

กิจกรรมส่วนที่ 1 สร้างอุปกรณ์ทดสอบ

1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเป็นเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 8 มีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- 3 way valve ขนาด 1/4" ของ Hy-lok[®] ใช้สำหรับสลับการใช้ก๊าซระหว่างก๊าซหลักออกซิเจนและไฮโดรเจนกับก๊าซไนโตรเจนในกระบวนการ Purge นอกจากนี้ยังใช้สำหรับทำ By pass เพื่อให้ก๊าซไหลเข้าสู่เซลล์โดยตรงโดยที่ไม่ผ่าน Mass flow controller ในส่วนการดำเนินการจัดซื้อ เนื่องจากในแล็บมีอุปกรณ์ดังกล่าวเพียงพอต่อการสร้างระบบอยู่แล้วจึงไม่ทำการจัดซื้อ

- Flow meter ของบริษัท Omega ใช้สำหรับควบคุมการไหลของก๊าซอยู่ในช่วง 0- 150 SCCM จำนวน 2 ตัว ตัวที่ 1 สำหรับควบคุมการไหลของก๊าซไฮโดรเจน และตัวที่ 2 สำหรับควบคุมการไหลของก๊าซออกซิเจน

- เทปให้ความร้อนของบริษัท OMEGA model SWH172-020 ใช้สำหรับให้ความร้อนที่อบบริเวณที่ออกจาก Humidity Bottle ไปจนถึงตัวเซลล์เชื้อเพลิง รวมทั้งขาออกเพื่อป้องกันไอน้ำควบแน่นกลับมาเป็นน้ำ

- Humidity Bottle สำหรับเพิ่มความชื้นเพื่อให้ก๊าซพาความชื้นเข้าไปที่เซลล์เชื้อเพลิง วัสดุทำจาก Stainless steel และข้างในมีแผ่น Nafion ในส่วนนี้ทางคณะได้ใช้แท่งกักเก็บน้ำทำจากแผ่นอะครีลิก และให้ความร้อนแก่น้ำโดยใช้ฮีตเตอร์สำหรับตู้ปลา เพื่อทำให้ความชื้นที่ระเหยขึ้นถูกก๊าซพาไป

- Thermocouple ชนิด K ของบริษัท TIC และ Temperature controller สั่งซื้อยี่ห้อ Shimax รุ่น MAC3C สำหรับควบคุมอุณหภูมิน้ำ และอุณหภูมิที่อก๊าซ

- Data logger สำหรับเก็บข้อมูลอุณหภูมิของบริษัท Fluke model Hydra Series II

- 316 Stainless steel tube ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/4" ความหนา 0.035" และ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8" ความหนา 0.028" ดำเนินการสั่งซื้อจากบริษัท แอสทิวท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด

- 316 Stainless steel Nut และ Ferrule ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/4" ของ Hy-lok[®] ดำเนินการสั่งซื้อจากบริษัท แอสทิวท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด

- Check Valves ของ Hy-lok[®] part No. CV1-MH-4N4T-10-PE-SS ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/4" ใช้ตรวจสอบความดันภายในท่อเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของก๊าซ และตรวจสอบแรงดันก๊าซให้อยู่ในช่วงที่ต้องการใช้งาน ได้ทำการจัดซื้อจากบริษัท แอสทิวท์ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด

- Solenoid Valve ของบริษัท SMC part No. VX2120J-02-4DZ1 โดยโซลินอยด์วาล์ว ประกอบด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับทำหน้าที่เปิด-ปิดวาล์วเมื่อเปิดและปิดสวิตช์ เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะดูดเต็ยวาล์วเพื่อเปิดวาล์ว และเมื่อปิดสวิตช์จะตัดกระแสไฟฟ้าเต็ยวาล์วจะกลับไปสู่ตำแหน่งเดิมโดยน้ำหนักของตัวเองเพื่อปิดวาล์ว ดำเนินการสั่งซื้อกับบริษัท SMC

- Air Regulator ของบริษัท SMC part No. 10-APR30-N02BG-3Z ใช้เพื่อปรับแรงดันของก๊าซภายในถังหรือภายในท่อ ในส่วนการดำเนินงานจัดซื้ออยู่ระหว่างการจัดส่งสินค้าจากทางบริษัท

- Pressure sensor, pressure transducer ของบริษัท SMC part No. PES530-M5-CL เป็นเซนเซอร์ที่สามารถแปลงค่าความดันที่เกิดขึ้นต่อพื้นที่หน้าตัด (MPa, KgF/cm², N/m² ฯลฯ) เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ เหมาะสำหรับการทดสอบ และวัดค่าของความดันในการประยุกต์ใช้งานหลากหลายประเภท ได้แก่ ความดันของน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic) ความดันของน้ำมันเกียร์ ความดันถังก๊าซ (Gas Pressure) ความดันอากาศ (Air Pressure) ดำเนินการสั่งซื้อจากบริษัท SMC

