



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องเคลือบฟิล์มบางบนผิวชิ้นงานภายใต้ความดันสุญญากาศ โดย
ใช้ไมโครเวฟพลาสมา

Development of surface thin film coating system under vacuum pressure
by microwave plasma

โดย

ชูพงษ์ ภาควงษ์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2559



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การพัฒนาเครื่องเคลือบฟิล์มบางบนผิวชิ้นงานภายใต้ความดันสุญญากาศ โดยใช้
ไมโครเวฟพลาสมา

Development of surface thin film coating system under vacuum pressure by
microwave plasma

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2558

จำนวน 117,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

นายชูพงษ์ ภาคภูมิ

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

29 /มิ.ย./2559

สารบัญ

	หน้า
สารบัญภาพ	ข
สารบัญตาราง	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนิยม	3
บทนำ	4
วัตถุประสงค์	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	8
ผลการวิจัย	10
สรุปผลการวิจัย	22
ข้อเสนอแนะ	22
เอกสารอ้างอิง	23
ภาคผนวก (การนำเสนอผลงานทางวิชาการ)	25

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบของเครื่องเคลือบแบบ ICP plasma	6
รูปที่ 2 แสดงตัวอย่าง TEG chip เทียบกับเหรียญ	8
รูปที่ 3 แสดงห้องสุญญากาศ	11
รูปที่ 4 แสดงภายนอกของเครื่องปลูกฟิล์มบางที่ได้พัฒนาขึ้น	12
รูปที่ 5 แสดงพลาสมาของอากาศ(สีชมพูเข้ม) ที่เกิดภายในห้องสุญญากาศ	12
รูปที่ 6 แสดงภาพการแตกของห้องสุญญากาศ	13
รูปที่ 7 แสดงวงจรไฟฟ้าแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง	14
รูปที่ 8 แสดงการต่อวงจร เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมชิ้นงาน	15
รูปที่ 9 แสดงประสิทธิภาพของวงจรไฟฟ้า	15
รูปที่ 10 แผนผังของระบบไมโครเวฟพลาสมาความดันต่ำ	16
รูปที่ 11 แสดง C_2H_2 plasma ที่อัตราการไหลของก๊าซ 30 mL/min	17
รูปที่ 12 แสดงซิลิกอนที่ผ่านการปลูกฟิล์มคาร์บอนโดย C_2H_2 plasma	17
รูปที่ 13 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	18
รูปที่ 14 แสดงสเปกตรัมของการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน	19
รูปที่ 15 สเปกตรัมรามานของคาร์บอนฟิล์ม	20
รูปที่ 16 แสดงการวัดความหนาของคาร์บอนฟิล์ม	21

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ผลการสอบเทียบกำลังไมโครเวฟที่ใช้โปรแกรมเครื่องกับที่เกิดขึ้นจริงภายในเตา	10

การพัฒนาเครื่องเคลือบฟิล์มบางบนผิวชิ้นงานภายใต้ความดันสุญญากาศโดยใช้ไมโครเวฟ
พลาสมา

Development of surface thin film coating system under vacuum pressure by microwave
plasma

ชูพงษ์ ภาควงษ์

Chupong Pakpum

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องเคลือบฟิล์มบางคาร์บอนบนซิลิกอนด้วยไมโครเวฟพลาสมาภายใต้ความดันต่ำระบบใช้เตาไมโครเวฟในเชิงพาณิชย์เป็นแหล่งของคลื่นไมโครเวฟเพื่อสร้างพลาสมา ห้องสุญญากาศทำจากแก้วบอโรซิลิเกตถูกลดความดันถึง 2×10^{-1} ปาสคาล ฟิล์มบางคาร์บอนถูกเคลือบบนผิวของซิลิกอนโดยอะเซทิลีนพลาสมาที่อัตราการไหลของก๊าซ 30 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ความดันของห้องสุญญากาศ -70 เซนติเมตรปรอทอ่านค่าความดันโดยใช้เกจวัดความดันแบบเข็ม ใช้กำลังไมโครเวฟที่ 1,200 วัตต์เป็นเวลา 150 วินาที วิเคราะห์โดยรามานแสดงยอดคลื่น D-peak ที่ตำแหน่ง $1,336.20 \text{ cm}^{-1}$ และมียอดคลื่น G-peak ที่ตำแหน่ง $1,611.87 \text{ cm}^{-1}$ วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานบ่งชี้ว่าฟิล์มที่ปลูกได้ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มที่ได้เป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคระดับนาโนเมตร ขนาดประมาณ 100 นาโนเมตร ตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวัดความหนาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 200 นาโนเมตร มีความขรุขระที่ผิว 0.43 นาโนเมตร

คำสำคัญ: อะเซทิลีน, ฟิล์มบางคาร์บอน, ไมโครเวฟพลาสมา, ซิลิกอน

Abstract

This work aims to develop a low pressure microwave plasma deposition system to coat carbon thin film on silicon substrate. The system used a commercial microwave oven as a microwave source to get plasma discharge. The vacuum pressure was achieved by two stage rotary vane vacuum pump which is capable of reaching ultimate pressure at 2×10^{-1} Pa under borosilicate chamber glass. The carbon thin films were successfully deposited on silicon substrate by pure acetylene plasma with gas flow rate 30 ml/min at total operating pressure of -70 cmHg reading by analog dial vacuum gauge, using microwave power at 1,200 Watts and deposit time of 150 seconds. Raman analysis showed peak at around 1336.20 cm^{-1} (D-peak) and 1611.87 cm^{-1} (G-peak). Energy Dispersive X-Ray analysis indicated that the deposited thin film compose of carbon atoms. The morphology of deposited film is a cluster of small particles with dimensions of about 100 nm investigated by scanning electron microscope and measured the film thickness by atomic force microscope, obtained 200 nm of average film thickness and 0.43 nm of surface roughness (R_a).

Key words: Acetylene, Carbon thin film, Microwave plasma, Silicon

คำนิยม

โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องเคลือบฟิล์มบางบนผิวชิ้นงานภายใต้ความดันสุญญากาศโดยใช้ไมโครเวฟพลาสมา (Development of surface thin film coating system under vacuum pressure by microwave plasma) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2558 ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์เรื่องสถานที่และอุปกรณ์บางอย่างที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

บทนำ

เทคโนโลยีพลาสมา (plasma technology) ถือว่าเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้เลยในปัจจุบันสำหรับกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวชิ้นงานในระดับอะตอม ไม่ว่าจะเป็นการทำความสะอาด (cleaning) การเคลือบผิว (coating) และการกัดผิว (etching) ส่วนต้องอาศัยพลาสมาเป็นแหล่งของไอออนเพื่อให้เกิดกระบวนการดังกล่าว

พลาสมาจัดเป็นสถานะที่สี่ของสสาร เกิดจากแก๊สที่ถูกกระตุ้นจากพลังงานภายนอกอย่างต่อเนื่อง ทำให้แก๊สดังกล่าวแตกตัวเป็นไอออนและอิเล็กตรอน โดยที่บางส่วนนี้สามารถที่จะกลับมารวมตัวกันกลับเป็นอะตอมเดิมอีกครั้ง (ที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า) พร้อมกับคายพลังงานส่วนเกินที่ได้รับออกมาในรูปของพลังงานที่ตาสามารถมองเห็นได้ (แสงสีต่างๆ) หรืออิเล็กตรอนอิสระบางส่วนจะชนเข้ากับอิเล็กตรอนของอะตอมอื่นๆ ทำให้อะตอมเหล่านั้นถูกกระตุ้นหรือแตกตัวเป็นปฏิกิริยาที่ต่อเนื่องกันไป เมื่อนำพลังงานจากภายนอกนี้ออกไป พลาสมานี้จะกลับมาอยู่ในสถานะแก๊สเช่นเดิม ตัวอย่างของพลาสมาในธรรมชาติ เช่น ในดวงอาทิตย์หรือฟ้าผ่า เป็นต้น พลาสมาที่มนุษย์สร้างขึ้นและพบเห็นในชีวิตประจำวัน ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่บรรจุไอปรอทความดันต่ำ แล้วถูกกระตุ้นด้วยความต่างศักย์สูงที่เหมาะสมทำให้เป็นพลาสมาซึ่งบางส่วนเข้าชนกับสารเรืองแสงที่ฉาบอยู่ด้านในของหลอดเกิดการเรืองแสงขึ้นมา พลาสมาที่สร้างขึ้นในปัจจุบันสำหรับงานวิจัยในห้องทดลองและในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงพื้นผิว (surface modification) การผลิตหัวอ่านเขียนคอมพิวเตอร์ (slider fabrication) รวมถึงการผลิตแผงวงจรโครงสร้างระดับไมโครเมตร ล้วนแล้วแต่ใช้คลื่นวิทยุ ขนาดความถี่ 13.56 MHz เป็นแหล่งพลังงานภายนอกมากระตุ้นแก๊สให้เกิดสถานะพลาสมา เหตุที่นิยมใช้เครื่องส่งคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่นี้ก็เนื่องด้วยเหตุผลที่ว่า เป็นความถี่ที่อนุญาตให้ใช้จากหน่วยงานความมั่นคงแห่งชาติเพราะไม่ซ้อนทับกับย่านความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารทั้งทางวิทยุและโทรทัศน์ แต่ทว่าเครื่องส่งคลื่นวิทยุที่ความถี่ 13.56 MHz มีราคาที่สูงในระดับห้าแสนถึงหนึ่งล้านบาท จึงเป็นข้อจำกัดหลักในการที่จะจัดหาไว้เพื่อการวิจัยและทดลองสำหรับหน่วยงานหรือมหาวิทยาลัยที่มีทุนวิจัยน้อย เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) การแข่งขันทางเทคโนโลยีจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก เนื่องจากต้องเตรียมบุคลากรให้มีความพร้อมในการแข่งขันกับต่างประเทศ ไม่ใช่ได้เรียนเฉพาะแต่ในตำรา แต่ต้องได้ทำการทดลองด้วย ถึงจะเรียกว่า รู้จริง มีประสบการณ์จริง

