

การเตรียมฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร โดยการตกสะสมไอทางเคมีจากคลื่นความถี่วิทยุ

Preparation of Diamond - like Carbon Films by Radio Frequency Chemical Vapor Deposition

ชาญณรงค์ ภิรมย์จิตร (Channarong Piromjit)*

ดร. วิทยา อมรกิจบำรุง (Dr. Vittaya Amornkitbamrung)**

ดร. จันทรเพ็ญ โทมัส (Dr. Chunpen Thomas)***

ดร. พอพนธ์ สิชนนุกฤษฎ์ (Dr. Porponth Sichanugrist)****

บทคัดย่อ

ได้เตรียมระบบ Radio Frequency Chemical Vapor Deposition (RFCVD) ที่มีข้อไฟฟ้าแบบแผ่นกลมคู่ขนาน เพื่อใช้ศึกษาการเตรียมฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชร และศึกษาคุณสมบัติพลาสมาของก๊าซเฉื่อย ฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรถูกเตรียมบนกระจกสไลด์ที่ยึดอยู่บนขั้ว ground โดยเตรียมฟิล์มจากเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้ ปรับอัตราการไหลของก๊าซมีเทน ปรับกำลังไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นให้ก๊าซแตกตัว ปรับกำลังไฟฟ้าของ Ar etching วัสดุฐานรองก่อนเคลือบ ปรับอัตราส่วนการไหลของก๊าซผสม CH_4/He , CH_4/Ar และ CH_4/N_2 แล้วนำฟิล์มไปวิเคราะห์สมบัติทางแสงและค่า I_D/I_G ได้ความสัมพันธ์ดังนี้ ค่า I_D/I_G จะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราการไหลของ CH_4 หรือ เพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้น หรือ เพิ่มกำลังไฟฟ้าของ Ar etching ส่วนผลจากก๊าซผสม CH_4/He , CH_4/Ar ที่อัตราส่วน 0.1 ได้ค่า I_D/I_G มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าค่า I_D/I_G แปรผกผันกับค่า optical band gap ขณะก๊าซผสม CH_4/N_2 ให้ค่า I_D/I_G และ optical band gap ค่อนข้างคงที่ และจากผลของการศึกษาพลาสมาของก๊าซเฉื่อยเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเฉื่อย พบว่าค่า floating potential ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและไอออนบวกจะมีค่ามากขึ้น ขณะที่ศักย์พลาสมา อุณหภูมิอิเล็กตรอน พลังงานเฉลี่ยของฟังก์ชันการกระจายพลังงานของอิเล็กตรอน และค่า Debye length กลับลดลง แต่หากพิจารณาการกระจายตัวของความหนาแน่นอิเล็กตรอนตามแนวรัศมีของขั้วไฟฟ้า พบว่าที่อัตราการไหลต่ำ ๆ มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอกว่าที่อัตราการไหลสูง ๆ

คำสำคัญ : ฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชร

Key Words : Diamond-like Carbon RFCVD PECVD

* มหบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**** นักวิจัย ส่วนงานกลาง สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ABSTRACT

Radio Frequency Chemical Vapor Deposition (RFCVD) system with planar parallel electrode was setup for the preparation of diamond-like carbon (DLC) films and the study of the plasma characteristics. The DLC films were deposited on microscope slide substrates located at ground electrode. The optical properties and the intensity fraction I_D/I_G were measured as functions of flow rate of CH_4 , power discharges, power of Ar etching substrates, and the composition ratio of CH_4 mixed with He, Ar or N_2 . With the decreasing of flow rate of CH_4 , the increasing of power discharge, or the increasing of power of pre-Ar etching, the value of the intensity fraction I_D/I_G was increased. The DLC films prepared from both the fraction of CH_4/He and CH_4/Ar had maximum value of the intensity fraction I_D/I_G at CH_4 ratio equal to 0.1. From the experiment results, it was found that the intensity fraction of I_D/I_G was inversely proportional to optical band gap, while the changing of the fraction of CH_4/N_2 had a little effect to the intensity fraction of I_D/I_G and the optical band gap. In the study of the plasma parameters of inert gas, the values of floating potential, the electron density, and the ion density increased with increasing the flow rate of the inert gas. On the other hand, the electron energy distribution function (average energy), the electron temperature, the plasma potential and the Debye length decreased with increasing the flow rate of the inert gas. Finally, the electron density in radial axis was studied at various flow rates, we found that the low flow rate gives the homogeneous density than at high flow rate.

บทนำ

ปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับการดำเนินชีวิตอย่างมากมาย จะเห็นได้จากประเทศมหาอำนาจทางเศรษฐกิจอย่าง สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น ที่พยายามแข่งขันกันเพื่อให้ตนเป็นผู้นำทางเทคโนโลยีใหม่ๆ เทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นในขณะนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นเทคโนโลยีระดับไมโคร โดยกระบวนการผลิตจะเริ่มตั้งแต่การเตรียมผิววัสดุระดับไมครอนเพื่อสร้างลายวงจร Integrated Circuits (ICs) ขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการสร้าง ICs คือ กระบวนการเตรียมผิววัสดุที่ต้องอาศัยพลังงานของพลาสมา เช่น ถ้าต้องการเซาะร่องของฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์ความกว้าง $0.2\ \mu m$ ลึก $4\ \mu m$ พลาสมาก็จะเป็นเสมือนเครื่องมือที่จะนำมาสร้างฟิล์มบางซิลิคอนไดออกไซด์ ต่อจากนั้นก็ใช้