- FEP Tubing (Fluoropolymer) TH0604N-20 ของบริษัท SMC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/4" สำหรับต่อเข้ากับ line ของก๊าซไฮโดรเจน เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนไม่ทำปฏิกิริยากับท่อที่เป็นพลาสติก เหตุผลที่ใช้ท่อ FEP

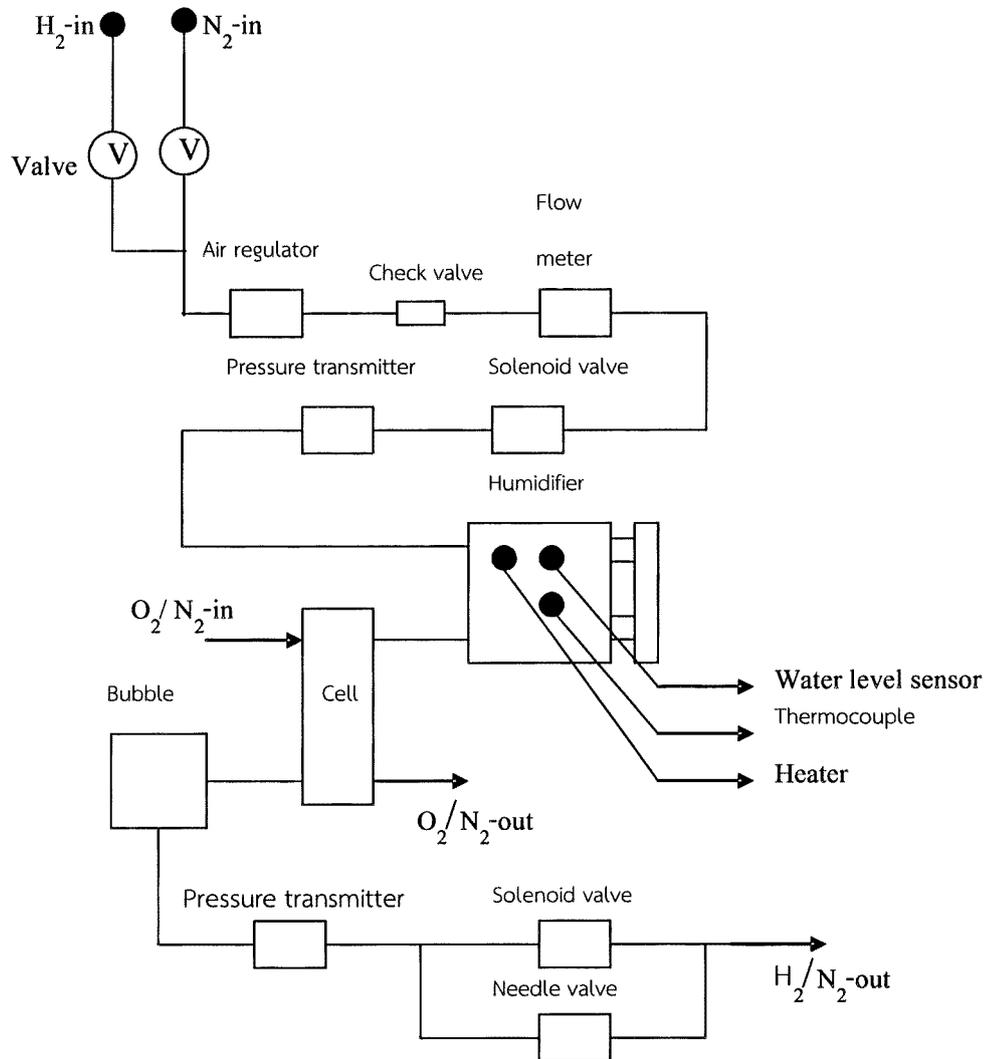
เพราะสามารถทนแรงดันได้สูง โดยที่อุณหภูมิ 25 °C ทนแรงดันได้ประมาณ 1.5 MPa และที่อุณหภูมิ 100 °C ทนแรงดันได้ประมาณ 0.55 MPa ซึ่งช่วงการใช้งานแรงดันก๊าซอยู่ที่ 0.1-0.4 MPa ที่อุณหภูมิ 25-30 °C ดำเนินการจัดซื้อจากบริษัทแอสทิวท์

- เซลล์เชื้อเพลิงมาตรฐาน (Standard Fuel Cell) ของบริษัท Electrochem
- Flashback Arrestor ของบริษัท SGD สำหรับก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจน
- โครงเหล็กพร้อมน็อต ใช้สำหรับทำเป็นฐานติดตั้งระบบตรวจสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง
- Thermocouple ชนิด k ของบริษัท TIC และ Temperature controller สั่งซื้อยี่ห้อ Linking LT400