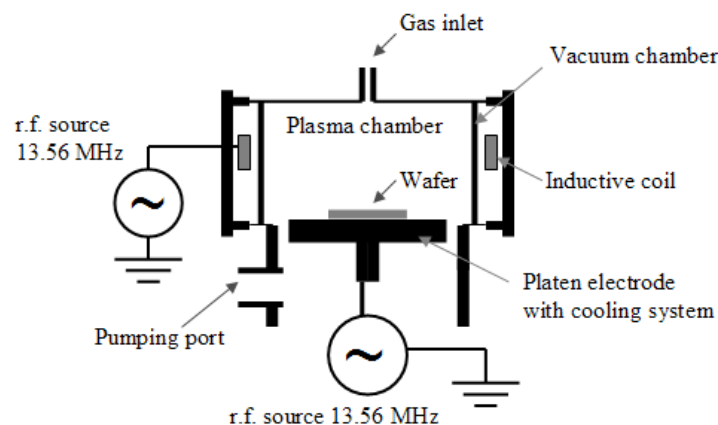
สาขาเทคโนโลยีพลาสมาก็เป็นอีกสาขาหนึ่ง ที่จำเป็นต้องเตรียมบุคลากรให้มีความรู้ ความชำนาญอย่างเพียงพอ เพื่อรองรับอุตสาหกรรมเทคโนโลยีขั้นสูงจากต่างประเทศที่มาสร้างโรงงานผลิตในเมืองไทย ยกตัวอย่างเช่น บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท

เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่มาสร้างโรงงานผลิตหัวอ่านเขียนคอมพิวเตอร์ ในประเทศไทย ส่งผลให้ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออก อุปกรณ์เก็บข้อมูลฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) รายใหญ่อันดับหนึ่งของโลกเกิดการจ้างงานในประเทศไทยกว่าสามแสนคนในอุตสาหกรรมนี้ เทคโนโลยีพลาสมาถือว่าเป็นเทคโนโลยีหลักในการผลิตหัวอ่านเขียนคอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรมดังกล่าว ตัวอย่างที่ยกมานี้เป็นเพียงบางส่วนของที่เห็นภาพได้ค่อนข้างชัดเจน แต่ยังมีอีกมากที่สามารถเอาเทคโนโลยีพลาสมาไปประยุกต์ใช้ได้

ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำคลื่นพลังงานไมโครเวฟ ความถี่ 2.45 GHz มาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสร้างพลาสมาซึ่งมีราคาถูกกว่า เครื่องส่งคลื่นวิทยุที่ความถี่ 13.56 MHz อยู่ค่อนข้างมาก เพื่อสร้างเครื่องเคลือบผิวชิ้นงาน ภายใต้ความดันสุญญากาศ เพื่อใช้สำหรับงานวิจัยทางด้านวัสดุศาสตร์ การทดลอง การเรียนการสอน เพื่อพัฒนาบุคลากรและผลิตบุคลากรในด้านนี้ให้เพียงพอสำหรับการพัฒนาและเติบโตของประเทศไทย

ทฤษฎี สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

เทคนิคการเคลือบผิวโดยใช้พลาสมา เป็นกระบวนการสำคัญในการสร้างฟิล์มบางบนผิวของวัสดุ ซึ่งความหนาของฟิล์มที่สร้างได้อาจเล็กในระดับไมโครเมตรถึงนาโนเมตรในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบผิวชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก (อย่างเช่น การเคลือบฟิล์มบางคล้ายเพชรบนผิวหน้าของหัวอ่านเขียนคอมพิวเตอร์ หรือ ที่เรียกว่า สไลเดอร์ (slider) เพื่อป้องกันการถูกลายของหัวอ่านเขียนจากไฟฟ้าสถิต ซึ่งฟิล์มบางคล้ายเพชรนี้ทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้า) มักนิยมใช้พลาสมาที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดนำไฟฟ้าโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างเช่นคลื่นวิทยุ ในภาษาเทคนิคของสาขาวิชานี้คือ Inductive coupled plasma (ICP) โดยความถี่ของคลื่นวิทยุที่นิยมใช้กันคือ 13.56 MHz เหตุที่ในภาคอุตสาหกรรมนิยมใช้ ICP plasma ก็เพราะว่าเทคนิคนี้สามารถสร้างพลาสมาที่มีปริมาตรที่มีขนาดใหญ่ได้ และเหมาะสำหรับการดำเนินการกับชิ้นงานใหญ่ระดับเวเฟอร์ 6 นิ้ว เพื่อลดต้นทุนในการผลิตให้น้อยที่สุดและผลิตสินค้าให้ได้มากที่สุด รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบของเครื่องเคลือบผิวแบบ ICP plasma ที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมเทคโนโลยีขั้นสูง เช่นในบริษัท บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ ราคาเครื่องเคลือบแต่ละเครื่องมีมูลค่าประมาณ 30 ล้านบาท ถึง 60 ล้านบาท เพราะสามารถดำเนินการกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบของเครื่องเคลือบแบบ ICP plasma [1]

ICP plasma มีส่วนประกอบหลักคือ แหล่งให้กำเนิดพลาสมา (plasma source) และตัวจับยึดแผ่นชิ้นงาน (Platen electrode) โดยแหล่งพลังงานเพื่อให้เกิดพลาสมาคือคลื่นวิทยุซึ่งเชื่อมต่อกับขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductive coil) ขณะที่ตัวจับยึดชิ้นงานจะเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายคลื่นวิทยุอีกตัวหนึ่ง เมื่อทำการจ่ายก๊าซที่จะใช้งานเข้าไปในห้องสุญญากาศ (Vacuum chamber) ในระดับความดันที่เราต้องการ พลาสมาจะเกิดขึ้นเต็มห้องสุญญากาศเมื่อทำการจ่ายคลื่นวิทยุไปที่ขดลวดเหนี่ยวนำ หลังจากที่กำลังคลื่นวิทยุถูกจ่ายให้กับ Platen electrode (ขั้วนำไฟฟ้าที่ยึดชิ้นงานไว้) อิเล็กตรอนในพลาสมาซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าไอออนบวกในพลาสมา จะวิ่งไปยังแผ่น electrode ก่อน จึงทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าลบกระแสตรงบนแผ่น electrode ขึ้น เนื่องจากชิ้นงานวางอยู่บน electrode ทำให้ชิ้นงานถูกไอออนบวกที่มีพลังงานจลน์ในระดับน้อยถึงปานกลาง วิ่งมาที่ผิวหน้าชิ้นงานเกิดการเคลือบ coating หรือ deposition ขึ้น ซึ่งพลังงานจลน์ดังกล่าวเกิดจากไอออนบวกในพลาสมา อยู่ในสนามไฟฟ้าลบของ electrode จึงทำให้ไอออนบวกถูกเหนี่ยวนำให้วิ่งมาที่ผิวชิ้นงาน

ในงานวิจัยนี้จะสร้างเครื่องเคลือบผิวชิ้นงาน ที่มีหลักการทำงานคล้ายกับ ICP plasma แต่จะเปลี่ยนแหล่งพลังงานที่สร้างพลาสมาจากคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นไมโครเวฟ และที่ขั้ว Platen electrode ตรงตำแหน่งที่ยึดชิ้นงานจะเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบเข้าไปไว้สำหรับดึงไอออนบวกจากพลาสมาโดยตรง เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ทางทีมผู้วิจัยเชื่อมั่นว่าระบบที่เสนอดังกล่าวจะสามารถเคลือบผิวชิ้นงานได้อย่างแน่นอน

วัตถุประสงค์

พัฒนาเครื่องเคลือบผิว (ฟิล์มบาง) บนชิ้นงาน ภายใต้ความดันสุญญากาศโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานเพื่อให้เกิดพลาสมา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เผยแพร่ผลงานการประดิษฐ์ในวารสารระดับชาติหรือระดับนานาชาติได้
2. มีเครื่องมือวิจัย ไว้ใช้สำหรับให้นักศึกษาระดับปริญญาตรีทำวิจัยในวิชาค้นคว้าอิสระ
3. มีเครื่องมือวิจัย ไว้ใช้สำหรับประกอบการเรียนการสอนทั้งในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ ด้านไมโครเทคโนโลยีและนาโนเทคโนโลยี
4. เป็นต้นแบบของเครื่องมือวิจัย หากสถาบันอื่นๆในประเทศไทยต้องการที่จะสร้างเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในสถาบันของตน

การตรวจเอกสาร

ในช่วงเวลาประมาณ 12 ปีที่ผ่านมา มีจำนวนกลุ่มนักวิจัยที่สนใจทำงานวิจัยเกี่ยวกับด้านเทคโนโลยีพลาสมาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ต่อไปนี้จะสรุปภาพรวมของสถาบันในประเทศไทยที่กำลังทำวิจัยในด้านนี้กันอยู่ แต่จะเน้นเฉพาะพลาสมาประเภท glow discharge ที่มีการสร้างพลาสมาที่มีขนาดใหญ่ ใหญ่พอที่จะสามารถดำเนินการ (process) กับวัสดุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้วได้ อย่างเช่นเวเฟอร์ซิลิกอนขนาด 3 นิ้ว

