

บทที่ 6

สรุป

ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบสร้างระบบเคลือบฟิล์มบางแบบดีซีแมกนีตรอนสเปคโตรริง ซึ่งประกอบด้วย แหล่งกำเนิดการสเปคโตรริงแบบดีซีแมกนีตรอนระนาบวงกลมที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ แทนวางวัสดุรองรับที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสตรงโวลท์สูงที่มีวงจรจำกัดกระแสสำหรับควบคุมการจ่ายกระแส และระบบปั๊มสุญญากาศ ที่ประกอบด้วยปั๊มแบบโรตารีและปั๊มแพร่ไอน้ำมันพร้อมด้วยกัปดักไนโตรเจนเหลว โดยหัวใจ สำคัญในการออกแบบและพัฒนาระบบจะอยู่ที่แหล่งกำเนิดการสเปคโตรริง และวงจรจำกัดกระแส ซึ่งผลของการศึกษาวิจัยก็คือ สามารถสร้างแหล่งกำเนิดสเปคโตรริงแบบที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง ของโลหะทั่วไปได้ และสามารถสร้างเครื่องจำกัดกระแสที่สามารถควบคุมการทำงานของระบบ ดิสชาร์จได้เป็นอย่างดี

ระบบเคลือบฟิล์มที่สร้างขึ้น ได้นำไปใช้ในการศึกษาวิจัยใน 3 หัวข้อใหญ่ๆ คือ การ ศึกษาลักษณะส่อของกระแสและความต่างศักย์ของการดิสชาร์จภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก การศึกษาการเตรียมฟิล์มบางของโลหะโมลิบดีนัม และการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางของโลหะ ผลระหว่างทองแดงกับอินเดียม

ในการศึกษาลักษณะส่อของกระแสและความต่างศักย์ของการดิสชาร์จภายใต้อิทธิพล ของสนามแม่เหล็ก โดยการสังเกตในการทดลองสร้างการดิสชาร์จพบว่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ที่ผิวเป่ามีอิทธิพลต่อสมบัติการดิสชาร์จอย่างมาก การเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กจะส่งผล ในการลดความต่างศักย์พังทลายซึ่งใช้กระตุ้นเพื่อสร้างการดิสชาร์จที่ความดันกาซคงที่ ส่งผลให้ สามารถขยายขอบเขตความดันกาซสำหรับการดิสชาร์จให้ต่ำลงโดยกระแสการดิสชาร์จยังเท่าเดิม และส่งผลให้สามารถขยายช่วงกระแสของการดิสชาร์จให้กว้างขึ้นที่ความดันกาซคงที่ นอกจากนี้ ในการวัดลักษณะส่อของกระแสและความต่างศักย์เพื่อเปรียบเทียบกับสมการทางทฤษฎีได้พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กขณะเกิดการดิสชาร์จสามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะ ส่อของการดิสชาร์จได้ เช่น การลดความเข้มสนามแม่เหล็กทำให้ความต่างศักย์ของการดิสชาร์จ เพิ่มขึ้นขณะที่ความดันกาซและกระแสการดิสชาร์จคงที่ เป็นต้น ผลจากการสังเกตเหล่านี้ให้

ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติ คือ ทำให้รู้เทคนิคการปรับเปลี่ยนหรือควบคุมสถานะการดิสซาร์จเมื่อนำระบบไปใช้ในการเคลือบฟิล์ม

จากการเปรียบเทียบลักษณะส่อของกระแสและความต่างศักย์ของการดิสซาร์จกับสมการทางทฤษฎี คือ $I = \beta(V - V_0)^2$ พบว่าลักษณะส่อของการดิสซาร์จที่ความเข้มข้นแม่เหล็กคงที่ จะมีความสอดคล้องกับทางทฤษฎีในช่วงความดันก๊าซที่จำกัด โดยจะปรากฏการเบี่ยงเบนจากสมการทางทฤษฎีเมื่อความดันก๊าซอยู่ในย่านขอบเขตล่างของการลดความดัน และที่ความดันก๊าซสูง ซึ่งการเบี่ยงเบนทั้งสองกรณีมีลักษณะแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยกรณีแรกจะเบี่ยงเบนจากสมการที่ทำนายโดยทฤษฎีเมื่อกระแสการดิสซาร์จสูงเกินขอบเขตอันหนึ่ง ส่วนกรณีหลังจะเบี่ยงเบนจากทฤษฎีในช่วงที่กระแสการดิสซาร์จต่ำไกลๆ กับค่าต่ำสุดของการรักษาสภาพการดิสซาร์จ ซึ่งผลที่สังเกตเห็นนี้ยังไม่ได้มีการศึกษาเพื่ออธิบายกลไกที่ชัดเจนในงานวิจัยนี้