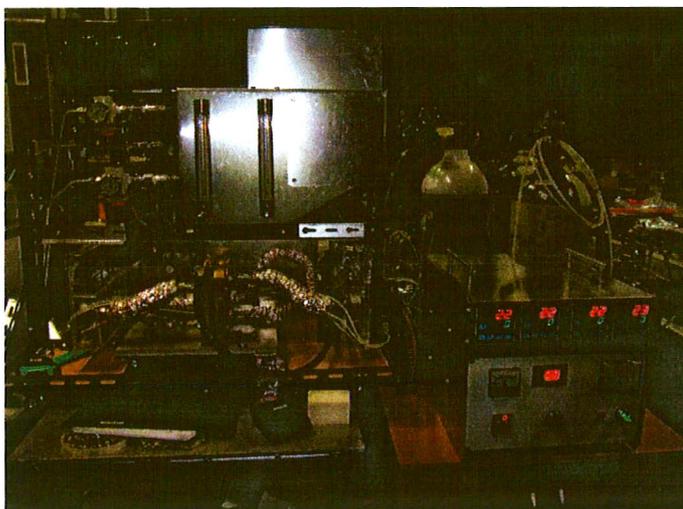
สำหรับควบคุมอุณหภูมิเซลล์

- Heater สำหรับเซลล์กำลังไฟฟ้า 60 W มาพร้อมกับเซลล์มาตรฐาน
- เครื่องกรองอากาศของบริษัท SMC รุ่น AFM40
- Needle valve ของ Swagelok สำหรับ bypass ก๊าซขาออกจากเซลล์
- ข้อต่อแบบ Tee ของ Swagelok
- ข้อต่อแบบ Straight Union ของ Swagelok
- เครื่องวัดความชื้นที่ทำขึ้นเอง
- ชุดขาตั้ง โดยโครงทำจากเหล็กเจาะรูชนิดที่ใช้ทำชั้นวางของ เนื่องจากมีราคาถูก และใช้ทดลองวางอุปกรณ์

ควบคุมก๊าซ อุณหภูมิ ชุดขาตั้งแบบถาวรจะทำจากโพรไฟล์อะลูมิเนียม (Aluminum Profile) ซึ่งจะถูกใช้แทนเหล็กเจาะรูในระยะต่อไป เครื่องมือที่สร้างขึ้นได้ในขั้นตอนนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ไดอะแกรมของเครื่องทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง

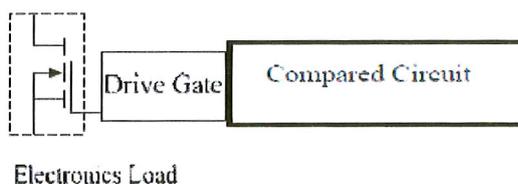


รูปที่ 9 ชุดทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อเลือกผ่านโปรตอนรุ่นที่ 2

1.2 ออกแบบและสร้างอิเล็กทรอนิกส์โหลด (Electronic load) อุปกรณ์ชิ้นนี้เปรียบเสมือนความต้านทานที่ปรับค่าได้ที่สามารถใช้ในการดึงกระแสจากเซลล์เชื้อเพลิง

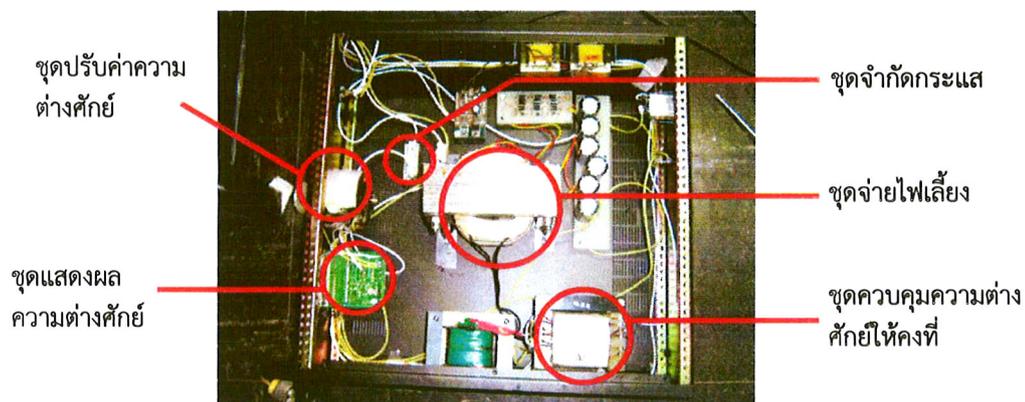
- วงจร Electronic Load สำหรับทดสอบคุณสมบัติ