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เน้นงานด้านปรับปรุงผิววัสดุ ทั้งเคลือบแข็ง (nitride hardening) [2], เคลือบผิวด้วยฟิล์มบางคล้ายเพชร (diamond like-carbon thin film) ด้วยเทคนิคการจุ่มชิ้นงานในพลาสมา หรือเรียกว่า plasma immersion ion implantation technique [3] และ ปรับปรุงคุณภาพภาพผิวของผ้าไหมให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ [4] ซึ่งพลาสมานี้ผลิตโดยใช้ คลื่นวิทยุขนาดความถี่ 13.56 MHz อีกทั้งมีการนำคลื่นไมโครเวฟ 2.45 GHz มาสร้างพลาสมาเพื่อนำอิเล็กตรอนจากพลาสมาที่สร้างได้ ไปใช้ในการสะเทิน (ทำให้เป็นกลางทางไฟฟ้ามากขึ้น) ถ้าอนุภาคที่มีประจุบวก เพื่อลดการบานออกของถ้าอนุภาคประจุบวกขณะนำไปใช้งาน [5]

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เน้นงานด้านปรับปรุงคุณภาพผิวของผ้า [6] การสังเคราะห์ฟิล์มบางและสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำความเร็วสูงจากคาร์บอนคล้ายเพชร พอลิเมอร์นำไฟฟ้า ซึ่งพลาสมานี้ผลิตโดยใช้ คลื่นวิทยุขนาดความถี่ 13.56 MHz

สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ประยุกต์เทคโนโลยีพลาสมาทำงานทางด้านเกษตร [7] มีแหล่งกำเนิดพลาสมาแบบ คลื่นวิทยุขนาดความถี่ 13.56 MHz[8] และคลื่นไมโครเวฟ 2.45 GHz [9]

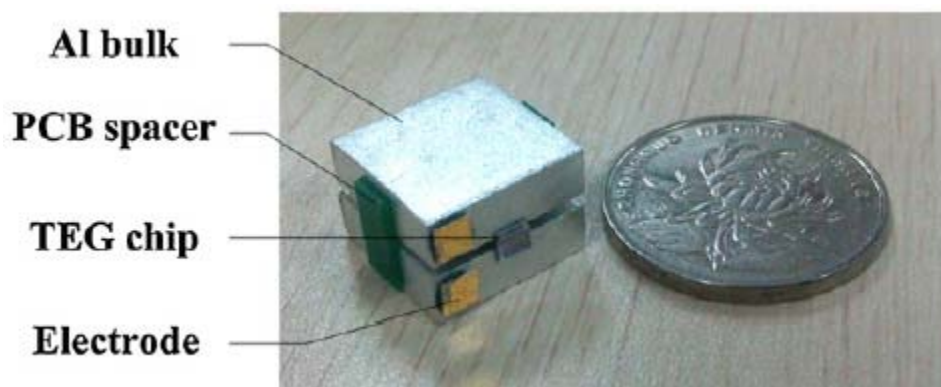
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เน้นไปทางด้านการเคลือบวัสดุด้วยคาร์บอนกลายเพชรด้วยวิธีสเป็คเตอรืงจากไฟฟ้ากระแสสลับ วิธี Hot-Filament Chemical Vapor Deposition [10] และปัจจุบันกำลังพัฒนาระบบ RFCVD สำหรับวัสดุฟิล์มบางขนาดใหญ่

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เน้นไปทางด้านการเคลือบฟิล์มบางของโลหะอย่างเช่น TiO_2 ด้วยวิธี Dual Cathod DC Unbalanced Magnetron Sputtering [11]

โดยภาพรวมจะเห็นชัดว่า หลายสถาบันมีความตื่นตัว และเตรียมพร้อม กับเทคโนโลยีที่มีการดำเนินการ (process) ในระดับอะตอม ที่นับวันจะยิ่งมีบทบาทเพิ่มมากขึ้นในชีวิตประจำวัน เช่น เสื่อกันน้ำนาโน กระจกหน้าต่างทำความสะอาดตัวเอง ฯลฯ ซึ่งเทคโนโลยีพลาสมาเป็นพื้นฐานของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ดังนั้น การเตรียมความพร้อมด้านบุคลากร (นักศึกษา และนักวิจัย) ให้เพียงพอเพื่อรองรับการแข่งขันกับต่างประเทศในวันข้างหน้าจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การที่ต้องมีเครื่องมือไว้ใช้ในการทำวิจัยเพื่อผลิตบุคลากรในด้านนี้ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ เป้าหมายหลักคือการสร้างระบบการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยไมโครเวฟพลาสมา เพื่อที่จะนำระบบที่พัฒนาได้แล้วดังกล่าว ไปเคลือบฟิล์มบางบนผิวของโครงสร้างของวัสดุ (เช่น ร่องลึก ร่องรูปตัววี) เพื่อสร้างอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป ทิศทางที่ทางทีมวิจัยจะมุ่งเน้นในลำดับต่อไปก็คือ การประดิษฐ์อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากความร้อนที่มีขนาดเล็ก Thermoelectric generator (TEG) ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์ จากนักวิจัยต่างประเทศ จะเห็นได้ว่าสิ่งประดิษฐ์มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับเหรียญที่ใช้ในการซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้า ดังนั้นในการประดิษฐ์สิ่งของที่มีขนาดเล็กจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้เทคโนโลยีที่สามารถดำเนินการในระดับอะตอมได้ อย่างเช่น พลาสมาเทคโนโลยี



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่าง TEG chip เทียบกับเหรียญ [12]

ลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ออกแบบเครื่องเคลือบฟิล์มบางบนผิวชิ้นงานโดยใช้คลื่นไมโครเวฟจากเตาไมโครเวฟเพื่อสร้างพลาสมา
2. จัดหาอุปกรณ์และประกอบเครื่องไมโครเวฟพลาสมาจากเตาไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน
3. ทดสอบระบบสุญญากาศ
4. ทดสอบแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ขั้ววางชิ้นงาน
5. ทดสอบสร้างพลาสมา
6. ทดสอบความสามารถของเครื่องเคลือบ ในด้านของอัตราการเคลือบ (deposit rate) โดยทำการเคลือบฟิล์มบางคล้ายเพชรบนผิววัสดุ ซิลิกอน (silicon) โดยใช้ไฮโดรคาร์บอนพลาสมา (carbon-based plasma) เมื่อความดัน (pressure) และ พลังงานจลน์ (kinetic energy) ของไอออนที่ใช้ในการเคลือบที่ค่าแตกต่างกัน
7. ความหนาของฟิล์มบาง สามารถหาได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope, AFM)
8. องค์ประกอบของฟิล์มบาง สามารถหาได้โดยใช้ Raman spectroscopy

ผลการวิจัย

สอบเทียบกำลังไมโครเวฟที่เกิดขึ้นในเตาไมโครเวฟกับระดับกำลังที่ใช้โปรแกรมเครื่อง

เนื่องจากในการใช้งานเครื่องไมโครเวฟ มีชุดคำสั่งระดับการปล่อยกำลังไฟฟ้าไมโครเวฟเป็นระดับ จากระดับ 10P ถึงระดับ 100P โดยที่สัญลักษณ์ 100P คือจ่ายกำลังไฟฟ้า 100% ของเครื่องที่สามารถทำได้ (เท่ากับ 1,200 W) สัญลักษณ์ 90P คือจ่ายกำลังไฟฟ้า 90% ของเครื่องที่สามารถทำได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องสอบเทียบระดับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปล่อยออกมาจริงภายในเตาไมโครเวฟกับระดับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องถูกโปรแกรมขณะใช้งาน

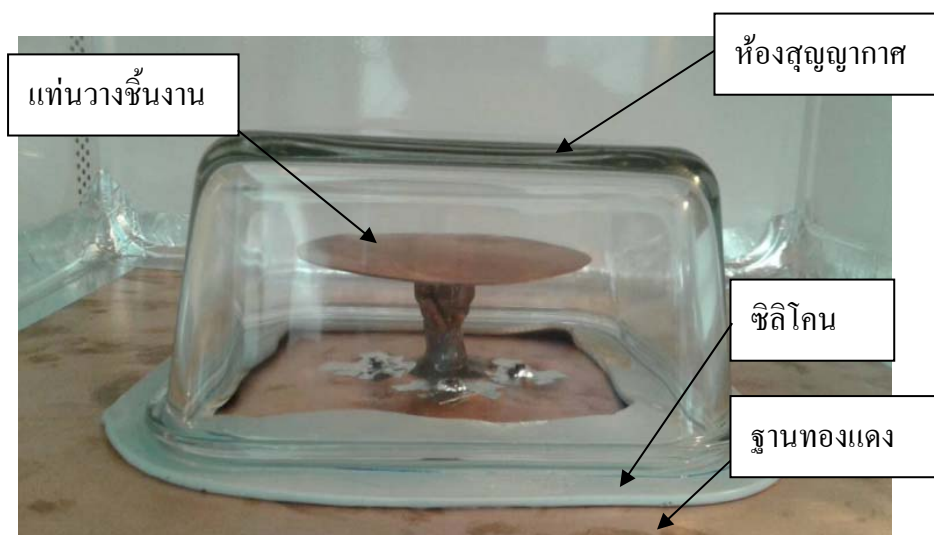
ในการหาปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในตู้ไมโครเวฟ มีขั้นตอนดังนี้ 1.) เติมน้ำปริมาณ 900 mL (= 0.9 kg) ลงในภาชนะและวัดอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น (T_1) โดยวางตรงกลางภายในตู้ไมโครเวฟ 2.) จ่ายกำลังไมโครเวฟตามต้องการ สมมติให้ เป็น 100P (=1,200W) เป็นเวลา $t = 60$ วินาที 3.) วัดอุณหภูมิภายหลังจากจ่ายกำลังไมโครเวฟ (T_2) 3.) คำนวณหาปริมาณความร้อนที่น้ำปริมาณ 900 mL ได้รับในเวลา 60 วินาที จากสมการ $Q \text{ (J)} = m \text{ (kg)} \times c \text{ (J/kg} \cdot ^\circ\text{C)} \times (T_2(^{\circ}\text{C}) - T_1(^{\circ}\text{C}))$ ให้ $c = 4187 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 4.) คำนวณหาลำลังไมโครเวฟ จากสมการ $P \text{ (W)} = Q \text{ (J)} / t \text{ (s)}$ พบว่ากำลังไมโครเวฟที่เกิดขึ้นจริงมีความแตกต่างไม่เกิน $\pm 30 \text{ W}$ จากค่าที่ตั้งไว้บนหน้าปัดเครื่อง

