

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

การทดลองเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี สเปคเตอริง ที่เคลือบบนซิลิกอน เวเฟอร์ และกระจกสไลด์ เพื่อศึกษาโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์ม ที่เคลือบได้ ภายใต้ตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจน เวลาที่ใช้ในการเคลือบ และอุณหภูมิอบอ่อน มีผลดังนี้

อภิปราย

1. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

เงื่อนไขสำคัญสำหรับการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ คืออัตราส่วนของแก๊ส อาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนเป็น 1 sccm และทำการเปลี่ยนอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเป็น 2, 4 และ 8 sccm โดยทำการ เคลือบฟิล์มด้วยกำลังไฟฟ้า 120 watt เป็นเวลา 180 min ที่อุณหภูมิห้อง จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 1:4 เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง ไททาเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากอัตราส่วนนี้สามารถสร้าง โกลว์ดีสชาร์จได้ แล้วเกิดฟิล์มบางบน วัสดุรองรับที่มีลักษณะใส รวมถึงสามารถอ่านค่าความดันรวมได้

เมื่อนำฟิล์มบางที่เคลือบได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่า ฟิล์มบางที่เคลือบที่ อุณหภูมิห้องมีโครงสร้างผลึกแบบบอตันฐาน แต่มีแนวโน้มที่จะเป็นผลึกเนื่องจากรูปแบบ การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรวจวัดได้ มีลักษณะเป็น โคมคล้ายพีคที่เป็นพีคของไททาเนียม ไดออกไซด์เฟสรูไทล์ ทั้งนี้เพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้ จึงนำฟิล์มที่เคลือบได้ไปอบอ่อนที่ อุณหภูมิ 500 °C นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD อีกครั้งพบว่าฟิล์มบาง แสดงความเป็นผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์อย่างชัดเจน ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ Tavares et al. (2007) ที่เคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี สเปคเตอริง แล้วได้ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบบอตันฐาน แต่เมื่อนำฟิล์มไปอบอ่อน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่ทดลองจะมีการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเฟสอนาเทสและรูไทล์ ตามลำดับ แต่สิ่งที่สอดคล้องกันคือเมื่อทำการอบอ่อนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์จะทำให้ ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีความเป็นผลึกสูงขึ้น

2. การหาอัตราเคลือบของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

ในการทดลองเพื่อหาอัตราเคลือบของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์นี้กำหนดให้ อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 1:4 sccm ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับ

การเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ของงานวิจัยนี้ ทำการเคลือบฟิล์มบนซิลิกอนเวเฟอร์ โดยใช้กำลังไฟฟ้า 200 watt เป็นเวลา 60, 120, 240, 360 และ 480 min ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ไปวัดความหนาด้วยเทคนิค AFM

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้เวลาในการเคลือบเพิ่มมากขึ้นฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้ จะมีความหนาเพิ่มขึ้น เมื่อนำค่าความหนาของฟิล์มกับเวลาที่ใช้ในการเคลือบมาเขียนกราฟความสัมพันธ์พบว่า ความหนาของฟิล์มและเวลาที่ใช้ในการเคลือบมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น ทั้งนี้จากกราฟสามารถหาค่าอัตราเคลือบที่เงื่อนไขดังกล่าวได้ ซึ่งอัตราเคลือบสำหรับการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.74 nm/min

3. ผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์
สิ่งที่มีผลต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ นอกจากอัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนและแก๊สออกซิเจนแล้ว การให้ความร้อนแก่ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ภายหลังการเคลือบก็ส่งผลอย่างมากต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์ม การทดลองนี้กำหนดให้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 1:4 sccm ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ของงานวิจัยนี้ ทำการเคลือบฟิล์มบนซิลิกอนเวเฟอร์ โดยใช้กำลังไฟฟ้า 200 watt เป็นเวลา 360 min ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400 และ 500 °C จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

จากผลการทดลองพบว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบที่อุณหภูมิห้องมีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ไม่แสดงพีกที่ชัดเจน มีลักษณะเป็นโดม แต่เมื่อทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400 และ 500 °C พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แสดงความเป็นพีกที่เด่นชัดขึ้น แสดงว่าโครงสร้างของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีการจัดเรียงตัวของผลึกดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ben Amor et al. (2002) ได้กล่าวถึงผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ไว้ว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อผ่านการอบอ่อน จะทำให้ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์มีการจัดเรียงตัวของผลึกดีขึ้น

4. ผลของอุณหภูมิต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์
นอกจากการอบอ่อนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์จะส่งผลต่อการจัดเรียงตัวของผลึกแล้ว ยังส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์อีกด้วย จากการศึกษาของงานวิจัยของ Li et al. (2000) พบว่า ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อน ขนาดของเกรนมีขนาดใหญ่เมื่ออุณหภูมิต่อสูงขึ้น

ในการทดลองนี้กำหนดให้อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 1:4 sccm ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ของงานวิจัยนี้

ทำการเคลือบบนซิลิกอนเวเฟอร์โดยใช้กำลังไฟฟ้า 200 watt เป็นเวลา 360 min ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400 และ 500 °C และนำไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค AFM เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

จากการทดลองพบว่าเกรนมีขนาดเล็กลงเมื่ออบอ่อนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 100 °C ถึงอุณหภูมิ 300 °C และขนาดใหญ่ขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบอ่อนเพิ่มเป็น 400 และ 500 °C ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Hou et al. (2003) ซึ่งได้ทำการวิจัยเรื่องผลของอุณหภูมิการอบอ่อนที่มีต่อสมบัติของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ และอธิบายผลไว้ว่า เมื่ออุณหภูมิการอบอ่อนเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากเกรนที่มีขนาดเล็กเมื่อได้รับพลังงานจะทำให้เกรนขนาดเล็กเกิดการหลอมรวมเข้าด้วยกัน ทำให้ขนาดของเกรนใหญ่ขึ้น