เนื่องจากมีความต้องการที่จะวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างกระแสและความต่างศักย์จึงจำเป็นต้องมีโหลดที่สามารถปรับค่าความต้านทานได้ตามค่าความต่างศักย์และกระแส อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมการเปลี่ยนค่าความต้านทานตามความต่างศักย์ คือ MOSFET ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งที่ควบคุมค่ากระแสที่ขา D และ S ด้วยสนามไฟฟ้า ถ้าสร้างวงจรควบคุมค่าสนามไฟฟ้าที่ขา G ก็จะสามารถทำให้ MOSFET สามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ขา D-S ลักษณะของวงจรเพื่อใช้งานเป็นอิเล็กทรอนิกส์โหลดเขียนเป็น Block Diagrams ได้คร่าวๆ ดังรูปที่ 10 ชุดอุปกรณ์ที่ทำสำเร็จในขั้นต้นเป็นดังรูปที่ 11



Electronics Load

รูปที่ 10 Block Diagram ของ Electronics Load



รูปที่ 11 ก (รูปบน) ชุดควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไหลที่ได้สร้างขึ้น
 ข (รูปล่าง) ระบบอิเล็กทรอนิกส์ไหลตั้งอยู่บนเครื่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อความร้อนแก๊ส

กิจกรรมส่วนที่ 2 เคลือบขั้วไฟฟ้าสแตนเลสด้วยฟิล์มบางคาร์บอนนำไฟฟ้า, ฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรนำความร้อนด้วยกระบวนการ Radio frequency chemical vapor deposition (RFCVD) ดังรูปที่ 12 ความสามารถและคุณสมบัติของเครื่อง RFCVD ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น แสดงไว้ในตารางที่ 3



รูปที่ 12 ระบบ Radio frequency chemical vapor deposition (RFCVD) ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตารางที่ 3 ความสามารถ และคุณสมบัติของเครื่อง RFCVD ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ระบบ	ประเภท	คุณสมบัติ
ระบบสุญญากาศ	ปริมาตรภาชนะสุญญากาศ	15 ลิตร
	อัตราการรั่ว	2×10^{-7} Torr l s ⁻¹
	ความดันต่ำสุด	7.0×10^{-3} mbar (โดยปั๊มเชิงกล)
	เกจวัดความดันระดับความดันสูง	เกจแบบเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ยี่ห้อ Leybold รุ่น TR211 KF
		เกจแบบโคอะแฟรม(diaphragm) ยี่ห้อ Vacuum Research
	เกจวัดความดันระดับความดันต่ำ	เกจแบบไอออไนเซชัน (ionization) ยี่ห้อ Leybold
	ปั๊มเชิงกล	ยี่ห้อ Edwards รุ่น RV8
	ปั๊มเทอร์โบโมเลกุล	ยี่ห้อ Varian รุ่น Turbo V70
	ปั๊มไอออไนเซชัน	ยี่ห้อ Varian รุ่น Diode
ระบบไฟฟ้า	แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	ไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่ 13.56 MHz กำลัง 1250 วัตต์ ยี่ห้อ Advance Energy รุ่น RFX 1250
	ชุดปรับสมมูลความต้านทาน	ยี่ห้อ Advance Energy รุ่น TCM
	สายนำสัญญาณ	RG 218 A/U
	ขั้วขอตอเล็กโทรด (hot electrode)	วัสดุโลหะสแตนเลส เบอร์ 316 ขนาด \varnothing 4 "