ตารางที่ 1 ผลการสอบเทียบกำลังไมโครเวฟที่ใช้โปรแกรมเครื่องกับที่เกิดขึ้นจริงภายในเตา

Program Level	Process time (s)	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	Power Output (W)	Average Power (W)	Delta (W)
100P (1,200 W)	60	25	44	1193	1193	7
100P (1,200 W)	60	43	62	1193		
90P (1,080 W)	60	26	43	1067	1099	-19
90P (1,080 W)	60	42	60	1130		
80P (960 W)	90	25.5	49	984	973	-13
80P (960 W)	90	48	71	963		
70P (840 W)	90	25	44	795	837	3
70P (840 W)	90	43	64	879		
60P (720 W)	90	25.5	42.5	712	712	8
60P (720 W)	90	41.5	58.5	712		
50P (600 W)	90	25.5	39	565	576	24
50P (600 W)	90	38	52	586		

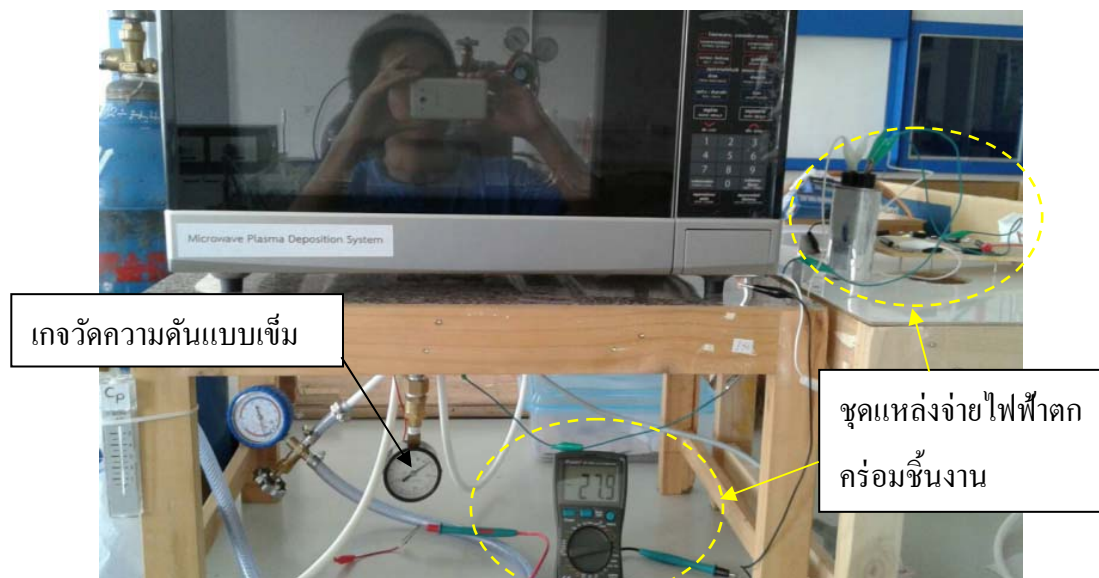
ห้องสุญญากาศและทดสอบการสร้างพลาสมา

ผู้วิจัยได้ออกแบบห้องสุญญากาศให้อยู่ภายในเตาไมโครเวฟ โดยทำการเจาะรูเฉพาะด้านล่างของผนังเตาไมโครเวฟเพื่อทำการสอดฐานเพื่อวางห้องสุญญากาศ โดยฐานนี้ทำจากแผ่นทองแดงซึ่งเชื่อมท่อทองแดงอีกสามท่อเข้าไปกับตัวฐาน โดยทั้งสามท่อนี้มีวัตถุประสงค์ใช้สำหรับท่อปล่อยแก๊สเข้า (gas inlet) ที่ต้องการใช้งาน ท่อปั๊มอากาศออก (gas outlet) และท่อติดตั้งเกจวัดความดันสุญญากาศชนิดแบบเข็ม อีกทั้งสร้างแท่นวางชิ้นงาน (ทำจากแผ่นทองแดง) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้วและเชื่อมเข้ากับฐานด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1

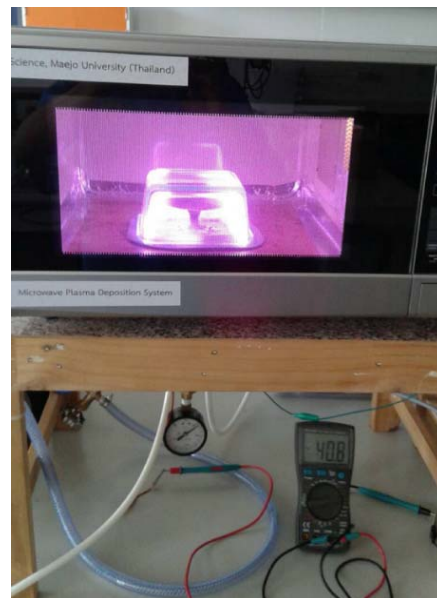


รูปที่ 3 แสดงห้องสุญญากาศ (ทำจากวัสดุ borosilicate Glass) แท่นวางชิ้นงานที่เชื่อมเข้ากับฐานทองแดง ภายในเตาไมโครเวฟ

เมื่อทำการทดสอบทำสุญญากาศโดยใช้ปั๊มทำสุญญากาศจังหวะเดียว (Single-stage) กับห้องสุญญากาศพบว่า สามารถทำสุญญากาศได้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศในระดับ 70-75 cmHg เมื่อทำการทดสอบสร้างพลาสมาที่ความดันต่ำกว่า 70 cmHg พบว่า คลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 240 – 1,200 W (20P-100P) สามารถสร้างพลาสมาของอากาศได้ ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5



รูปที่ 4 แสดงภายนอกของเครื่องปลูกฟิล์มบางที่ได้พัฒนาขึ้น ด้านล่างแสดงเกจวัดความดันสุญญากาศ ด้านขวามือแสดงชุดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมชิ้นงาน หลังติดตั้งแหล่งจ่ายแรงดันเข้ากับแท่นวางชิ้นงานแล้ว พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่แท่นวางชิ้นงานจริง ดังภาพแสดงแรงดันไฟฟ้า -27.9 โวลต์ตกคร่อมที่แท่นวางชิ้นงาน



รูปที่ 5 แสดงพลาสมาของอากาศ(สีชมพูเข้ม) ที่เกิดภายในห้องสุญญากาศ เมื่อจ่ายคลื่นไมโครเวฟที่กำลังสูงสุด 1,200 W หลังจากทำการปั๊มอากาศออกจากห้องสุญญากาศจนเข็มเกจชี้ไปที่เลขเกือบ 76 cmHg ซึ่งเป็นสเกลที่ต่ำที่สุดของเกจวัดความดันสุญญากาศแบบเข็มนี้ โดยปั๊มทำสุญญากาศเป็นปั๊มจังหวะเดียว (Single-stage)

