สารบัญเรื่อง (Table of Contents)

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	I
	บทคัดย่อ	II
	Abstract	III
	สารบัญเรื่อง	IV
	สารบัญตาราง	V
	สารบัญรูป	VI
	คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	VIII
บทที่ 1	บทนำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (Introduction)	1
บทที่ 2	วิธีดำเนินการวิจัยรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์	12
บทที่ 3	อภิปราย/วิจารณ์ (Discussion)	26
บทที่ 4	สรุปและเสนอแนะ	42
	ภาคผนวก ก	43
	ภาคผนวก ข	44
	บรรณานุกรม	45

สารบัญตาราง (List of tables)

หน้า

ตารางที่ 1 คุณสมบัติสำคัญของแผ่นไบโพล่าร์สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM 9
ตารางที่ 2 การดำเนินงานตามเวลาที่วางแผนไว้ (เส้นประ) และเวลาที่ปฏิบัติงานจริง (เส้นทึบ) 12
ตารางที่ 3 ความสามารถ และคุณสมบัติของเครื่อง RFCVD ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 18-19
ตารางที่ 4 เงื่อนไขที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนคาร์บอนด้วยวิธีการตกสะสมไอเคมี (CVD) (ระยะเวลาในการปลูกฟิล์มคือประมาณ 9 ชั่วโมง) 25

สารบัญรูป (List of Illustrations)

หน้า

รูปที่ 1	หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง	2
รูปที่ 2	ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิง	3
รูปที่ 3	กราฟแสดงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงโดยแกน X แสดงค่าความหนาแน่นของกระแส (แอมแปร์/ตารางซม.) และแกน Y แสดงค่าความต่างศักย์ (โวลต์)	5
รูปที่ 4	โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน	6
รูปที่ 5	ลักษณะโครงสร้างผลึกของคาร์บอนคล้ายเพชร	7
รูปที่ 6	ไดอะแกรมของระบบ Capacitively coupled plasma	7
รูปที่ 7	ไดอะแกรมของเครื่องทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง	8
รูปที่ 8	ไดอะแกรมของเครื่องทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง	15
รูปที่ 9	ชุดทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อเลือกผ่านโปรตอนรุ่นที่ 2	16
รูปที่ 10	Block Diagram ของ Electronics Load	16
รูปที่ 11	ก (รูปบน) ชุดควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ได้สร้างขึ้น ข (รูปล่าง) ระบบอิเล็กทรอนิกส์โหลดตั้งอยู่บนเครื่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ความร้อนแก่ก๊าซ	17
รูปที่ 12	ระบบ Radio frequency chemical vapor deposition (RFCVD) ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	18
รูปที่ 13	ส่วนของสาย Thermocouple และสาย Heater	20
รูปที่ 14	แกนที่ใช้หมุนปรับระดับ	20
รูปที่ 15	ตำแหน่งการเชื่อมต่อขั้วไฟฟ้า	21
รูปที่ 16	ตำแหน่งที่เพิ่มแผ่นตัวนำที่ต่อลงสายดินให้กระแสไหลได้สะดวกขึ้น	21
รูปที่ 17	พลาสมาก๊าซมีเทนของระบบที่ติดตั้งขั้วไฟฟ้าแบบใหม่ที่กำลังไฟฟ้า 30 วัตต์	22
รูปที่ 18	ระบบส่งก๊าซ ได้แก่ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน อาร์กอน และ ฮีเลี่ยม	23
รูปที่ 19	แผนภาพอุปกรณ์การสังเคราะห์เส้นใยนาโนคาร์บอนโดยกระบวนการตกสะสมไอสารเคมี	25
รูปที่ 20	องค์ประกอบหลักของเครื่องทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง	26
รูปที่ 21	เครื่องทำความชื้นอย่างง่าย (ซ้าย) และอุปกรณ์สำหรับวัดความชื้นในท่อ (ขวา)	27
รูปที่ 22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา และความชื้นที่วัดได้	28
รูปที่ 23	ลักษณะของ Raman spectrum ของฟิล์มเงื่อนไขการเคลือบที่ใช้ 0 % N_2 เป็นเวลา 15 นาที	29
รูปที่ 24	ความหนาของฟิล์มเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของ RFCVD วัดด้วยเครื่อง Ellipsometer	30
รูปที่ 25	เปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านของแสงในย่าน UV – Visible ของฟิล์ม	30
รูปที่ 26	ภาพถ่าย SEM ของนิกเกิลที่กำลังขยาย 10,000 เท่า	32

หน้า

รูปที่ 27 เส้นใยนาโนคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกสะสมไอเคมี (CVD) 32

รูปที่ 28 น้ำหนักโดยเฉลี่ยของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 °C อัตราการไหลของเอธานอล 20 และ 24 mL/h เป็นเวลา 9 ชั่วโมง 33

รูปที่ 29 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยนาโนคาร์บอนโดยเทคนิค TG/DTA (อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 °C/นาที) ในบรรยากาศของ dried air 34

รูปที่ 30 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะสัณฐานของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 °C เป็นระยะเวลา 9.30 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลของเอธานอล 20 และ 24 mL/h ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า 35

รูปที่ 31 ฮีสโตแกรมแสดงการกระจายตัวของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 °C เป็นระยะเวลา 9.30 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลของเอธานอล 20 และ 24 mL/h ตามลำดับ 36

รูปที่ 32 ขนาดของเส้นใยนาโนคาร์บอนโดยเฉลี่ยที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 °C อัตราการไหลของเอธานอล 20 และ 24 mL/h เป็นเวลา 9.30 ชั่วโมง ตามลำดับ 37

รูปที่ 33 กราฟเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่ใช้เงื่อนไขในการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 °C อัตราการไหลของเอธานอล 20 และ 24 mL/h ตามลำดับ 38

รูปที่ 34 ก และ ข ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 700 °C อัตราการไหลของเอธานอล 24 mL/h เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 9.30 ชั่วโมง 39

รูปที่ 35 เซลล์เชื้อเพลิงเซลล์เดี่ยวขณะถูกทดสอบ 39

รูปที่ 36 กราฟแสดงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (mA/cm^2) และความต่างศักย์ตกคร่อมเซลล์ (Volt) 40

รูปที่ 37 กราฟแสดงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (mA/cm^2) และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเซลล์เดี่ยว (mW/cm^2) 41

รูปที่ 38 กราฟ I-V และ I-Power density ที่พล้อตร่วมกันเพื่อหาจุดทำงาน (Working point) สำหรับเซลล์มาตรฐานยี่ห้อ Electrochem 43

รูปที่ 39 เครื่องต้นแบบ Fuel Cell Test Station ที่คณะนักวิจัยศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่นประดิษฐ์ขึ้นมาได้ 44

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย (List of Abbreviations)

PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Fell
PEM	Proton Exchange Membrane
CNT	Carbon nanotube
SPFC	Solid Polymer Fuel Cells
AFC	Alkali Fuel Cell
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
CNT	Carbon nanotube
Fe	Iron
Ni	Nickel
Co	Carbon Monoxide
Pt	Platinum
CVD	Chemical Vapor Deposition
RFCVD	Radio Frequency Chemical Vapor Deposition
H_2	Hydrogen Gas
H^+	Hydrogen Ions
e^-	electron
O_2	Oxygen Gas
H_2O	Water
DLC	Diamond – Like Carbon Thin Film
EMF	Electromotive force
Ti	Titanium
TiN	Titanium nitride
CrN	Chromium nitride
PVD	Physical Vapor deposition