ระบบ	ประเภท	คุณสมบัติ
ระบบไฟฟ้า	ขั้วกราวด์อิเล็กโทรด (ground electrode)	วัสดุโลหะทองแดง ขนาด \varnothing 4.75"
	ระยะห่างขั้วไฟฟ้า	0 - 5 เซนติเมตร
	ชนิดวัสดุให้ความร้อนขึ้นงาน	pyrolytic boron nitride-coated pyrolytic graphite
ระบบให้ความร้อนขึ้นงาน	ความต้านทานที่อุณหภูมิห้อง	26 โอห์ม
	อุณหภูมิสูงสุด	1100 องศาเซลเซียส
	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	72 มิลลิเมตร
	เครื่องควบคุมอุณหภูมิ	ยี่ห้อ sigma รุ่น SFN96
	กระแสสูงสุด	40 แอมแปร์ (Ampere)
	อัตราการไหล	2 ลิตรต่อนาที
ระบบหล่อเย็น	ตัวกลางหล่อเย็น	น้ำกลั่น
	การหล่อเย็นที่แหล่งจ่าย	มี
	การหล่อเย็นที่วงจรปรับสมมูล	มี
	การหล่อเย็นที่สายไฟฟ้า	ไม่มี
	การหล่อเย็นที่วัสดุฐานรอง	ไม่มี
	การหล่อเย็นที่บีมเทอร์โบโมเลกุล	มี
	MFC ยี่ห้อ Brooks Instrument รุ่น SLA5250	อัตราการไหลสูงสุด 500 sccm ควบคุมก๊าซไฮโดรเจน (H ₂)
ระบบควบคุมการไหลก๊าซ	ปรับเทียบการไหลมาตรฐานกับก๊าซไนโตรเจน(N ₂)	อัตราการไหลสูงสุด 120 sccm ควบคุมก๊าซอาร์กอน (Ar)หรือฮีเลียม (He)
	MFC ยี่ห้อ Unit รุ่น 7300	อัตราการไหลสูงสุด 120 sccm ควบคุมก๊าซมีเทน (CH ₄)
	ปรับเทียบการไหลมาตรฐานกับก๊าซไนโตรเจน(N ₂)	อัตราการไหลสูงสุด 500 sccm ควบคุมก๊าซไนโตรเจน (N ₂)
	MFM ยี่ห้อ Unit รุ่น URS20 และ URS 40	แสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ 0 -100 % ของอัตราการไหลสูงสุด
	ก๊าซไฮโดรเจน	มีระบบทำให้บริสุทธิ์ด้วยเซลล์ palladium
ระบบก๊าซและท่อนำก๊าซ	ก๊าซไนโตรเจน	99.999%
	ก๊าซมีเทน	99.99%
	ก๊าซอาร์กอน	99.999%
	ก๊าซฮีเลียม	99.999%
	ท่อนำก๊าซ	โลหะสแตนเลส เบอร์ 316 \varnothing 6.35 มิลลิเมตร

ในระหว่างที่มีการดำเนินงานวิจัย ตัวเครื่อง RFCVD ต้องได้รับการปรับปรุงหลายส่วนได้แก่

- การติดตั้งเครื่องทำความร้อนให้กับชิ้นงานซึ่งจำเป็นสำหรับฟิล์มที่ต้องการมีการโดบสารเจือ อย่างเช่น ไนโตรเจนเพื่อให้ฟิล์มมีความนำไฟฟ้าดีขึ้น
- ติดตั้งขั้วกราวด์
- การปรับปรุงเสถียรภาพของเครื่องกำเนิด Radio Frequency (RF)

โครงการสนับสนุนการวิจัยขยายผลสู่การปฏิบัติและพัฒนาต่อยอดงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์

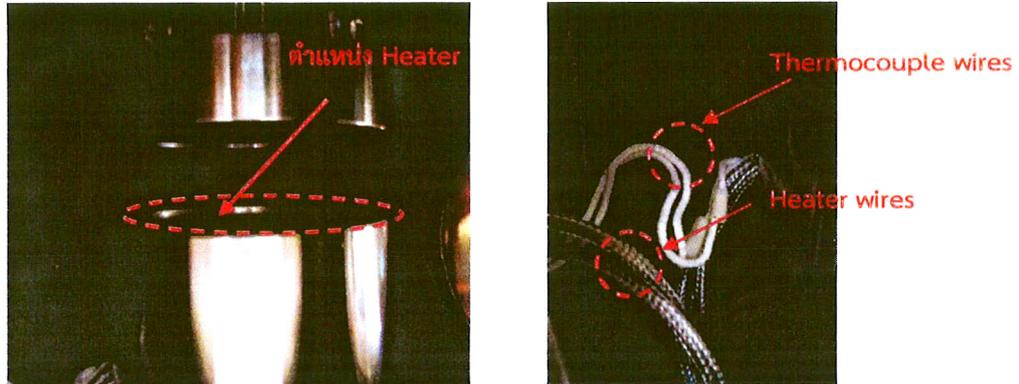
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2553

2.1 การติดตั้งระบบเพิ่มอุณหภูมิชิ้นงาน

ผลการดำเนินงาน

2.1.1 สั่งซื้อ Heater แบบ Pyrolytic graphite ที่เคลือบด้วย Pyrolytic boron nitride

2.2.2 ทำการติดตั้งเข้ากับฐานยึดอย่างเสร็จสมบูรณ์ และต่อสายขั้ว และสายเทอร์โมคัปเปิลเปิดออกมาภายนอก โดยผ่าน Feed through ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ส่วนของสาย Thermocouple และสาย Heater