พลาสมาในการกัดเซาะร่องขนาดและความลึกตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าพลาสมาเป็นเครื่องมือผลิตเทคโนโลยีขนาดจิ๋ว ที่มีการใช้งานแพร่หลายในปัจจุบัน (Michael and Allan, 1994)

กระบวนการที่พลาสมาเข้าไปช่วยในการเตรียมผิววัสดุ มี 2 กระบวนการที่สำคัญ (Roth, 2001) คือ กระบวนการสร้างผิววัสดุ (deposit) และกระบวนการกัดเซาะ (etching) ซึ่งทั้งสองกระบวนการต้องเตรียมใน 챔เบอร์สุญญากาศที่มีความดันต่ำ โดยในการสร้างฟิล์มบาง ก๊าซที่เป็นวัตถุดิบจะถูกปล่อยเข้าไปภายใน 챔เบอร์ และถูกทำให้แตกตัวด้วยสนามไฟฟ้า การแตกตัวของก๊าซจะมีการเรืองแสงเกิดขึ้น เรียกว่า glow discharge ซึ่งขณะที่ก๊าซมีการเรืองแสงนี้จะเรียกว่าสถานะพลาสมา โดย

ภายในพลาสมาจะประกอบด้วย อิเล็กตรอน ไอออนบวก และอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลางที่อยู่ในสถานะกระตุ้น อะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ในสถานะกระตุ้นนี้เองที่มีผลต่อการเกิดฟิล์มบางบนวัสดุฐานรอง เพราะมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ถ้าต้องการกัดเซาะร่องผิวฟิล์มบางก๊าซที่ปล่อยเข้าภายใน 챔เบอร์อาจเป็นก๊าซเฉื่อย เพราะไอออนของก๊าซเฉื่อยจะเข้าไปชนกับโมเลกุลของฟิล์มให้หลุดออกมา กระแสไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นให้ก๊าซแตกตัวนั้นจะได้ทั้งไฟ DC และ AC (Radio Frequency หรือ Microwave)

เมื่อประมาณ 30 ปีแล้วมีการค้นพบว่าฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si:H) มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่ดี และสามารถเจือสาร (dope) ให้เป็น p-type และ n-type ได้ง่าย จึงได้มีการพัฒนาฟิล์มบาง a-Si:H เพื่อสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1974 (Luft and Tsuo, 1993) ปัจจุบันฟิล์มบาง a-Si:H มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและเทคโนโลยีที่นิยมใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้วิธี Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) หรือ Radio Frequency Chemical Vapor Deposition (RFCVD) แต่ต้นทุนในการผลิตยังค่อนข้างสูงอยู่ ดังนั้นจึงมีการวิจัยพัฒนา และปรับปรุงวิธีดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดต้นทุนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ ปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงเพื่อให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น ตลอดจนมีความพยายามปรับปรุงแก้ไขให้อัตราการเคลือบฟิล์มสูงขึ้นที่อุณหภูมิต่ำบนวัสดุฐานรองพื้นที่ขนาดใหญ่หรือบนวัสดุฐานรองราคาถูก ต่อมากลุ่มวิจัยฟิล์มเพชรเห็นข้อดีของระบบดังกล่าว จึงได้นำระบบ RFCVD ที่มีขั้วไฟฟ้าแบบ planar parallel electrode (ขั้วไฟฟ้าแบบคู่ขนาน) มาใช้เตรียมฟิล์มเพชรแทนวิธี Microwave Plasma

Enhanced Chemical Vapor Deposition (MW PECVD) เพราะข้อจำกัดของวิธี MW PECVD ที่ไม่สามารถพัฒนาให้สามารถเตรียมฟิล์มเพชรพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ (Jackman et al., 1995) ถึงแม้ว่าวิธี RFCVD จะสามารถเตรียมฟิล์มพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ แต่ฟิล์มที่เตรียมได้กลับมีโครงสร้างเป็น Diamond-Like Carbon (DLC) (Mutsukura and Miyatani, 1995) หรือฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร ซึ่งมีโครงสร้างใกล้เคียงกับเพชรแต่มีความเป็นระเบียบเชิงผลึกน้อยกว่าเพชร ส่วนสมบัติอื่นๆ เช่น ความแข็ง การนำความร้อน ความเร็วเสียงในตัวกลาง ความเป็นฉนวน การทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี การต้านทานรอยขีดข่วน ฯลฯ มีค่าใกล้เคียงกับเพชร และยังสามารถสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเพชร ตลอดจนสามารถเตรียมบนวัสดุได้หลายชนิดทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น เคลือบบนหัวอ่าน Hard Disk เคลือบบนเลนส์แว่นตาและเลนส์กล้องต่างๆ เคลือบบนแผ่น CD เพื่อทำหน้าที่ป้องกันรอยขีดข่วนและลดแรงเสียดทาน อันเป็นการยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้ให้นานขึ้น เคลือบบนวัสดุจำพวกมิดเกล มิดตัด ดอกสว่าน เพื่อเพิ่มความแข็งและลดแรงเสียดทาน ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นลดลง ใช้เป็นตัวระบายความร้อนในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เคลือบบนกระจกที่ใช้ในอาคารบ้านเรือนเพื่อให้แสงส่องผ่านได้มากขึ้นสามารถป้องกันไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนและการกัดกร่อนจากสารเคมี ทั้งนี้ยังช่วยให้ง่ายต่อการทำความสะอาดอีกด้วย เคลือบบนกระจกสไลด์เพื่อใช้ในงานวิจัยด้านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต เพราะฟิล์ม DLC จะไม่มีผลต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เคลือบบนกระจกของเครื่องสแกนเนอร์และเครื่องอ่านบาร์โค้ดเพื่อให้แสงส่องผ่านได้มากขึ้นและลดรอยขีดข่วนบนกระจก