ในการศึกษาการเตรียมฟิล์มบางของโลหะโมลิบดีนัม พบว่าสมบัติของฟิล์มบางที่ได้จะขึ้นกับความต่างศักย์และความดันก๊าซอาร์กอนขณะเคลือบฟิล์มมาก ที่ความต่างศักย์ของการดิสซาร์จต่ำกว่า 450 โวลท์ ฟิล์มบางที่ได้จะเกิดการลอกและไม่เกาะกับวัสดุรองรับ ฟิล์มซึ่งเตรียมที่ความดันสูงกว่า 50 มิลลิทอร์ร์ จะมีสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงและมีแนวโน้มโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน ส่วนฟิล์มซึ่งเตรียมที่ความดันต่ำลงจะมีสภาพต้านทานไฟฟ้าลดลงเข้าใกล้ค่าของโมลิบดีนัมแบบ Bulk โดยอยู่ในระดับขนาด 20 ไมโครโอห์มเซนติเมตร ที่ความดัน 10 มิลลิทอร์ร์ และมีโครงสร้างผลึกที่สมบูรณ์ขึ้น โดยจะเป็นผลึกพหุเกรนละเอียดที่มีการจัดเรียงตัวโดยหันระนาบ(110) ขนานกับระนาบของวัสดุรองรับ ซึ่งฟิล์มบางโมลิบดีนัมที่มีคุณภาพดี คือผิวเรียบ เกาะแน่นกับวัสดุรองรับดี และมีสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ สามารถได้จากการเตรียมที่อุณหภูมิวัสดุรองรับ 100 °C ที่ความดันก๊าซอาร์กอนต่ำกว่า 30 มิลลิทอร์ร์ และความต่างศักย์สูงกว่า 450 โวลท์

การศึกษาในส่วนสุดท้ายของงานวิจัยนี้ คือการทดลองเตรียมฟิล์มบางของโลหะผสมระหว่างทองแดงกับอินเดียม จากเป้าของการสเปคเตอร์ที่ประกอบด้วยโลหะทั้งสองชนิดนี้บนเป้าเดียวกัน โดยการใช้สัดส่วนของอินเดียมบนพื้นที่ยังผลของการสเปคเตอร์บนเป้าเป็น 22, 38, และ 63 เปอร์เซ็นต์ พบว่าภายใต้เงื่อนไขการสเปคเตอร์เดียวกันฟิล์มที่ได้ทั้งหมดเป็นโลหะผสมที่อยู่ในรูปเฟสอัลฟาของทองแดงซึ่งจะมีปริมาณของอินเดียมในเนื้อฟิล์มไม่เกิน 13 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าแนวทางการเตรียมฟิล์มบางของโลหะผสมระหว่างทองแดงกับอินเดียมตามวิธีที่ปฏิบัติในงานวิจัยนี้ ไม่น่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมฟิล์มบางของโลหะผสมของทองแดงกับอินเดียมที่จะนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการซีลิไนด์เซชัน เพื่อผลิตฟิล์มบางของ



สารประกอบคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ซึ่งต้องการอัตราส่วนของทองแดงต่ออินเดียมในฟิล์มสูงถึงระดับ 1:1 อย่างไรก็ตามในส่วนของการพัฒนาวิธีการเคลือบฟิล์มบางส่วนนี้ ทางหน่วยวิจัย SPRL ก็ได้มีการศึกษาในแนวทางอื่นด้วย คือ ใช้วิธีการสเปคเตอร์เป่าทองแดงและอินเดียมแบบแยกส่วน โดยเคลือบให้อยู่ในรูปซ้อนกันเป็นชั้น(bilayer) ซึ่งจะสามารถกำหนดปริมาณของสารแต่ละชนิดในเนื้อฟิล์มได้โดยตรง

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. จากความรู้เชิงเทคนิคที่ได้จากการศึกษาการทำงานจากระบบเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสเปคโตริงที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้เพื่อเรียนรู้และใช้งานระบบการสเปคโตริงที่ทางกลุ่มวิจัย SPRL ได้จัดซื้อจากบริษัท Balzers ได้อย่างมีประสิทธิภาพในเวลาอันรวดเร็ว
2. ฟิล์มบางโมลิบดีนัมที่ได้จากการเตรียมในระบบที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้เป็นตัวสุรรองรับในการเตรียมสารประกอบคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง และได้ฟิล์มของคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ที่มีสมบัติเช่นเดียวกับเมื่อใช้ฟิล์มบางโมลิบดีนัมที่เตรียมโดยระบบ Balzers
3. ได้เรียนรู้เทคนิคที่สามารถนำไปพัฒนาระบบเคลือบฟิล์มบางแบบดีซีแมกนีตรอนขึ้นใช้เอง เช่น เทคนิคการออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดการสเปคโตริง เทคนิคการควบคุมการติสซาร์จโดยการเพิ่มวงจรจำกัดกระแสกับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เทคนิคการเลือกแม่เหล็กที่มีขนาดและความเข้มแม่เหล็ก รวมทั้งการจัดแนวเส้นแรงที่เหมาะสม เป็นต้น
4. ระบบเคลือบฟิล์มบางที่สร้างขึ้นจะสามารถใช้สนับสนุนทั้งงานวิจัยและงานด้านการเรียนการสอนได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับลักษณะสัณฐานและความต่างศักย์ของระบบได้ผลที่น่าสนใจ คือ สมการทางทฤษฎีที่นำมาใช้ยังไม่สามารถใช้อธิบายผลการทดลองได้ครอบคลุมทั้งหมด แสดงว่าสมมติฐานที่ตั้งขึ้นในการพิสูจน์หาความสัมพันธ์ของสมการทางทฤษฎียังไม่เพียงพอ การเพิ่มเงื่อนไขที่ใกล้เคียงกับระบบที่ใช้งานจริงมากขึ้น เช่น การลดลงของความเข้มสนามแม่เหล็กตามระยะทางที่ห่างจากผิวเป้า ควรจะเป็นหัวข้อในการศึกษาวิจัยต่อไป