2.2 การติดตั้งระบบขั้วไฟฟ้า Ground ที่สามารถปรับระดับได้จากภายนอกภาชนะสุญญากาศ

ผลการดำเนินงาน

2.2.1 ทำการติดตั้งขั้วไฟฟ้า Ground เข้ากับภาชนะสุญญากาศได้อย่างเสร็จสมบูรณ์

2.2.2 สามารถปรับระดับได้จากภายนอกตามที่ได้ตั้งเป้าไว้ โดยมีระยะตั้งแต่ 0 – 5 ซม. ระยะการยกกระดืบ 0.5 ซม./รอบ ดังรูปที่ 14

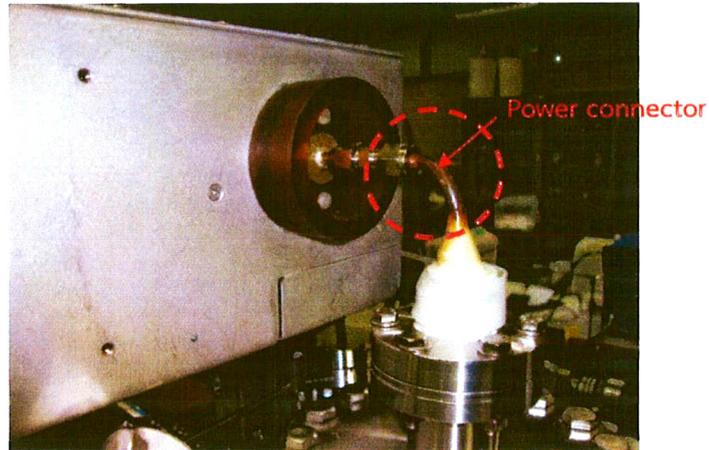


รูปที่ 14 แกนที่ใช้หมุนปรับระดับ

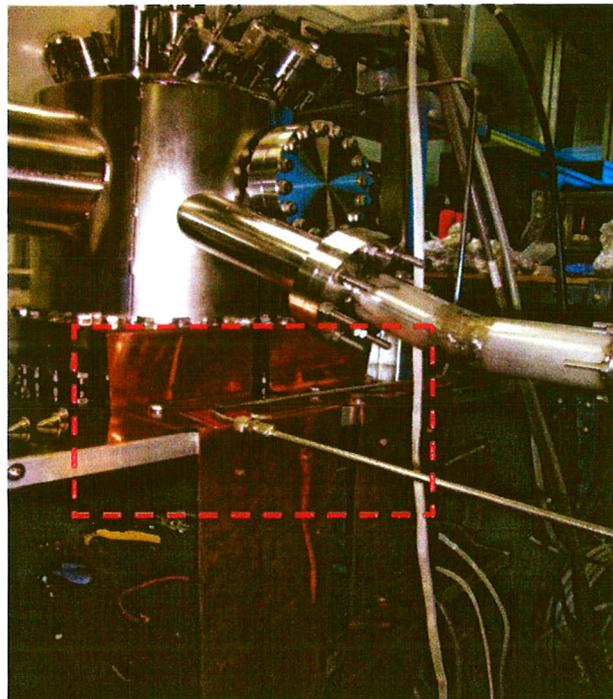
2.3 การปรับปรุงเสถียรภาพของเครื่องกำเนิด Radio Frequency (RF) ให้สามารถทำงานที่กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ผลการดำเนินงาน

2.3.1 เปลี่ยนลักษณะการเชื่อมต่อขั้วไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 15 เพื่อลดการเกิดความร้อนอันเป็นสาเหตุของการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้า

2.3.2 เพิ่มแผ่นตัวนำที่ต่อลงสายดินให้กระแสไหลได้สะดวกขึ้น ดังรูปที่ 16



รูปที่ 15 ตำแหน่งการเชื่อมต่อขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 16 ตำแหน่งที่เพิ่มแผ่นตัวนำที่ต่อลงสายดินให้กระแสไหลได้สะดวกขึ้น

2.4 สภาพการทำงานในปัจจุบัน

2.4.1 สามารถเดินเครื่องกำเนิด RF ให้จุดพลาสมาของก๊าซได้ที่กำลังไม่เกิน 100 วัตต์ โดยมีสัญญาณสะท้อนประมาณ 2-3 % แสดงดังรูปที่ 17

2.4.2 ก๊าซที่ใช้งานคือ มีเทน (CH_4), ไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซเฉื่อยได้แก่ อาร์กอน (Ar), ฮีเลียม (He) แสดงดังรูปที่ 18

2.4.3 อยู่ในช่วงการปรับปรุงระบบ ground และจุดเชื่อมต่อต่างๆ และปัญหาที่เกิดขึ้นกับ Matching network เพื่อให้ทำงานที่กำลังที่สูงขึ้น

ปัญหาที่พบ

ปัญหาหลักคือเมื่อเดินเครื่อง RF ที่กำลังสูงๆ ระบบมักจะมีค่าอิมพีแดนซ์ไม่คงที่ ระบบการ Impedance matching จะทำการปรับอิมพีแดนซ์ใหม่ และพลาสมาจะดับไปทำให้เครื่องทำงานต่อไม่ได้