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์

1.1 ชิ้นส่วนสำหรับประกอบติดตั้งเป็นระบบ RFCVD

- RF Generator, Matching Network, RF Tuner, RF Feedthrough
- แคมเบอร์ที่ทำจาก stainless steel
- ปัมสุญญากาศ Rotary Pump และ Turbo Pump พร้อมทั้งเครื่องวัดความดัน (Pressure Gauge และ Ion Gauge)
- ท่อนำก๊าซพร้อมทั้งวาล์วสำหรับปิดและเปิด
- ระบบหล่อเย็น ประกอบด้วย เครื่องทำน้ำเย็น และ ป้อนน้ำ
- หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

1.2 ก๊าซต่างๆ ต่อไปนี้ ก๊าซมีเทน ก๊าซอาร์กอน ก๊าซฮีเลียม และก๊าซไนโตรเจน

1.3 เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ

1.4 กระจกสไลด์

1.5 เครื่อง Raman Spectrometer

1.6 เครื่อง UV-Visible spectrometer

1.7 เครื่อง Langmuir probe

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาหลักการติดตั้งและกลไกของการเกิดพลาสมาของระบบ RFCVD

2.2 ออกแบบระบบ RFCVD ทั้งระบบภายในและภายนอกแคมเบอร์

2.3 ติดตั้งและสร้างระบบ AC-CVD อย่างง่ายขึ้นมาก่อน เพื่อทดสอบระบบสุญญากาศและการแตกตัวของก๊าซ

2.4 ประกอบระบบ RFCVD เข้าแทนระบบ AC-CVD และทดสอบการทำงานของระบบ RFCVD

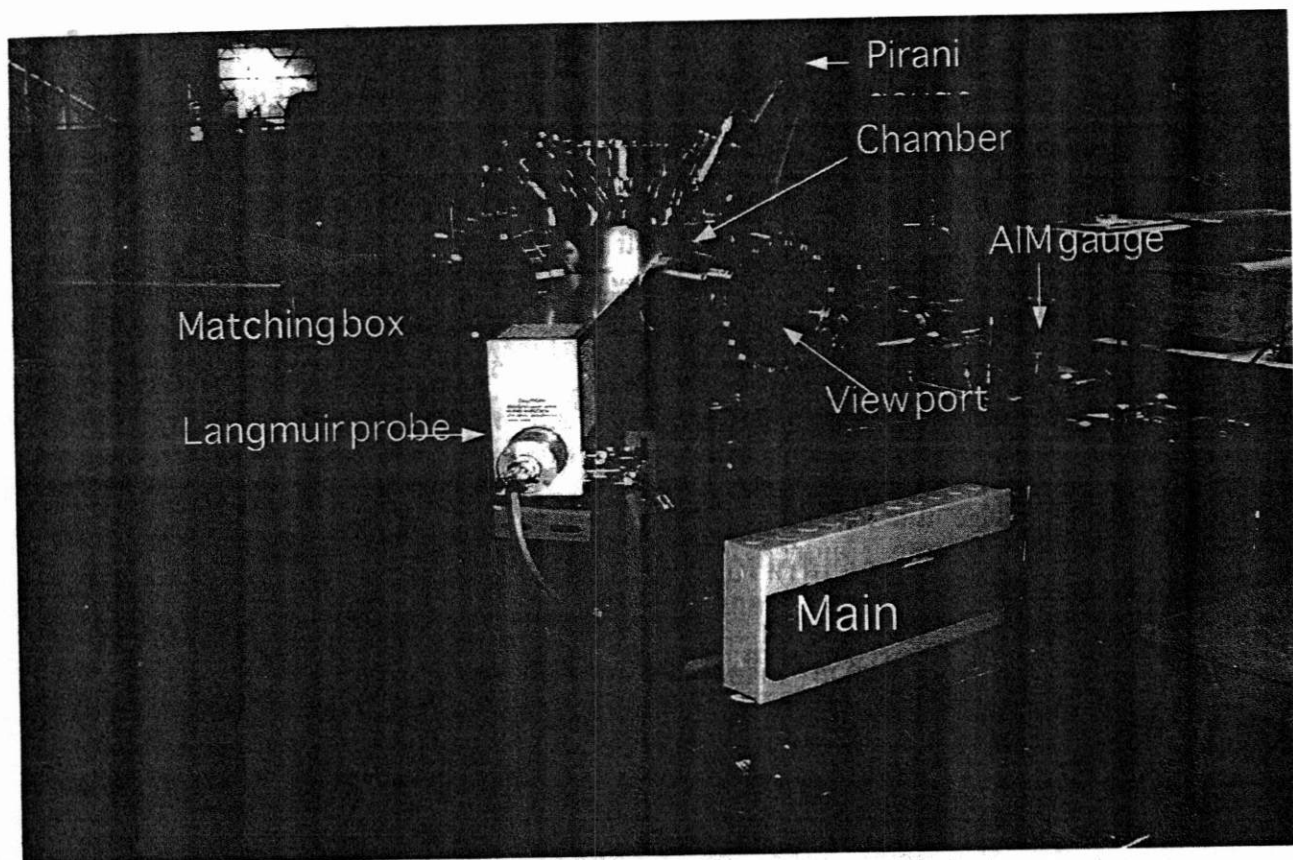
2.5 ทำการทดลองเคลือบฟิล์ม DLC ที่เงื่อนไขต่างๆ บนกระจกสไลด์