ทดสอบจ่ายแรงดันลบบนแท่นวางชิ้นงานในสภาวะมีพลาสมา

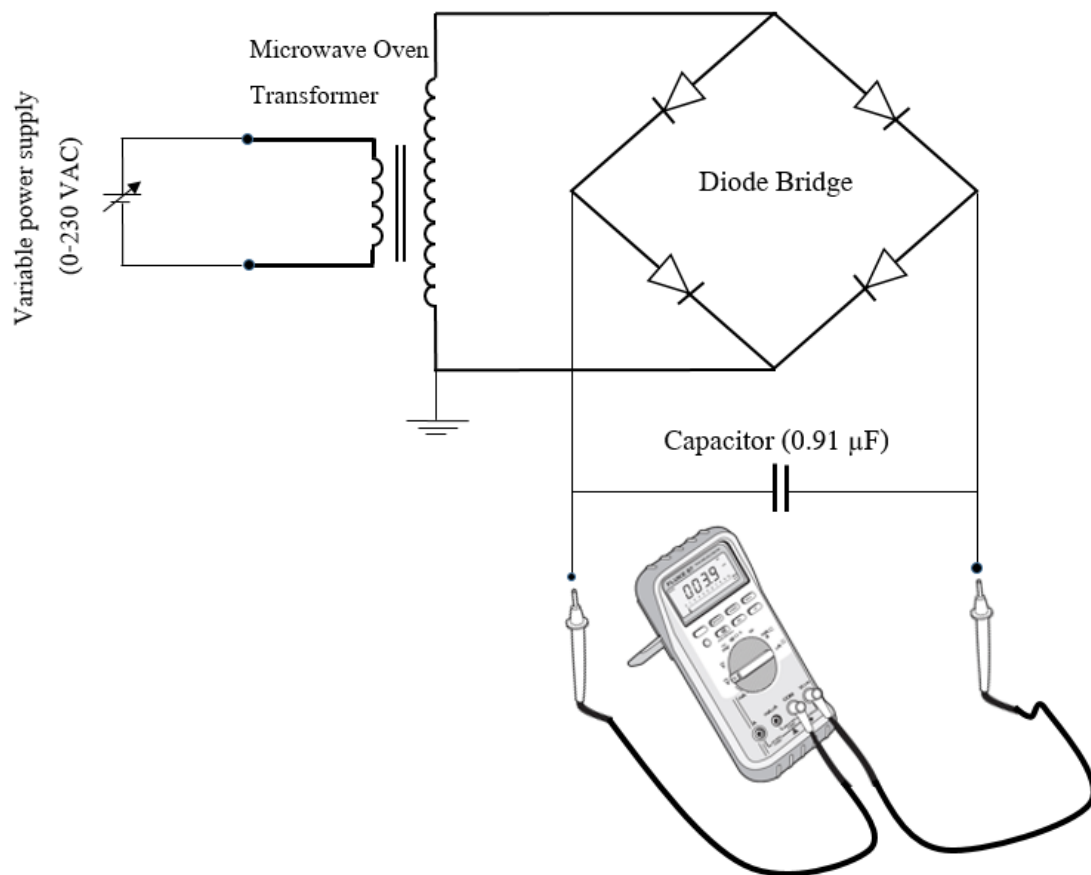
ได้ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง -300 V (เพื่อเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับอนุภาคมีประจุภายในพลาสมาให้มีโมเมนตัมมาตกกระทบบนชิ้นงานให้สูงขึ้นเพื่อเร่งความเร็วในการปลูกฟิล์ม) ที่แท่นวางชิ้นงานขณะที่มีพลาสมาเกิดขึ้นในห้องสุญญากาศ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปเพียง 45 วินาที ห้องสุญญากาศแตก ดังแสดงในรูปที่ 4 คาดว่า ห้องสุญญากาศที่ทำจากแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate glass) ไม่สามารถทนต่อความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังทั้งสองด้านได้ซึ่งผนังด้านในสัมผัสกับพลาสมาที่ความดันสุญญากาศและผนังชั้นนอกเป็นอากาศที่ความดันบรรยากาศ ดังนั้นในการใช้งานไมโครเวฟพลาสมาในการปลูกฟิล์มบนวัสดุควรจะใช้เวลาในการปลูกครั้งละไม่เกิน 30 วินาที แนวทางที่จะเพิ่มเวลาในการปลูกแต่ละครั้งให้นานกว่านี้คือ การใช้ห้องสุญญากาศที่ทำจากควอตซ์ (Quartz)



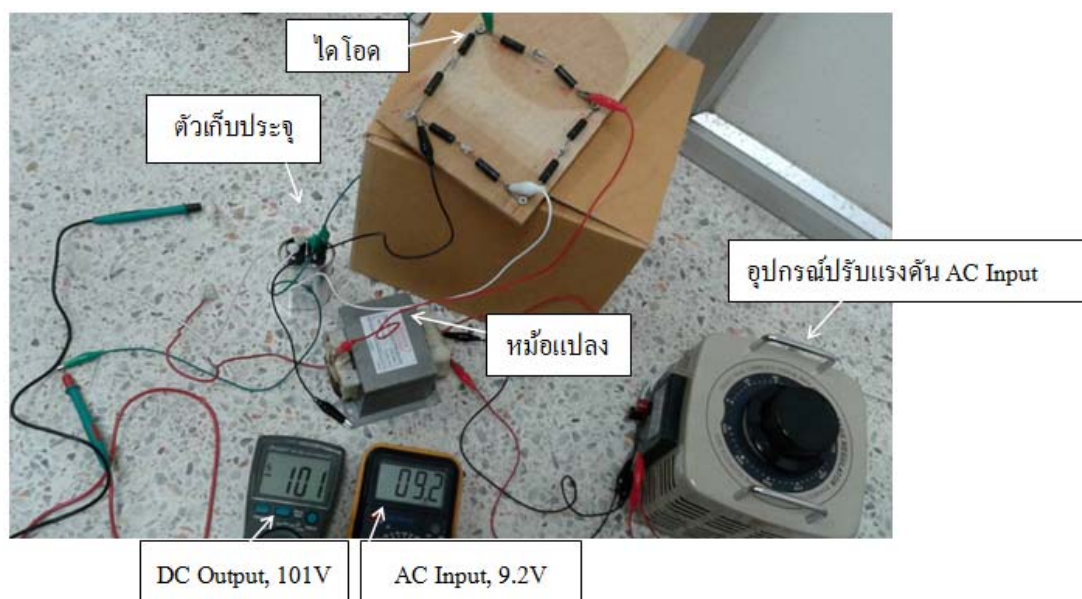
รูปที่ 6 แสดงภาพการแตกของห้องสุญญากาศ เมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง -300 V ให้กับฐานวางชิ้นงาน (ฐานวางชิ้นงานที่ทำจากวัสดุทองแดงเกิดการบิดเบี้ยวเนื่องจากถูกแรงกระแทกอย่างแรง)

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

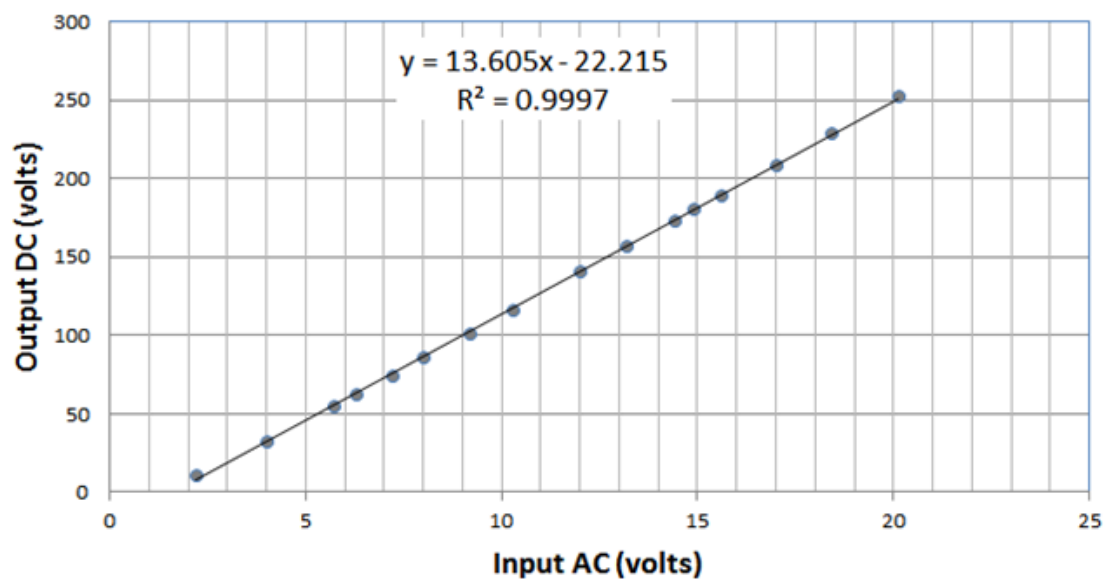
แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสร้างจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit) ซึ่งใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่ปรับค่าได้ (variable power supply) ในช่วง 0-230 V ทำการต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้า (ที่ใช้ทั่วไปในเครื่องไมโครเวฟ) และทำการต่อเข้ากับไดโอดแบบบริดจ์โดยมีตัวเก็บประจุทำหน้าที่ให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีความสม่ำเสมอมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 7 แสดงวงจรไฟฟ้าแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง



รูปที่ 8 แสดงการต่อวงจร เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ชั่ววูบขึ้นงาน ในภาพจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 9.2 โวลต์ เข้า (Input) วงจรไฟฟ้า ได้แรงดันขาออก (Output) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) 101 โวลต์

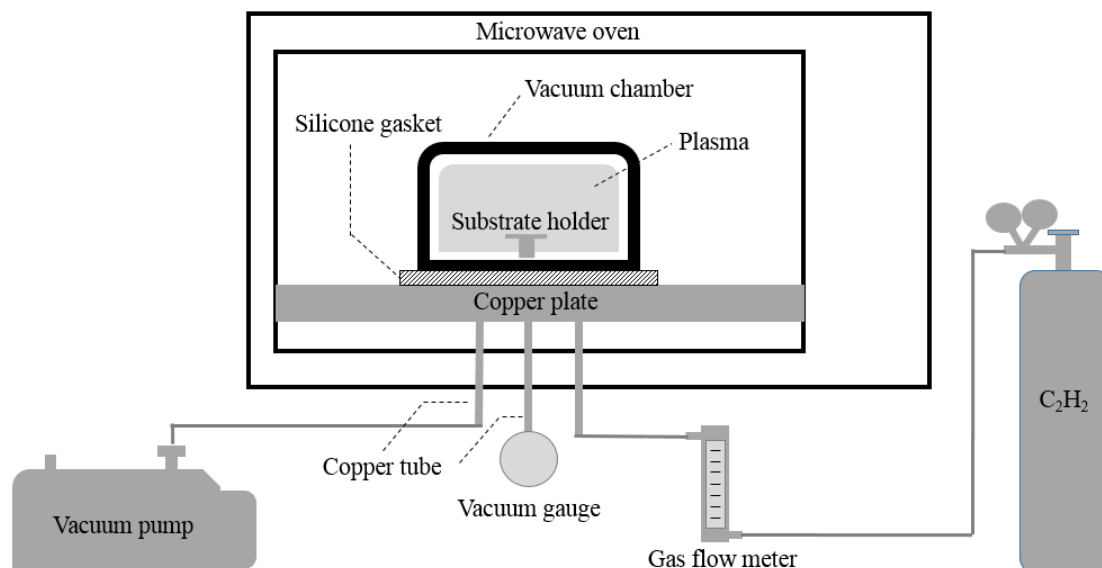


รูปที่ 9 แสดงประสิทธิภาพของวงจรไฟฟ้า (ในรูปที่ 8) สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้าจาก 20 โวลต์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ถึง 250 โวลต์ ดังนั้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้า 230 โวลต์จะได้แรงดันไฟฟ้าออกกระแสตรงสูงถึง 3,105 โวลต์