ส่วนความขรุขระของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า เมื่อทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C ถึงอุณหภูมิ 300 °C ความขรุขระมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มเป็น 400 และ 500 °C ซึ่งดูความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเกรนกับความขรุขระพบว่าเมื่อขนาดของเกรนเล็กลงทำให้ความขรุขระเพิ่มขึ้น และถ้าขนาดของเกรนใหญ่ขึ้นจะทำให้ความขรุขระลดลง

5. ผลของอุณหภูมิอบอ่อนที่มีต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

นอกจากอุณหภูมิอบอ่อนจะส่งผลโครงสร้างผลึกและลักษณะพื้นผิวแล้ว อุณหภูมิอบอ่อนยังส่งผลต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มด้วยเช่นกัน ซึ่งสิ่งที่บอกลถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงคือค่าคงที่ทางแสง ได้แก่ ดัชนีหักเหและสัมประสิทธิ์การดับสูญ

การทดลองนี้กำหนดให้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 1: 4 sccm ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ของงานวิจัยนี้ จากนั้นเคลือบฟิล์มบนกระจกสไลด์โดยใช้กำลังไฟฟ้า 200 watt เป็นเวลา 360 min ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400 และ 500 °C และนำไปวัดค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสง ซึ่งเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงนี้สามารถนำไปหาค่าดัชนีหักเหและสัมประสิทธิ์การดับสูญได้ ด้วยวิธี Envelope

จากการทดลองพบว่า ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบที่อุณหภูมิห้องมีลักษณะใสในช่วงอัลตราไวโอเล็ตจะมีเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงต่ำ (น้อยกว่า 1%) และมีค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงมากขึ้นในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นเท่ากับ 76.09 % เมื่อนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ไปอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ฟิล์มบางยังคงให้เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ตต่ำเหมือนกับ

ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ไม่ได้ผ่านการอบอ่อน แต่เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นมีค่าสูงขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงมีค่าลดลง ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงยังคงมีค่ามากกว่า 70%

เมื่อนำเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงมาคำนวณด้วยวิธี Envelope พบว่า ดัชนีหักเหมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มขึ้น ส่วนสัมประสิทธิ์การดับสูญมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hou et al. (2003) ที่กล่าวว่าดัชนีหักเหจะมีค่าเพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์การดับสูญมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มขึ้น

สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี สเปคเตอร์ริง โดยเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์บนซิลิกอนเวเฟอร์และกระจกสไลด์ ภายใต้เงื่อนไขการเคลือบต่าง ๆ รวมถึงการอบอ่อนฟิล์มเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึก ลักษณะพื้นผิว และสมบัติทางแสงด้วย ซึ่งสามารถสรุปผลโดยแสดงเป็นหัวข้อดังนี้

1. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

จากการทดลองการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์พบว่า อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์คือที่อัตราส่วน 1:4 sccm เนื่องจากที่อัตราส่วนนี้สามารถสร้างโกล์วดีสชาร์จได้ เกิดฟิล์มบางบนวัสดุรองรับที่มีลักษณะใส รวมถึงสามารถอ่านค่าความดันรวมได้ เมื่อนำฟิล์มบางที่เคลือบได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่า ฟิล์มบางที่เคลือบที่อุณหภูมิห้องมีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบเพิ่มเติมได้นำฟิล์มบางที่เคลือบได้ไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 500 °C พบว่า ฟิล์มบางแสดงความเป็นผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ ระนาบ (110), (101), (111) และ (211) อย่างชัดเจน

2. การหาอัตราเคลือบของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

จากการทดลองการหาอัตราเคลือบของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้เคลือบเพิ่มขึ้นความหนาฟิล์มบางจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฟิล์มกับเวลาในการเคลือบซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถหาอัตราเคลือบได้เท่ากับ 0.74 nm/ min

3. ผลของอุณหภูมิอบอ่อนที่มีต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอบอ่อนที่มีต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีรูปแบบ

การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่แสดงความเป็นฟิสิกได้เด่นชัด โดยพิกที่พบคือพิกที่มุม 27.5, 36.1, 41.3 และ 54.4 องศา เมื่อเปรียบเทียบกับพิกมาตรฐาน JCPDS พบว่า เป็นมุมของฟิล์มบางไททาเนียม

ไดออกไซด์เฟสรูไทล์ระนาบ (110), (101), (111) และ (211) ตามลำดับ

4. ผลของอุณหภูมิอบอ่อนที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอบอ่อนที่มีต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าลักษณะของเกรนมีขนาดเล็กลงเมื่ออบอ่อนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 100 °C ถึงอุณหภูมิ 300 °C และมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบอ่อนเพิ่มเป็น 400 และ 500 °C ส่วนความขรุขระของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า เมื่อทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C ถึงอุณหภูมิ 300 °C ความขรุขระมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มเป็น 400 และ 500 °C

5. ผลของอุณหภูมิอบอ่อนที่มีต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้มีลักษณะใส ส่องผ่านแสงได้ในช่วงตามองเห็น โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็นเท่ากับ 76.09 % เมื่อนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ไปอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มขึ้น ส่วนสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มขึ้น