2.6 วิเคราะห์ฟิล์มที่เตรียมได้เพื่อหาเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มที่เหมาะสม

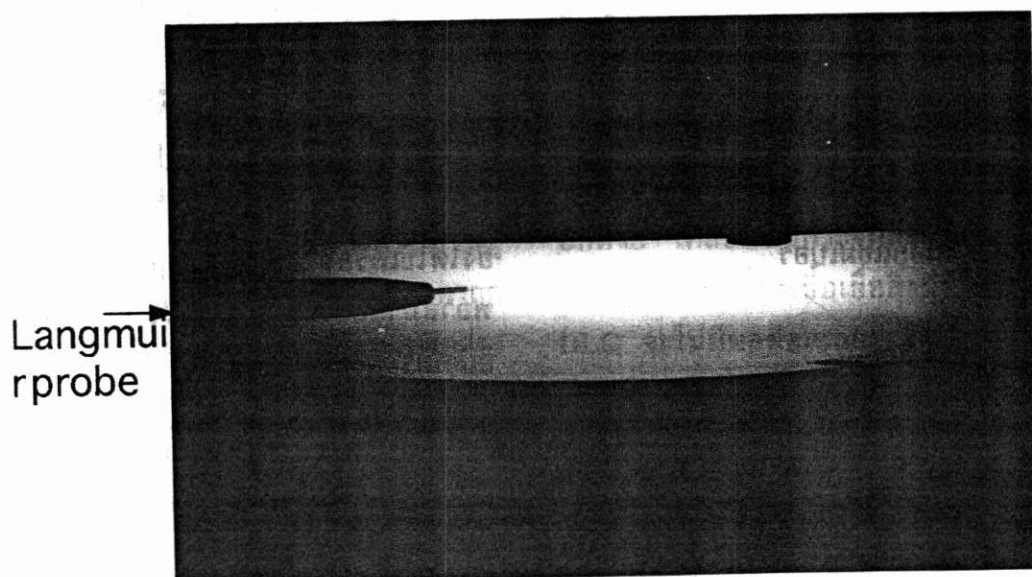
2.7 วัดสมบัติของพลาสมาด้วย Langmuir probe

ผลการทดลอง

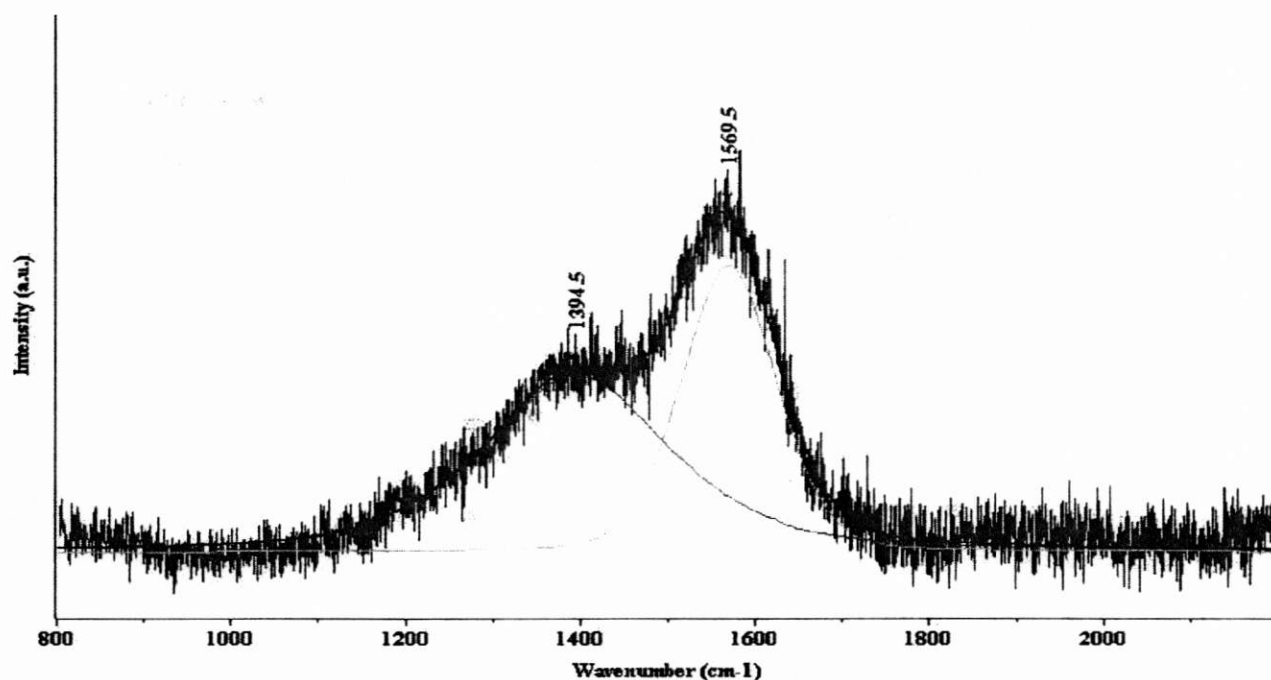
ระบบ RFCVD ที่ติดตั้งเพื่อใช้ในการเตรียมฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรและศึกษาสมบัติของพลาสมาได้แสดงในภาพที่ 1 สามารถใช้ศึกษาเงื่อนไขต่างๆ ในการเตรียมฟิล์ม และใช้ Langmuir probe วัดสมบัติของพลาสมาด้วย ดังภาพที่ 2 ส่วนเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรได้แก่เครื่อง Raman Spectrometer ซึ่งผลที่วัดได้แสดงในภาพที่ 3 เพื่อหาอัตราส่วน I_D/I_G ของฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร ส่วนเครื่อง UV-Visible spectrometer นั้นจะวิเคราะห์หาค่า optical band gap จากจุดตัดบนแกน X ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\infty h\nu)^{1/2}$ กับ $h\nu$ (เมื่อ ∞ คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง และ $h\nu$ คือพลังงานโฟตอน) ดังภาพที่ 4 นอกจากนี้ยังได้ใช้เครื่อง Langmuir probe ศึกษาสมบัติของพลาสมาและพบว่าการกระจายความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ตำแหน่งต่างๆ ดังภาพที่ 5 และ 6