รูปที่ 17 พลาสมาก๊าซมีเทนของระบบที่ติดตั้งขั้วไฟฟ้าแบบใหม่ที่กำลังไฟฟ้า 30 วัตต์



รูปที่ 18 ระบบส่งก๊าซ ได้แก่ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน อาร์กอน และ ฮีเลียม

2.5 การปลูกฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร (Diamond like carbon: DLC)

วิธีการปลูกฟิล์ม DLC

1. ตัดกระจกสไลด์ (ในที่นี้ใช้กระจกเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ความหนา) ออกเป็นสามส่วนเท่าๆกัน ล้างด้วยน้ำยาล้างจานแล้วนำไปโซนิคใน Acetone, Methanol และ Distilled Water อย่างละประมาณ 10 นาที ตามลำดับ
2. ปรับระยะห่างระหว่างขั้วของเครื่อง RFCVD ไปที่ระยะ 1.6 ซม. นำกระจกสไลด์ที่ตัดแล้วเข้าไปวางบนขั้วที่วางชิ้นงานสองชิ้น ปิดฝาเครื่องแล้วเปิดปั๊มดูดอากาศออกจนได้ความดันประมาณ 3×10^{-3} mbar โดยจะใช้เวลาประมาณ 15 ชั่วโมง
3. เมื่อได้ความดันที่ต้องการ ให้เปิดระบบน้ำหล่อเย็นให้แก่เครื่อง Matching box รอให้น้ำมีอุณหภูมิขาออกประมาณ 22 °C และเปิดเครื่องอุ่นก๊าซไฮโดรเจนให้ได้อุณหภูมิประมาณ 330 °C โดยขั้นตอนทั้งสองจะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง
4. เปิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) เข้าไป 32.2 SCCM (6.5 %)
5. รอจนความดันนิ่งเปิด Matching box และ Power Supply ปรับกำลังไปที่ 85 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที เสร็จแล้วลดกำลังลงเหลือ 0 วัตต์
6. เปิดก๊าซมีเทน (CH_4) เข้าไป 3.1 SCCM (3.6 %)
7. รอจนความดันนิ่งแล้วปรับกำลังไปที่ 85 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที เสร็จแล้วลดกำลังลงเหลือ 0 วัตต์
8. ปิด Matching box, Power Supply, ก๊าซไฮโดรเจน, ก๊าซมีเทน, เครื่องอุ่นก๊าซไฮโดรเจน และระบบหล่อเย็น ตามลำดับ
9. ผ่านไป 2 ชั่วโมง เปิดอากาศเข้าและนำชิ้นงานออก
10. กลับไปทำตามขั้นที่ 1 ใหม่โดย เปลี่ยนระยะห่างระหว่างขั้วของเครื่อง RFCVD ที่ระยะ 1.6, 1.8, 2.0, 2.2 และ 2.4 แล้วนำชิ้นงานไปวัดด้วย Raman spectroscopy, UV - Visible Ellipsometer และการนำไฟฟ้าด้วย Four Probe Vander Pauw ต่อไป

โครงการสนับสนุนการวิจัยขยายผลสู่การปฏิบัติและพัฒนาต่อยอดงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2553

กิจกรรมส่วนที่ 3 เคลือบอนุภาคนาโนของเหล็กบนแผ่นขั้วไฟฟ้าด้วยกระบวนการ Electrophoretic deposition (EPD)