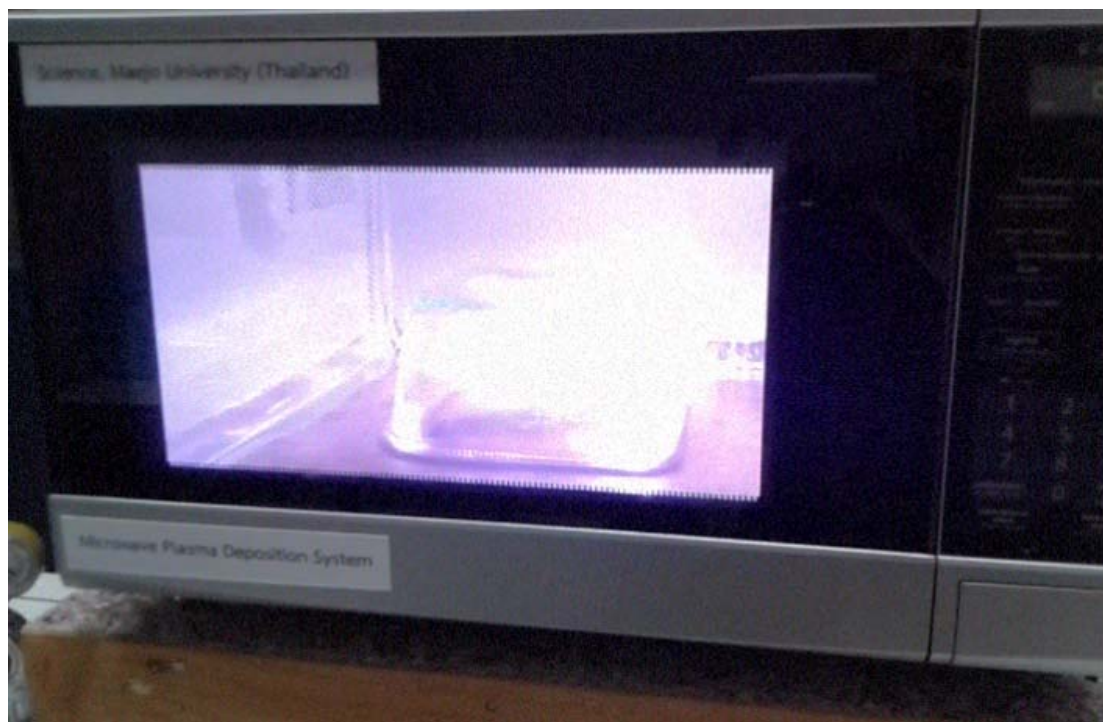
ปลูกฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร

ก๊าซอะเซทิลีน (C_2H_2) ถูกติดตั้งเข้ากับเครื่องไมโครเวฟพลาสมาผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ (gas flow meter) ที่สามารถวัดอัตราการไหลได้สูงสุด 100 mL/min และสามารถควบคุมอัตราการไหลได้ ดังแสดงในรูปที่ 8 ในการทดสอบปลูกฟิล์มคาร์บอนลงบนวัสดุซิลิกอนมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1.) วางซิลิกอนที่มีระนาบ (100) บนที่วางชิ้นงาน 2.) วางห้องสุญญากาศ (Vacuum chamber) ให้แนบไปกับฐานทองแดงโดยมีซิลิโคนกันรั่วระหว่างห้องสุญญากาศกับฐานทองแดง 3.) เปิดปั๊มสุญญากาศจนระดับความดันภายในห้องสุญญากาศอยู่ในระดับ 70-75 cmHg โดยอ่านความดันจาก Vacuum gauge 4.) ปล่อยก๊าซอะเซทิลีนเข้าห้องสุญญากาศโดยควบคุมให้มีอัตราการไหลของก๊าซที่ระดับ 30 mL/min ปล่อยให้ก๊าซไหลเข้าห้องสุญญากาศเป็นเวลา 10 นาที 5.) จ่ายกำลังไมโครเวฟเข้าห้องสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 1,200 W เป็นเวลา 20 วินาที (เรียก 1 รอบของการปลูกฟิล์ม) 6.) ทำการปลูกซ้ำจนได้เวลาของการปลูกฟิล์มรวม 150 วินาที

สาเหตุที่ต้องทำการปลูกฟิล์มเป็นรอบๆ รอบละ 20 วินาที เนื่องจากหากทำการปลูกฟิล์มต่อเนื่องเป็นเวลานานจะทำให้ห้องสุญญากาศร้อนมากและแตกในที่สุด



รูปที่ 10 แผนผังของระบบไมโครเวฟพลาสมาความดันต่ำ



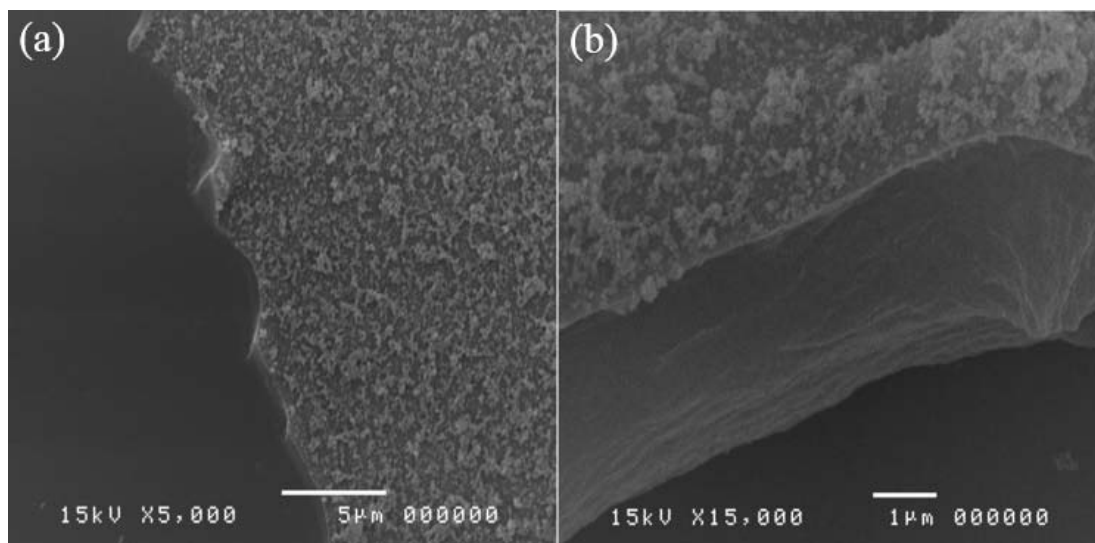
รูปที่ 11 แสดง C_2H_2 plasma ที่อัตราการไหลของก๊าซ 30 mL/min พลาสมาปรากฏมีสีขาว



รูปที่ 12 แสดงซิลิกอนที่ผ่านการปลูกฟิล์มคาร์บอนโดย C_2H_2 plasma ซึ่งบริเวณด้านซ้าย (สีน้ำตาล) แสดงบริเวณที่มีชั้นของคาร์บอนเคลือบอยู่ และบริเวณด้านขวา (สีเทา) แสดงบริเวณที่ผิวของซิลิกอนไม่สัมผัสกับพลาสมาเนื่องจากการเคลือบฟิล์มบางของพอลิเมอร์ที่สามารถลอกออกได้เคลือบทับอยู่ระหว่างการปลูกฟิล์มและภาพที่แสดงนี้ได้ลอกฟิล์มบางพอลิเมอร์ออกแล้ว

ผลการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(Scanning Electron Microscope, SEM)



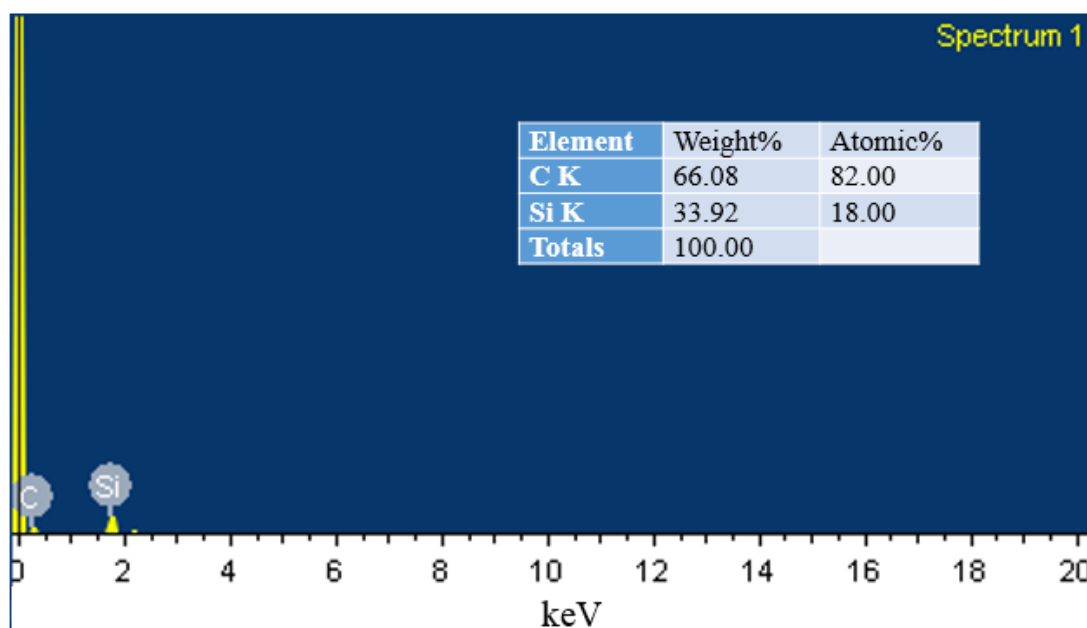
รูปที่ 13 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของคาร์บอนฟิล์มที่เคลือบอยู่บนผิวซิลิกอน ถ่ายโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (SEM, JEOL JSM-5410LV)