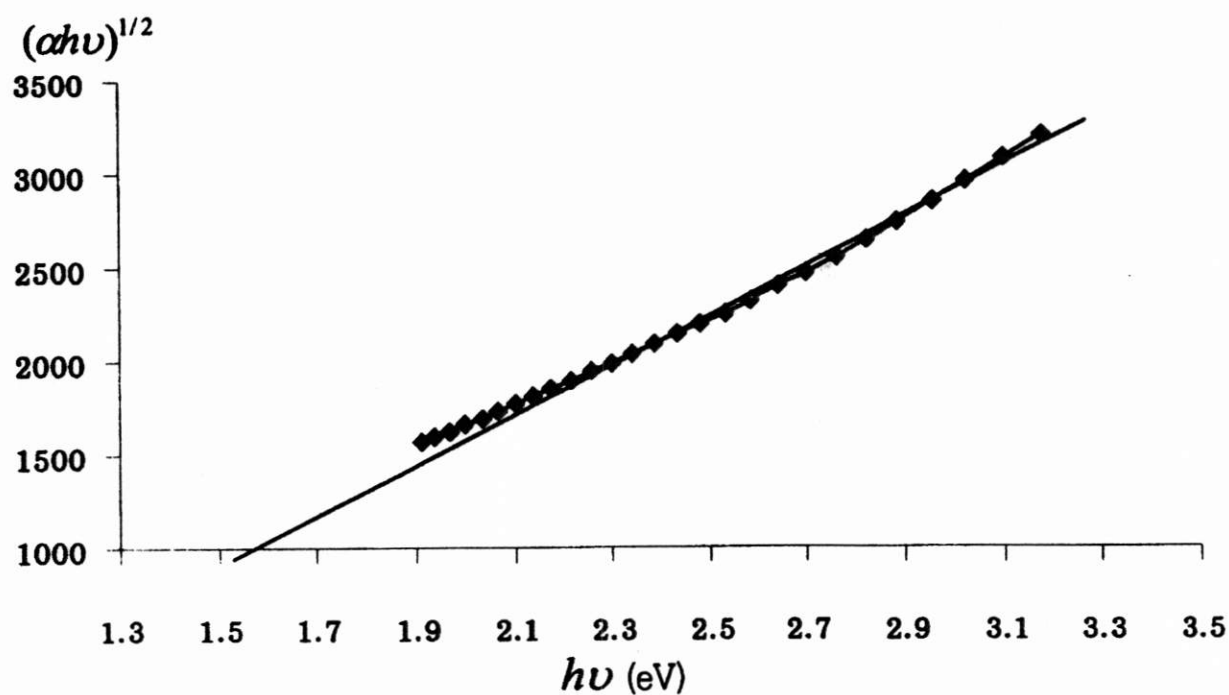
ภาพที่ 1 แสดงระบบ RFCVD ที่ติดตั้งแล้วเสร็จเพื่อใช้ในการเตรียมฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร



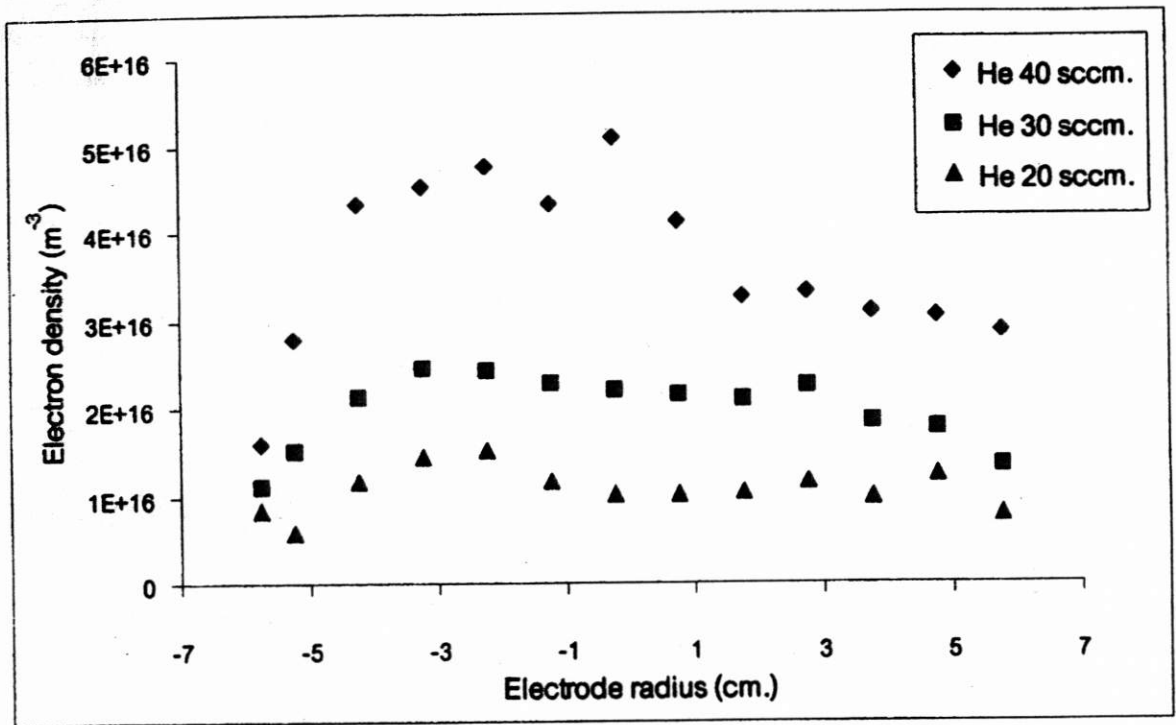
ภาพที่ 2 แสดงการเกิด glow discharge ของก๊าซฮีเลียมขณะที่ใช้ Langmuir probe ศึกษาสมบัติของพลาสมา