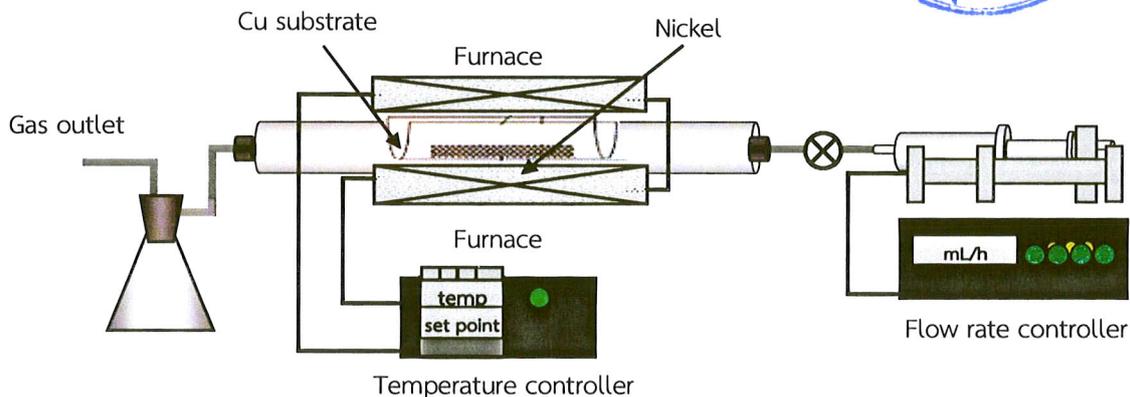
EPD เป็นการเคลือบฟิล์มที่ใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมี โดยนำขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ดี และสามารถให้ประจุบวกกับอนุภาคที่จะถูกเคลือบเป็นฟิล์ม อนุภาคซึ่งถูกทำให้แขวนลอยอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ถูกผลักให้ไปติดอยู่บนผิวหน้าของแผ่นรอง (Substrate) หรือชิ้นงานที่จะถูกเคลือบซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วลบ ทางคณะผู้วิจัยได้มีการยกเลิกการทดลองในส่วนนี้ เนื่องจากฟิล์ม DLC ที่ผลิตได้มีค่าความต้านทานสูงและไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าและการเคลือบวิธีดังกล่าวสามารถในบริเวณที่จำกัด สำหรับเซลล์ที่รับมาจากทางคณะของพลอากาศโทมรกต ชาญสำรวจ พื้นที่ในการเคลือบมีขนาด $7 \times 7 \text{ cm}^2$ วิธีที่เหมาะสมสำหรับการเติมคะตะลิสต์ลงบนพื้นที่ขนาดใหญ่อย่างเช่น การทาคะตะลิสต์ที่ทำจากเส้นใยคาร์บอนนาโนลงบนแผ่นผ้าคาร์บอนโดยตรงน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมมากกว่า

ในส่วนที่ทางคณะได้เสนอไว้ให้มีการเคลือบคะตะลิสต์โลหะอย่างเช่น เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ ลงบนขั้วไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี DLC เคลือบอยู่ เพื่อใช้เป็นคะตะลิสต์สำหรับการปลุกเส้นใยคาร์บอนนาโนนั้น ทางคณะจึงประสบปัญหาในการดำเนินงานดังกล่าวเนื่องจาก 1) ไม่สามารถเคลือบคะตะลิสต์ได้ด้วยวิธี EPD 2) ระบบการปลุกเส้นใยคาร์บอนมิใช่เป็นแบบระบบสุญญากาศ จึงทำให้ขั้วไฟฟ้าที่เป็นโลหะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย แนวทางในการแก้ไขคือ การต่อระบบปั๊มเพื่อทำให้ระบบการปลุกเป็นสุญญากาศ อย่างไรก็ตามเส้นใยคาร์บอนที่ปลุกได้ในบรรยากาศปกติ ก็สามารถถูกนำไปเติมลงบนชั้นคะตะลิสต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงได้เช่นกัน ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้เสนอให้มีการปลุกเส้นใยคาร์บอนนาโนไว้ต่างหากแทนการปลุกเส้นใยลงบนขั้วโดยตรง

กิจกรรมส่วนที่ 4 การสร้างระบบปลุกเส้นใยคาร์บอน และการปลุกเส้นใยคาร์บอน

ได้มีการดำเนินงาน ดังนี้

- 4.1 สร้างเตาปลุกเส้นใยคาร์บอนในระบบบรรยากาศปกติ (Atmospheric chemical vapor deposition, APCVD)
- 4.2 ปลุกเส้นใยคาร์บอนด้วยกระบวนการตกสะสมไอเคมีแบบ AP-CVD ดังแสดงในรูปที่ 19 ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) เป็นแหล่งของคาร์บอน โดยบรรจุเอทานอลลงในเข็มฉีดยา ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในเครื่องควบคุมอัตราการฉีดด้วยปั๊มกดกระบอกฉีดยา เมื่อทำการปล่อยเอทานอลเข้าไปในเตาเผาที่มีสารตั้งต้นวางอยู่บนแผ่นฐานรองทองแดงจะทำให้เอทานอลแตกตัวกลายเป็นก๊าซไหลเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น (Metal reactant) ทำให้เกิดกระบวนการตกสะสมไอเคมีขึ้นตามเวลาและอุณหภูมิดังแสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 19 แผนภาพอุปกรณ์การสังเคราะห์เส้นใยนาโนคาร์บอนโดยกระบวนการตกสะสมไอสารเคมี²²

ตารางที่ 4 เงื่อนไขที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนคาร์บอนด้วยวิธีการตกสะสมไอเคมี (CVD) ระยะเวลาในการปลูกฟิล์มคือประมาณ 9 ชั่วโมง

อัตราการไหล (mL/h)	อุณหภูมิ (°C)
20	500
	600
	700
24	500
	600
	700