บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

บทนี้เป็นการอภิปรายและสรุปผลการศึกษางานวิจัยประกอบด้วย ผลของกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม และผลของเวลาในการเคลือบ ต่อโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อภิปราย

ผลของกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

ฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ชุดนี้เคลือบบนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอน ด้วยเทคนิครีแอคตีฟโคสปัตเตอริง โดยกำหนดให้กระแสไฟฟ้าของเป้าเซอร์โคเนียมคงที่เท่ากับ 0.6 A และแปรค่ากระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเท่ากับ 0.6 A, 0.8 A และ 1.0 A ตามลำดับ ผลการศึกษาโดยสรุปพบว่า เกิดฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ทุกเงื่อนไขการเคลือบ ส่วนนี้เป็นการอภิปรายผลของกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่อโครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา ลักษณะพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์

1. โครงสร้างผลึก

โครงสร้างผลึกของฟิล์มที่ศึกษา พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 36.38^{o}, 42.16^{o}, 61.26^{o}, 73.34^{o} และ 56.50^{o} โดยฟิล์มบางที่เคลือบได้ มีโครงสร้างผลึกระนาบ (111), (200), (220) และ (311) ตามลำดับ เมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น พบว่าที่ระนาบ (200) มีความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Takeyama, Itoi, Aoyagi, and Noya (2003) ที่พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เคลือบบนแผ่นซิลิกอน ด้วยวิธีรีแอคตีฟสปัตเตอริง มีโครงสร้างผลึกแบบ NaCl (เฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก) พบว่า ที่ระนาบ (200) มีความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สูงสุด แต่ต้องให้พลังงานขณะเคลือบแก่วัสดุรองรับ $400^{o}C$ อย่างไรก็ดีงานวิจัยนี้พบว่า สามารถเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่มีความเป็นผลึกได้ โดยไม่ต้องเพิ่มพลังงานให้แก่วัสดุรองรับ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ เคลือบด้วยระบบโคสปัตเตอริง ซึ่งสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าและพลังงานของอะตอมสารเคลือบที่หลุดออกมาได้ เมื่ออะตอมสารเคลือบมีพลังงานสูงพอ จึงเกิดฟอร์มตัวเป็นฟิล์มที่มีความเป็นผลึกสูงได้ โดยไม่ต้องให้พลังงานเพิ่ม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากผลของ XRD พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างผลึกแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก เมื่อนำมาคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซพบว่าไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ มีค่าคงที่แลตทิซเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไทเทเนียมไนไตรด์ตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 381420 (4.241 Å) แต่ลดลงเมื่อเทียบกับเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 311493 (4.574 Å) เมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นจาก 0.6 A เป็น 1.0 A แล้วค่าคงที่แลตทิซ ($a = b = c$) ของไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ มีค่าลดลงจาก 4.303 Å เป็น 4.283 Å สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramana, Kumar, David, and Raju (2004) ที่พบว่าค่าคงที่แลตทิซของเซอร์โคเนียมไทเทเนียมไนไตรด์ มีค่าอยู่ในช่วง 4.34 Å ถึง 4.30 Å เนื่องจาก เมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น ทำให้พลาสมาของไทเทเนียมมากขึ้น อะตอมเซอร์โคเนียมที่เข้าไปแทนที่อะตอมไทเทเนียมได้น้อยลง ค่าคงที่แลตทิซจึงลดลง

ส่วนขนาดผลึกของฟิล์มบาง คำนวณได้จาก Scherrer equation ซึ่งพบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เคลือบด้วยกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น พบว่าผลึกมีขนาดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าในช่วง 18.6 nm ถึง 24.7 nm

2. ความหนา และลักษณะพื้นผิว

ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ พิจารณาจากเทคนิค AFM พบว่าความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเปลี่ยนไปตามกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมที่เพิ่มขึ้น โดยผิวหน้าของฟิล์มบาง มีเกรนลักษณะเล็กแหลมขนาดสม่ำเสมอใกล้เคียงกันกระจายทั่วผิวหน้าของฟิล์มเช่นเดียวกันทุกเงื่อนไข สำหรับความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มพบว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นจาก 0.6 A เป็น 1.0 A ฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนาและความหยาบผิวเพิ่มขึ้นจาก 347 nm เป็น 567 nm และ 2.7 nm เป็น 6.4 nm ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Uglov, Anishchik, Zlotski, and Abadias (2006) พบว่า ความหนาของฟิล์มขึ้นอยู่กับความหนาแน่นพลาสมาของไทเทเนียมและเซอร์โคเนียม จึงสามารถสรุปได้ว่า กระแสไฟฟ้าของเป้าสารเคลือบที่เพิ่มขึ้น ทำให้อะตอมของสารเคลือบหลุดออกมามากขึ้น จึงส่งผลให้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกัน ระยะทางการเคลื่อนที่ของสารเคลือบที่วิ่งลงมาบนวัสดุรองรับลดลง จึงส่งผลให้ mobility ของอะตอมสารเคลือบลดลง จึงเกิดการทับถมในลักษณะสามเหลี่ยมและมีความหยาบผิวมากขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม

องค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ พิจารณาจากเทคนิค EDX พบว่าสัดส่วนขององค์ประกอบของฟิล์มบางเปลี่ยนไปตามกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมที่เพิ่มขึ้นคือ ไทเทเนียมและไนโตรเจนมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นจาก 14.4% เป็น 16.6% และ 43.4% เป็น 56.8% ตามลำดับ ขณะที่สัดส่วนของเซอร์โคเนียมลดลงจาก 41.8% เป็น 21.3 % สอดคล้องกับงานวิจัยของ Uglov, Anishchik, Zlotski, Abadias, and Dub (2008) พบว่า องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นพลาสมาของไทเทเนียมและเซอร์โคเนียม จึงสามารถสรุปได้ว่า สัดส่วนขององค์ประกอบของฟิล์ม ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ให้กับเป้าสารเคลือบ