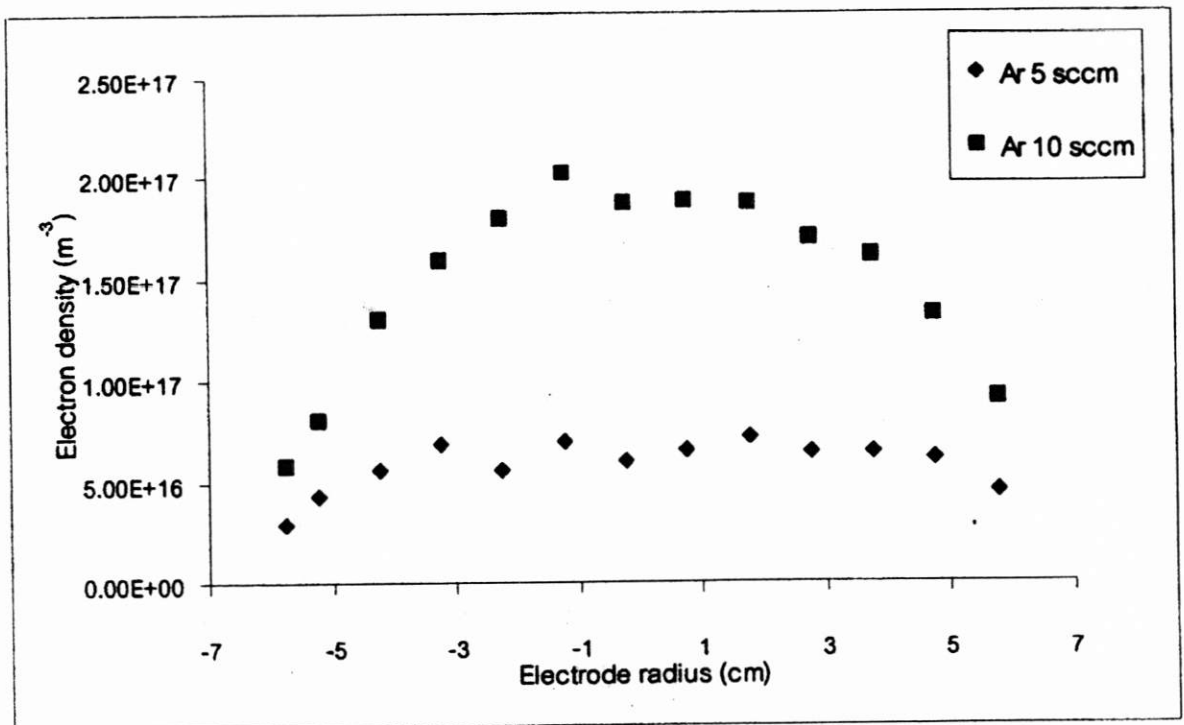
ภาพที่ 3 แสดงผลของตัด background และทำ peak deconvolution จะได้ I_D (พื้นที่ใต้กราฟของ D peak) และ I_G (พื้นที่ใต้กราฟของ G peak) โดยที่เลขคลื่น 1394.5 cm^{-1} คือ พิกของ D peak และ เลขคลื่น 1569.5 cm^{-1} คือพิกของ G peak



ภาพที่ 4 แสดงการนำข้อมูลจากเครื่อง UV-Visible spectrometer มาหาความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^{1/2}$ กับ พลังงานโฟตอน ($h\nu$) เพื่อใช้คำนวณหา optical band gap



ภาพที่ 5 แสดงความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของก๊าซฮีเลียมที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวรัศมีของขั้วไฟฟ้าที่อัตราการไหลของก๊าซต่างๆ กัน โดยที่ปลายหัววัดของ Langmuir probe วัดตามตำแหน่งกึ่งกลางในแนวตั้งระหว่างขั้วทั้งสอง



ภาพที่ 6 แสดงความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของก๊าซอาร์กอนที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวรัศมีของขั้วไฟฟ้า ที่อัตราการไหลของก๊าซต่างๆ กัน โดยที่ปลายหัววัดของ Langmuir probe วัดตามตำแหน่งกึ่งกลางในแนวตั้งระหว่างขั้วทั้งสอง

1. ผลของอัตราการไหลของก๊าซมีเทน (CH_4) ต่อการเกิดฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร

ฟิล์มที่เตรียมโดยการปรับอัตราการไหลของก๊าซมีเทนจาก 0.75 - 2 sccm กำลังไฟฟ้า 100 W พบว่าค่า optical band gap มีค่าเพิ่มขึ้น (0.6 - 1.5 eV) ตามอัตราการไหลของก๊าซมีเทน แต่ค่า I_D/I_G กลับมีค่าลดลง จาก 1.2 - 1.5 ส่วน การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของ D peak และ G peak มีแนวโน้มลดลงทั้งคู่เมื่ออัตราการไหลของมีเทนมากขึ้น

