครงสร้างผลึก

โครงสร้างผลึกของฟิล์มที่ศึกษา พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 36.76^{o}, 42.84^{o}, 62.16^{o} และ 56.50^{o} โดยฟิล์มบางที่เคลือบได้ มีโครงสร้างผลึกระนาบ (111), (200) และ (220) ตามลำดับ เมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นพบว่า ที่ระนาบ (111) มีความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สูงสุด ความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนมากขึ้น ทำให้มีโอกาสไปรวมกับไทเทเนียมและอลูมิเนียมเป็นไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์มากขึ้น

จากผลของ XRD พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างผลึกแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก เมื่อนำมาคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซพบว่า ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ มีค่าคงที่แลตทิซลดลงเมื่อเทียบกับไทเทเนียมไนไตรด์ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 381420 (4.241 Å) เนื่องจากการแทนที่ของอะตอมอลูมิเนียม ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าไทเทเนียมในโครงของไทเทเนียมไนไตรด์ ทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกลดลง ค่าคงที่แลตทิซจึงลดลง และพบว่าฟิล์มที่เคลือบได้มีค่าคงที่แลตทิซเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอลูมิเนียมไนไตรด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 882250 (3.938 Å) เนื่องจากการแทนที่ของอะตอมไทเทเนียม ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอลูมิเนียมในโครงสร้างของอลูมิเนียมไนไตรด์ ทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกเพิ่มขึ้น ค่าคงที่แลตทิซจึงเพิ่มขึ้น

2. ความหนา และลักษณะพื้นผิว

ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนค่าต่าง ๆ พิจารณาจากเทคนิค AFM พบว่าความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางเปลี่ยนไปตามอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น โดยผิวหน้าของฟิล์มบาง มีเกรนลักษณะปลายแหลมเกาะกลุ่มกันมีขนาดค่อนข้างใหญ่ทั่วผิวหน้าของฟิล์ม และมีขนาดเล็กลงสม่ำเสมอใกล้เคียงกันเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น สำหรับความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มพบว่า เมื่อเคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 4 sccm ถึง 8 sccm ฟิล์มบาง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่เคลือบได้มีความหนาและความหยาบผิวลดลงจาก 329 nm เป็น 262 nm และ 5.8 nm เป็น 3.2 nm ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fanghua, Nan, Lun, and Gayang (2005) พบว่าความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มลดลงตามความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น เมื่อแก๊สไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราเคลือบของไทเทเนียมและอลูมิเนียมเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงไอออนของอาร์กอนและไอออนของไนโตรเจน ส่งผลให้อัตราการสปัตเตอร์ลดลง เนื่องจากที่แก๊สไนโตรเจนสูง ๆ จะเกิดสารประกอบไนไตรด์ที่หน้าเป้าสารเคลือบ หรือที่เรียกว่าปรากฏการณ์ poisoning ทำให้เป้าถูกสปัตเตอร์ได้ยากขึ้น ส่งผลให้อะตอมของสารเคลือบตกลงบนวัสดุรองรับน้อยลง ทำให้ฟิล์มมีความหนาลดลง จากการศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน พบว่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนมีผลต่อโครงสร้างและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fanghua et al. (2005) ที่พบว่าโครงสร้างและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเปลี่ยนตามความดันย่อยแก๊สไนโตรเจน

3. องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม

องค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น พิจารณาจากเทคนิค EDX พบว่าสัดส่วนขององค์ประกอบธาตุฟิล์มบางไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในการเคลือบโดย ไทเทเนียม อลูมิเนียม และไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 22.91%-25.69%, 8.77%-9.88% และ 64.43%-67.41% ตามลำดับ เนื่องจากอัตราการเคลือบฟิล์มค่อนข้างคงที่ จึงสามารถสรุปได้ว่า อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สรุปผลการทดลอง

1. ฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ มีโครงสร้างผลึกแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมมีผลต่อโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์

2. ความหนาและความหยาบผิวฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมมีผลต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์

3. องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม พบว่าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม และอลูมิเนียมลดลง ส่วนไนโตรเจนมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ากระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมมีผลต่อองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์

4. โครงสร้างของชั้นฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์มีการจัดเรียงตัวแบบคอลัมนาร์

5. ฟิล์มไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนค่าต่าง ๆ พบว่ามีโครงสร้างผลึกแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น โดยพบว่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนมีผลต่อโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์

6. ความหนาและความหยาบผิวฟิล์มลดลงเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น โดยพบว่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนมีผลต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์

7. องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม พบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่เมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่า องค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ไม่ขึ้นกับอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในการเคลือบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University