ผลของเวลาในการเคลือบ

ฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ชุดนี้เคลือบบนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนด้วยเทคนิครีแอคตีฟโคสปัตเตอริง โดยแปรค่าเวลาในการเคลือบเท่ากับ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ ผลการศึกษาโดยสรุปพบว่า เกิดฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ทุกเงื่อนไขการเคลือบ ส่วนนี้เป็นการอภิปรายผลของความหนาต่อโครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา ลักษณะพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์

1. โครงสร้างผลึก

โครงสร้างผลึกของฟิล์มที่ศึกษา พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 36.38^{o}, 42.16^{o}, 61.26^{o}, 73.34^{o} และ 56.50^{o} โดยฟิล์มบางที่เคลือบได้ มีโครงสร้างผลึกระนาบ (111), (200), (220) และ (311) ตามลำดับ เมื่อเคลือบด้วยเวลานานขึ้นพบว่า ที่ระนาบ (200) มีความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Buranawong, Witit-anun, Chaiyakun, Pokaipisit, and Limsuwan (2011) พบว่าความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้นตามเวลาในการเคลือบ เนื่องจากอะตอมของสารเคลือบมีพลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้อะตอมมี mobility ในการฟอร์มตัวเป็นผลึกมากขึ้นด้วย

จากผลของ XRD พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างผลึกแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก เมื่อนำมาคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซพบว่า ไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ มีค่าคงที่แลตทิซเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไทเทเนียมไนไตรด์ตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 381420 (4.241 Å) เนื่องจากการแทนที่ของอะตอมเซอร์โคเนียม ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าไทเทเนียมในโครงของไทเทเนียมไนไตรด์ ทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกเพิ่มขึ้น ค่าคงที่แลตทิซจึงเพิ่มขึ้น และพบว่าฟิล์มที่เคลือบได้มีค่าคงที่แลตทิซลดลงเมื่อเทียบกับเซอร์โคเนียม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ไนไตรด์ ตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 311493 (4.574 Å) เนื่องจากการแทนที่ของอะตอมไทเทเนียม ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเซอร์โคเนียมในโครงสร้างของเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกลดลง ค่าคงที่แลตทิซจึงลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มที่เคลือบได้ มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 4.262 Å ถึง 4.283 Å เนื่องจากอัตราการสปัตเตอร์ของเป้าสารเคลือบค่อนข้างคงที่ จึงส่งผลให้ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มที่เคลือบได้มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน

2. ความหนา และลักษณะพื้นผิว

ความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์เคลือบที่เวลาต่าง ๆ พิจารณาจากเทคนิค AFM พบว่าความหนาและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางเปลี่ยนไปตามเวลาในการเคลือบที่เพิ่มขึ้น โดยผิวหน้าของฟิล์มบาง มีเกรนลักษณะเล็กแหลมขนาดสม่ำเสมอใกล้เคียงกันกระจายทั่วผิวหน้าของฟิล์มเช่นเดียวกันทุกเงื่อนไข สำหรับความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มพบว่า เมื่อเคลือบด้วยเวลานานขึ้นจาก 15 นาที ถึง 60 นาที ฟิล์มบางที่เคลือบได้มีความหนาและความหยาบผิวเพิ่มขึ้นจาก 170 nm เป็น 567 nm และ 1.9 nm เป็น 6.5 nm ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Buranawong et al. (2011) พบว่าความหนาและความหยาบผิวฟิล์มเพิ่มขึ้นตามเวลาในการเคลือบ เป็นไปตามทฤษฎีการเกิดฟิล์มคือ เมื่อใช้เวลาในการเคลือบนานขึ้น ทำให้อะตอมของสารเคลือบตกลงบนวัสดุรองรับเพิ่มมากขึ้น ทำให้ฟิล์มมีความหนามากขึ้น

จากการศึกษาผลของเวลาในการเคลือบ พบว่าเวลาในการเคลือบมีผลต่อโครงสร้างและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Buranawong et al. (2011) ที่พบว่าโครงสร้างและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเปลี่ยนตามความหนาที่เพิ่มขึ้น

3. องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม

องค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบด้วยเวลานานขึ้น พิจารณาจากเทคนิค EDX พบว่าสัดส่วนขององค์ประกอบธาตุฟิล์มบาง ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในการเคลือบโดย ไทเทเนียม เซอร์โคเนียม และไนโตรเจนมีค่าประมาณ 16% 26% และ 58% ตามลำดับ เนื่องจากอัตราการเคลือบฟิล์มค่อนข้างคงที่ จึงสามารถสรุปได้ว่าความหนาฟิล์มไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สรุปผล

1. ฟิล์มไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ มีโครงสร้างผลึกแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมมีผลต่อโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์

2. ความหนาและความหยาบผิวฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมมีผลต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์

3. องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม พบว่าไทเทเนียมและไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม และเซอร์โคเนียมลดลง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมมีผลต่อองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์

4. ฟิล์มไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ที่เวลาในการเคลือบต่าง ๆ พบว่ามีโครงสร้างผลึกแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น โดยพบว่าความหนามีผลต่อโครงสร้างของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์

5. ความหนาและความหยาบผิวฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการเคลือบมากขึ้น โดยพบว่าเวลาในการเคลือบมีผลต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์

6. องค์ประกอบธาตุของฟิล์ม พบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาในการเคลือบเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่า องค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ไม่ขึ้นกับเวลาในการเคลือบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University