2. ผลของกำลังไฟฟ้าต่อการเกิดฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร

จากผลการศึกษาอัตราการไหลของก๊าซมีเทน พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า I_D/I_G ซึ่งมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของมีเทน ดังนั้นในการศึกษาเงื่อนไขจะให้อัตราการไหลของก๊าซมีเทนคงที่ที่ 1 sccm แล้วปรับกำลังไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นให้ก๊าซแตกตัวจาก 75 W - 150 W พบว่าค่าของ I_D/I_G จะเพิ่มขึ้นจาก 1.0 - 1.6 และมีแนวโน้มคงที่ที่ กำลังไฟฟ้า 125 - 150 W ส่วน I_D/I_G แปรผกผันกับค่า optical band gap คือ เมื่อค่า I_D/I_G เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้น ค่า optical band gap จะลดลงจาก 1.5 - 0.5 eV

3. การศึกษากำลังไฟฟ้าของ Ar etching ก่อนการเตรียมฟิล์ม

จากการทำ Ar etching ก่อนการเตรียมฟิล์ม ตั้งแต่ 75 W ขึ้นไป พบว่าจะช่วยให้ค่า I_D/I_G และค่า optical band gap มีค่าสูงกว่าฟิล์มที่เตรียมแบบไม่ทำ Ar etching โดยปริมาณดังกล่าวมีค่าเพิ่มจาก 1.3 เป็น 2.8 และ 0.5 eV เป็น 1.2 eV ตามลำดับ และที่ กำลังไฟฟ้าของ Ar etching สูงๆ ค่าเหล่านี้มีแนวโน้มคงที่ แสดงว่าการทำ Ar etching วัสดุฐานรองก่อนการเคลือบฟิล์มจะช่วยเพิ่มโอกาสในการเกิดฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรได้ดีขึ้น

4. ผลของก๊าซเฉื่อย (He และ Ar) และก๊าซไนโตรเจน ต่อการเกิดฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร

ฟิล์มที่เตรียมเพื่อศึกษาผลของการก๊าซผสม CH_4/He , CH_4/Ar , และ CH_4/N_2 แยกออกเป็น 2 เงื่อนไขคือ เงื่อนไขแรกจะกำหนดให้อัตราการไหลของก๊าซมีเทนต่อก๊าซอื่นจาก 0.01 ถึง 0.2 โดยกำหนดให้มีเทนคงที่ที่ 0.5 sccm แล้วปรับอัตราการไหลของก๊าซ He, Ar และ N_2 ส่วนเงื่อนไขที่สองคือ กำหนดให้อัตราการไหลของก๊าซมีเทนต่อก๊าซอื่นจาก 0.2 ถึง 1.0 โดยกำหนดให้ He, Ar และ N_2 คงที่ที่ 5 sccm แล้วปรับอัตราการไหลของก๊าซแทนแทนจากเงื่อนไขในการทดลองทั้งสอง พบว่าสำหรับเงื่อนไขแรก ทั้งค่า I_D/I_G และ optical band gap จะมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ คือ เมื่ออัตราส่วนของก๊าซมีเทนสูงขึ้น I_D/I_G จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมีค่ามากที่สุดเมื่ออัตราส่วนของ CH_4/He เป็น 0.1 และอัตราส่วนของ CH_4/Ar เป็น 0.2 (ค่า I_D/I_G มากที่สุดสำหรับก๊าซผสม CH_4/He เท่ากับ 2.4 และสำหรับก๊าซผสม CH_4/Ar เท่ากับ 1.0) หลังจากนั้นค่า I_D/I_G จะค่อยๆ ลดลง แล้วเริ่มคงที่เมื่ออัตราส่วนของมีเทนมีค่าตั้งแต่ 0.4 ขึ้นไป ซึ่งช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ใช้เงื่อนไขที่สอง ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าของ optical band gap นั้นจะแปรผกผันกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า I_D/I_G ดังนี้ คือ ค่า optical band gap ของก๊าซผสมทั้ง CH_4/He และ CH_4/Ar จะลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าต่ำที่สุดที่อัตราส่วนของก๊าซมีเทน 0.1 (ค่า optical band gap ต่ำที่สุดสำหรับก๊าซผสม CH_4/He เท่ากับ 0.5 eV และสำหรับก๊าซผสม CH_4/Ar เท่ากับ 1.5 eV) หลังจากนั้นก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ช่วงเงื่อนไขที่สอง ค่า optical band gap ก็จะมีค่าคงที่ ทั้งนี้ค่า I_D/I_G ของก๊าซผสม CH_4/He จะมีค่าสูงกว่าก๊าซผสม CH_4/Ar และค่า optical band gap ของก๊าซผสม CH_4/Ar จะมีค่าสูงกว่าก๊าซผสมระหว่าง CH_4/He สรุปได้ว่าสำหรับก๊าซผสมการเปลี่ยนอัตราการไหล

ของก๊าซเฉื่อยจะมีผลกับคุณสมบัติของฟิล์มมากกว่า การเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซมีเทน

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ D peak position และ G peak position พบว่ามีแนวโน้มคล้ายๆ กัน คือ ตำแหน่งของพีค จะเพิ่มมากขึ้น อย่างรวดเร็วและสูงที่สุดที่อัตราส่วนของก๊าซมีเทน 0.1-0.2 หลังจากนั้นก็จะค่อยๆ ลดลง เมื่ออัตราส่วนของมีเทนสูงขึ้น ตำแหน่งของ D peak และ G peak ของก๊าซผสม CH_4/He จะสูงกว่า ตำแหน่งของ D peak และ G peak ของก๊าซผสม CH_4/Ar