รูปที่ 13(a) แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอนฟิล์มที่ถูกปลูกบนผิวซิลิกอน จะสังเกตเห็นพื้นที่สองบริเวณที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยพื้นที่ด้านซ้ายปรากฏเห็นเป็นสีดำเรียบคือบริเวณพื้นผิวของซิลิกอนที่ไม่มีคาร์บอนฟิล์มเกาะอยู่เนื่องจากกระบวนการปลูกฟิล์มบริเวณนี้ไม่สัมผัสกับพลาสมาเพราะมีพอลิเมอร์ฟิล์มเคลือบอยู่ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นกำบัง โดยบริเวณด้านขวาไม่มีพอลิเมอร์ฟิล์มเคลือบจึงทำให้เกิดการก่อตัวของชั้นคาร์บอน และเมื่อกระบวนการปลูกฟิล์มเสร็จสิ้น ได้ทำการกำจัดชั้นของพอลิเมอร์ฟิล์มที่เคลือบอยู่ด้านซ้ายออกสุดท้ายเกิดรอยต่อของสองบริเวณอย่างชัดเจน โดยที่ด้านขวามีคาร์บอนฟิล์มเคลือบอยู่จะสูงกว่าด้านซ้าย

รูปที่ 13(b) เป็นภาพขยายตรงบริเวณขอบของคาร์บอนฟิล์ม มีลักษณะเป็นแผ่นหนาและมีเกล็ด (flake) เล็กๆเกาะอยู่ทั่วผิวด้านบนของแผ่นหนาดังกล่าว

ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน

(Energy Dispersive X-ray analysis, EDX)

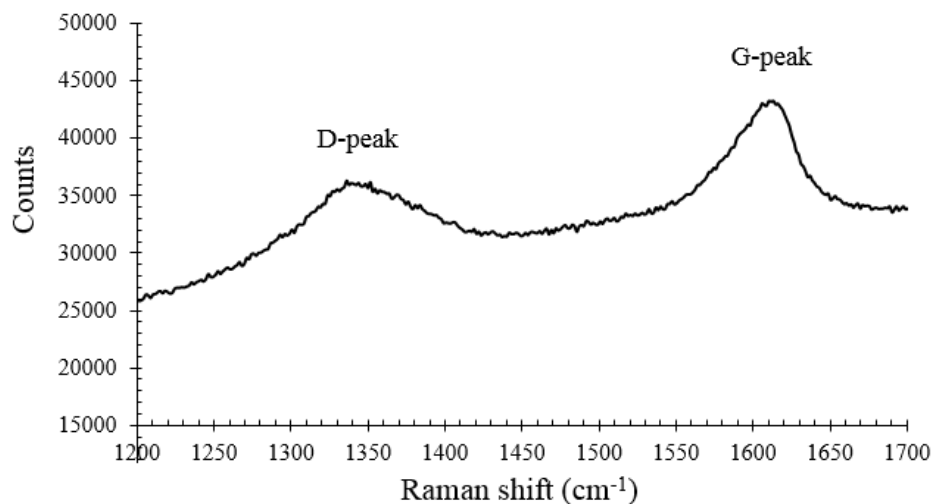


รูปที่ 14 แสดงสเปกตรัมของการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน วิเคราะห์โดยเครื่อง scanning electron microscope (SEM, JEOL JSM-5410LV)

จากการวิเคราะห์ธาตุที่อยู่ภายในชั้นคาร์บอนฟิล์มดังแสดงในรูปที่ 14 โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานที่ถูกติดตั้งมาพร้อมกับเครื่อง SEM โดยการวิเคราะห์นี้ให้พลังงานกับอิเล็กตรอนเพื่อเร่งไปตกกระทบที่ผิวชิ้นงานที่นำมาวิเคราะห์ที่ 15 keV พบว่า สเปกตรัมแสดงปริมาณธาตุคาร์บอน (C) 82.00 at% และ ปริมาณธาตุซิลิกอน (Si) 18.00 at% บ่งชี้ว่า ฟิล์มที่ปลูกได้จาก C_2H_2 plasma โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นฟิล์มของคาร์บอน ทั้งนี้ปรากฏสเปกตรัมของอะตอมซิลิกอนเนื่องจากชั้นของคาร์บอนฟิล์มมีความบาง จึงมีบางส่วนของลำอิเล็กตรอนสามารถวิ่งทะลุไปถึงชั้นของซิลิกอนได้

ผลการวิเคราะห์หาชนิดพันธะและองค์ประกอบของธาตุด้วย รามานสเปกโตรสโคปี

(Raman Spectroscopy)



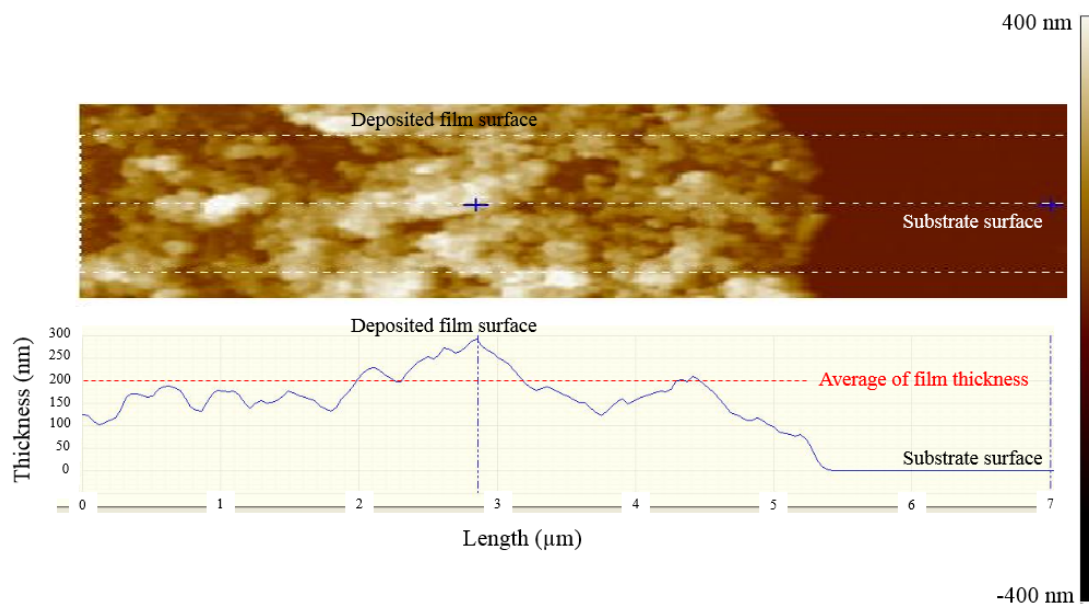
รูปที่ 15 สเปกตรัมรามานของคาร์บอนฟิล์ม

รามานสเปกตรัมตรวจพบแถบของ D-peak ในช่วง $1,300 - 1,400 \text{ cm}^{-1}$ และแถบของ G-peak ในช่วง $1,550 - 1,650 \text{ cm}^{-1}$ โดยมียอดคลื่นของ D-peak ที่ตำแหน่ง $1,336.20 \text{ cm}^{-1}$ และมียอดคลื่นของ G-peak ที่ตำแหน่ง $1,611.87 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแถบของ D-peak and G-peak เป็นสิ่งยืนยันลักษณะของฟิล์มคาร์บอนที่ปลูกได้ว่าเป็นฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร (diamond-like carbon, DLC) ซึ่ง DLC ฟิล์มนี้มีอัตราส่วนของ I_D / I_G มีค่าเท่ากับ 1.32 (FWHM ของ D-peak = 95.39 และของ G-peak = 52.67) ซึ่งในการวิเคราะห์ถึงชนิดของ DLC ฟิล์มนั้นค่า FWHM ของ G-band มีความสำคัญมาก ถ้าหากฟิล์มนั้นมีค่า FWHM ของ G-band มาก จะบ่งบอกถึงขนาดความเค้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างแบบ sp^3 ของคาร์บอนที่วางล้อมรอบโครงสร้างแบบ sp^2 อยู่ ค่าอัตราส่วน I_D / I_G สามารถบ่งบอกถึงสัดส่วนโครงสร้าง sp^3 ได้คือ ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าสัดส่วนของโครงสร้าง sp^3 จะมีค่ามากเมื่อเทียบกับสัดส่วนของโครงสร้าง sp^2

ทั้งนี้ D-band เกิดจากการสั่นที่เป็นการสั่นแบบหดยายของวงอะโรมาติก (aromatic) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบ sp^2 ที่มีลักษณะเป็นวง ส่วน G-band นั้นเกิดจากการสั่นที่เป็นการสั่นของคู่คาร์บอนโครงสร้างแบบ sp^2 ที่ถูกล้อมรอบด้วยโครงสร้าง sp^3 ดังนั้นถ้า D-band มีพื้นที่ใต้ยอดคลื่นน้อยแสดงว่าโครงสร้าง sp^2 แบบวงอะโรมาติกมีน้อย ยอดคลื่นมีความเข้มข้นเมื่อจำนวนวงอะโรมาติกในแต่ละคลัสเตอร์ (cluster) ลดลงด้วยเหตุนี้จึงทำให้สามารถหาสัดส่วนโครงสร้าง sp^3 จากค่าอัตราส่วน I_D / I_G ได้ [13]