ส่วนก๊าซผสม CH_4/N_2 นั้นค่า ID/IG จะมีค่าสูงกว่าก๊าซผสมมีเทนกับก๊าซเฉื่อยเล็กน้อย และมีแนวโน้มคงที่เมื่ออัตราส่วนของมีเทนต่อไนโตรเจนมากขึ้น ในขณะที่ค่า optical band gap ก็มีแนวโน้มคงที่ตลอด ส่วนตำแหน่งของ D peak นั้น มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของมีเทนมากขึ้น ขณะที่ตำแหน่งของ G peak นั้นจะเพิ่มขึ้นในช่วงอัตราส่วนของมีเทนต่ำๆ หลังจากนั้นจะคงที่แล้ว ถึงจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของมีเทนสูงขึ้น

5. ศึกษาการแตกตัวของก๊าซฮีเลียม และก๊าซอาร์กอน

ได้ใช้เครื่อง Langmuir probe ศึกษาพลาสมาของก๊าซฮีเลียมและอาร์กอน พบว่าเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ความหนาแน่นของไอออนบวก และ Floating potential จะมีค่ามากขึ้น ส่วนอุณหภูมิของอิเล็กตรอน พลังงานเฉลี่ยของฟังก์กการกระจายพลังงานของอิเล็กตรอน ศักย์พลาสมา และค่าอิเล็กตรอน Debye length จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของก๊าซมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดฟิล์มกับคุณสมบัติต่างๆ ของพลาสมาได้ แต่เนื่องจากอิเล็กตรอนมีผลต่อการแตกตัวและแยกออกจากกันของก๊าซที่จะเกิดเป็นฟิล์ม จึงน่าสนใจที่พบว่าที่อัตรา

การไหลที่ต่ำๆ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่วัดได้ตลอดแนวรัศมีค่อนข้างจะสม่ำเสมอกว่าที่อัตราการไหลของก๊าซสูงๆ และความหนาแน่นอิเล็กตรอนของก๊าซฮีเลียมจะสม่ำเสมอกว่าก๊าซอาร์กอน ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6

สรุปการวิจัย

จากการเตรียมระบบ RFCVD เพื่อใช้เตรียมฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรบนวัสดุฐานรองที่เป็นกระจกสไลด์ที่วางไว้บนขั้ว ground และยังได้ศึกษาคุณสมบัติพลาสมาของก๊าซฮีเลียมและอาร์กอนด้วยจากเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง พบว่าสามารถเตรียมฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรโดยการวางวัสดุฐานรองกระจกสไลด์บนขั้ว ground ได้เช่นเดียวกันกับการเตรียมฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชรที่วางวัสดุฐานรองบนขั้ว power (Sun al et., 2000) โดยเงื่อนไขที่เตรียมฟิล์ม DLC ที่สามารถเตรียมได้ดีที่สุดคือ การทำ Ar etching ก่อนเคลือบฟิล์ม ส่วนผลจากการผสมก๊าซเฉื่อยนั้น ก๊าซผสม CH_4/He จะเตรียมฟิล์ม DLC ได้ดีกว่าก๊าซผสม CH_4/Ar แต่สำหรับก๊าซผสม CH_4/N_2 นั้นความเป็น DLC จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนของมีเทนต่อไนโตรเจน และยังพบความสัมพันธ์ของค่า I_D/I_G และค่า optical band gap จะแปรผกผันกันคือ ถ้าค่า I_D/I_G มากขึ้นค่า optical band gap จะลดลง จากการใช้ Lanmuir probe ศึกษาคุณสมบัติของพลาสมาทำให้ทราบว่า ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ความหนาแน่นของไอออนบวก และ Floating potential จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของก๊าซสูงขึ้น ขณะที่ อุณหภูมิของอิเล็กตรอน พลังงานเฉลี่ยของฟังก์กการกระจายพลังงานของอิเล็กตรอน ศักย์พลาสมา และ ค่าอิเล็กตรอน Debye length กลับลดลง

ข้อเสนอแนะ

จากฟิล์มที่เตรียมได้ถ้านำไปวัดคุณสมบัติอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น คุณสมบัติทางไฟฟ้า คุณสมบัติเชิงกล และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบาง จะทำให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมที่สามารถปรับปรุงและพัฒนาระบบ RFCVD ให้มีศักยภาพเพิ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Jackman, R.B., Beckman, J., and Foord, J.S. 1995. The growth of nucleation layers for high-quality diamond CVD from an r.f. plasma. *Diamond and Related Materials* 4: 735-739.
- Luft, W., and Tsuo, Y.S. 1993. Hydrogenated amorphous silicon alloy deposition processes. New York: Marcel Dekker, Inc.;
- Michael, A.L., and Allan, J.L. 1994. Principles of plasma discharges and materials processing. New York: John Wiley & Sons, Inc.;
- Mutsukura, N., and Miyatani, K. 1995. Deposition of diamond-like carbon film in CH₄-He r.f. plasma. *Diamond and Related Materials* 4: 342-345.
- Roth, J.R. 2001. Industrial plasma engineering. Vol.2. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing;
- Sun, Z., Lin, C.H., Lee, Y.L., Shi, J.R., Tay, B.K., and Shi, X. 2000. Properties and structures of diamond-like carbon film deposited using He, Ne, Ar/methane mixture by PECVD. *J. Appl. Phys.* 87(11): 8122-8131.