ผลการวิเคราะห์ความหนาของฟิล์มด้วย กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

(Atomic Force Microscope, AFM)



รูปที่ 16 แสดงการวัดความหนาของคาร์บอนฟิล์ม

กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม atomic force microscope (AFM, Dimension 3100 Veeco) ถูกนำมาใช้วัดความหนาของคาร์บอนฟิล์ม รูปที่ 14 ในส่วนของภาพด้านบน แสดงภาพสองมิติ top view ของพื้นที่ (กว้าง $1.4\ \mu\text{m}$ $\times$ ยาว $7\ \mu\text{m}$) ที่ปลายเข็มของหัววัด AFM ได้กวาดไปเพื่อเก็บข้อมูลความสูงที่ขึ้นกับตำแหน่งบริเวณซ้ายมือที่มีลักษณะขรุขระเป็นบริเวณที่มีคาร์บอนฟิล์มเคลือบอยู่ ส่วนบริเวณขวามือเป็นบริเวณพื้นผิวของซิลิกอน สำหรับภาพด้านล่างของรูปที่ 16 เป็นภาพสองมิติ side view ที่แสดงค่าความสูงของคาร์บอนฟิล์ม โดยที่ฟิล์มที่ปลูกได้มีความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 200 nm (เส้นประสีแดง) จากการที่ใช้เวลาไปการปลูกฟิล์ม 150 วินาที จึงสามารถคำนวณอัตราในการปลูกได้เท่ากับ $1.33\ \text{nm/s}$ และวัดความขรุขระบนพื้นผิวของคาร์บอนฟิล์มได้เท่ากับ 0.43 nm (Ra)

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องและกระบวนการเคลือบฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรบนซิลิกอนจากอะเซทิลีนพลาสมากระตุ้นด้วยไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศ ฟิล์มคาร์บอนถูกปลูกบนซิลิกอนเป็นเวลา 150 วินาทีโดยใช้ก๊าซอะเซทิลีนที่อัตราการไหล 30 mL/min ที่ความดันของห้องสุญญากาศ ระดับ -70 cmHg โดยใช้กำลังของคลื่นไมโครเวฟที่ 1,200 W ฟิล์มที่ปลูกได้ถูกวิเคราะห์อัตลักษณ์ของฟิล์มด้วย การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานและวิเคราะห์หาชนิดพันธะและองค์ประกอบของธาตุด้วย รามานสเปกโตรสโคปีพบว่า ฟิล์มที่ปลูกได้เป็นฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรจากการหาความหนาของฟิล์มโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม ได้ความหนาเท่ากับ 200 nm ค่าความอัตราในการปลูกได้เท่ากับ 1.33 nm/s และวัดความขรุขระบนพื้นผิวของคาร์บอนฟิล์มได้ 0.43 nm (Ra)

ข้อเสนอแนะ

เนื่องด้วยระบบไมโครเวฟพลาสมาปัจจุบันมีข้อจำกัดในเรื่องของช่วงเวลาในการเดินเครื่อง คือ ครั้งละไม่เกิน 30 วินาที จากสาเหตุที่ห้องสุญญากาศที่ทำจากแก้ว borosilicate ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ทั้งๆที่โดยทั่วไปแล้วแก้ว borosilicate สามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 400°C ดังนั้นเพื่อให้ระบบดังกล่าวมีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น จึงควรหาห้องสุญญากาศที่ทำจากควอตซ์ (quartz) ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้สูงกว่ามาทดแทน

ระบบไมโครเวฟพลาสมาที่พัฒนาขึ้นมานี้มีข้อจำกัดในเรื่องของการอ่านความดันสุญญากาศที่ยังขาดความแม่นยำเนื่องจากใช้เกจวัดความดันแบบเข็มซึ่งสามารถบอกระดับสุญญากาศได้คร่าวๆเท่านั้น แต่ระบบดังกล่าวก็เพียงพอที่จะสามารถปลูกฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรเพื่องานวิจัยและการเรียนการสอนได้ในลำดับต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Pakpum and P. Limsuwan, “A deep AlTiC dry etching for fabrication of Burnish and Glide slider head”, *Procedia Engineering*, Vol. 32, 2012, pp.1037-1042.
- [2] C. Silawatshananai, N. Matan, C. Pakpum, N. Pussadee, P. Srisantitam, S. Davynov, T. Vilaithong, “DC Plasma Ion Implantation in an Inductively Coupled RF Plasma”,
Poster paper : The First Cairo Conference on Plasma Physics and Applications 11-15 October 2003, Cairo-Egypt.
- [3] C. Pakpum, N. Pasaja, D. Boonyawan, P. Suanpoot, P. Srisantithum, C. Silawatshananai and T. Vilaithong, “Diamond-Like Carbon formed by Plasma Immersion Ion Implantation and Deposition Technique on 304 Stainless Steel”, *Solid State Phenomena*, Vol.107, 2005, pp.129-132.
- [4] P. Chaivan, N. Pasaja, D. Boonyawan, P. Suanpoot and T. Vilaithong, “Low-temperature plasma treatment for hydrophobicity improvement of silk” *Surface & Coating Technology*, Vol.193, 2005, pp.356-360.
- [5] มิณช์ เมธีสุวกุล, “แหล่งกำเนิดพลาสมาไมโครเวฟ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ในสุญญากาศสำหรับการสะท้อนลำอนุภาคประจุพลังงานต่ำ” *วิทยานิพนธ์ ปริญญา วิทยาศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่* 2549
- [6] Satreerat K. Hodak , T. Supasai, B. Paosawatanyong, K. Kamlangkla and V. Pavarajarn, “Enhancement of the hydrophobicity of silk fabrics by SF₆ plasma”, *Applied Surface Science*, Vol. 254, 2008, pp.4744-4749.
- [7] K. Suhem, N. Matan, M. Nisoa and N. Matan, “*International Journal of Food Microbiology*, Vol.161(2), 2013, pp.107-111.
- [8] K. Suhem, N. Matan, M. Nisoa and N. Matan, “Low pressure radio frequency plasma effects on the mould control, physical quality, nutritional value, mineral content and trace element content of brown rice snack bars”, *Journal of Food and Nutrition Research*, Vol. 52(2), 2013, pp.87-94.
- [9] P. Kerdongmee, D. Srinoum and M. Nisoa, “Development of compact high voltage switched mode power supply for microwave plasma sources supply for low pressure plasma”, *Journal of Instrumentation*, Vol. 6(08), 2011, pp. P08014-P08014.
- [10] O. Topon, V. Amornkitbamrung and T. Burinprakhon, “X-ray diffraction Studies on Grain

Size of Nanocrystalline Diamond and Residual Stress on Silicon Substrate Prepared by Hot-Filament Chemical Vapor Deposition”, New Diamond and Frontier Carbon Technology, Vol.17, 2007, pp.221-229

- [11] P. Kasemanankul, N. Witit-Anun, S. Chaiyakun and P. Limsuwan, “Apatite Formation on Rutile TiO₂ Film Deposited Using Dual Cathode DC Unbalanced Magnetron Sputtering” Engineering Journal, Vol. 16(3), 2011
- [12] X. Yu, Y. Wang, Y. Liu, T. Li, H. Zhou, X. Gao, F. Feng, T. Roinila and Y. Wang, “CMOS MEMS-based thermoelectric generator with an efficient heat dissipation path”, Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol.22 , 2012, 7 pages
- [13] นฤทธิ ฝ้ายบุตร และ วิทยา อมรกิจบำรุง, “ผลของอัตราส่วนผสมระหว่างก๊าซมีเทนกับก๊าซไฮโดรเจนต่อปริมาณธาตุไฮโดรเจนในฟิล์มไฮโดรจิเนตอะมอร์ฟัสคาร์บอน”, SDU Res. J. 5(2): Jul –Dec 2012, pp.53-63

ภาคผนวก

การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอผลงานที่งานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ “The 7th RMUTP International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Development: Challenges towards the green innovative society” ณ The Sukosol Hotel, Bangkok, Thailand ระหว่างวันที่ 23-24 มิถุนายน 2559 ภายใต้หมายเลขโปสเตอร์ Poster ID: P-ISE 42 ชื่องานวิจัยที่นำเสนอ “Carbon Thin Film on Silicon by Microwave Plasma”



CARBON THIN FILM ON SILICON BY MICROWAVE PLASMA

Chonticha Leena¹, Chupong Pakpum^{1*}

¹ Program in Materials Science, Faculty of Science, Maajo University, Chiang Mai 50290, Thailand

* Corresponding author: chupong_pakpum@hotmail.com

Abstract

This work aims to develop a low pressure microwave plasma deposition system to coat carbon thin film on silicon substrate. The system used a commercial microwave oven as a microwave source to get plasma discharge. The vacuum pressure was achieved by two stage rotary vane vacuum pump which is capable to reach ultimate pressure at 2×10^{-1} Pa under borosilicate chamber glass. The carbon thin films was successfully deposited on silicon substrate by pure acetylene plasma with gas flow rate 30 ml/min at total operating pressure of -70 cmHg reading by analog dial vacuum gauge, using microwave power at 1,200 Watts and deposit time at 150 seconds. Raman analysis showed peak at around 1336.20 cm^{-1} (D-peak) and 1611.87 cm^{-1} (G-peak). Energy Dispersive X-Ray analysis indicated that the deposited thin film compose of carbon atoms 82.00 at% and silicon atoms 18.00 at%. The morphology and the thickness of the film was investigated by scanning electron microscope and atomic force microscope, respectively.

Keywords: acetylene, carbon thin film, microwave plasma, silicon

© The 7th RMUTP International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Development:

Challenges towards the green innovative society (Abstract)