

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการปลูกท่อนาโนคาร์บอนบน โลหะนิกเกิลด้วยวิธีตกสะสมไอเชิงเคมี

THE STUDY OF CHEMICAL VAPOR DEPOSITION GROWTH

OF CARBON NANOTUBES ON NICKEL ALLOYS



T119548



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **119548**
วัน,เดือน,ปี... **- 8 S.ค. 2554**

b. **12361 458**
i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE STUDY OF CHEMICAL VAPOR DEPOSITION GROWTH
OF CARBON NANOTUBES ON NICKEL ALLOYS**



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการปลูกท่อนาโนคาร์บอนบนโลหะนิกเกิลด้วยวิธีตกสะสมไอเชิงเคมี

THE STUDY OF CHEMICAL VAPOR DEPOSITION GROWTH OF CARBON
NANOTUBES ON NICKEL ALLOYS

ผู้จัดทำ

นางสาว ทิพย์สมน คุณิตโสภิตวงศ์ 50010575

นาย ธนวัฒน์ เมธีชัยสุรัตน์ 50010625

นางสาว นภัทร์ เกียรติกิจवालโส 50010750



ปัญญา พันธุ์สุวรรณ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ปัญญา พันธุ์สุวรรณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการปลูกท่อนาโนคาร์บอนบนโลหะ निकเกิดด้วยวิธีตกตะกอนไอเชิงเคมี

นางสาว ทัทพ์ศมน ดุสิตโสภิตวงศ์ 50010575
 นาย ธนวัฒน์ เมธีธัญญรัตน์ 50010625
 นางสาว นภัทร์ เกียรติกังวาล ไกล 50010750
 ผศ.ดร.ปัญญา ชันธุ์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการปลูกคาร์บอนนาโนทิวบนโลหะ निकเกิดโดยวิธีการตกตะกอนไอเชิงเคมี โดยใช้แอลกอฮอล์เป็นแหล่งให้คาร์บอน ที่ถูกดูดซึมและแตกตัวบนโลหะ निकเกิด โดยโลหะ निकเกิดดังกล่าวจะถูกเตรียมพื้นผิวด้วยวิธี การขัดเงาเชิงกล และการขัดเงาด้วยกระแสไฟฟ้า ก่อนนำไปสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบนเดืออบแบบท่อ หลังจากการใส่ไอแอลกอฮอล์โดยมีอาร์กอนเป็นก๊าซนำ ในอัตราการใช้ที่กำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 650 700 750 และ 800 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ลักษณะของคาร์บอนนาโนทิวที่เกิดขึ้น ณ บริเวณขอบเกรน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พร้อมเทคนิคการกระเจิงเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างขอบเกรนในบริเวณที่มีคาร์บอนนาโนทิว

**THE STUDY OF CHEMICAL VAPOR DEPOSITION GROWTH
OF CARBON NANOTUBES ON NICKEL ALLOYS**

Tubsamon Dusitsopittawong 50010575

Thanawat Maetetanyarat 50010625

Napat Kiatkangvanklai 50010750

Assis.Prof.Dr.Panya Kansuwan Advisor

ABSTRACT

Chemical Vapor Deposition of Alcohol is firstly used to synthesize Carbon Nano Tube on 99.9 wt%Ni Bulk substrate (Nickel 270) acting as Catalyst bulk metals. Different preparation methods of Ni substrate are employed by Mechanical treatment and Chemical treatments at different temperature of 650, 700, 750 and 800 °C. CNT tubes on grain boundary are expected and investigated by Scanning Electron Microscope. Using EBSD technique we can analyst CNT growth location and grain boundary orientation for further study correlation between CNT growth structure and type of the grain boundary where CNTs are synthesized.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.ปัญญา จันทร์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ ดร.วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์ สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธรที่ให้ความอนุเคราะห์นักศึกษาเข้าศึกษาดูงาน ที่ทำการทดลองเกี่ยวกับกระบวนการตกตะกอนโอซิเจนเคมี

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุด ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นางสาว ทศพัศมน คุณิตโสภิตวงศ์

นาย ธนวัฒน์ เมธีธัญญรัตน์

นางสาว นภัทร์ เกียรติกังวาลไกล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับท่อนาโนคาร์บอน	3
2.1 ประวัติและที่มาของท่อนาโนคาร์บอน	3
2.2 โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน	6
2.2.1 ท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียว (Single-walled nanotube, SWNT)	6
2.2.2 ท่อนานคาร์บอนผนังหลายชั้น (Multiple-walled nanotubes, MWNT)	6
2.3 คุณสมบัติของท่อนาโนคาร์บอน	8
2.3.1 คุณสมบัติทางกล	8
2.3.2 คุณสมบัติทางความร้อน	9
2.3.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า	10
2.4 กลไกการเกิดท่อนาโนคาร์บอน	11
2.4.1 กลไกการเกิดท่อนาโนคาร์บอนแบบ Root Growth	11
2.4.2 กลไกเกิดท่อนาโนคาร์บอนแบบ Tip Growth	11
2.5 วิธีการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน	13
2.5.1 กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง	13
2.5.1.1 วิธี ARC DISCHARGE	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1.2 วิธี LASER VAPORIZATION	15
2.5.2 กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิปานกลาง วิธีตกสะสมไอเชิงเคมี (Chemical Vapor Deposition)	16
2.6 การนำท่อนาโนคาร์บอนไปประยุกต์ใช้	17
2.6.1 ใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุอื่น	17
2.6.2 ใช้เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน	19
2.6.3 ใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	20
2.6.4 ใช้เป็นนาโนโพรบ (Probe) และเซ็นเซอร์	21
2.6.5 ใช้ในวงจรกักเก็บพลังงาน	22
บทที่ 3 เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน	23
3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SCANNING ELECTRON MICROSCOPE, SEM)	23
3.2 กล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ (Transmission Electron Microscope, TEM)	25
บทที่ 4 วิธีการทดลอง	26
4.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน	26
4.2 ขั้นตอนการทำการทดลอง	28
บทที่ 5 ผลการทดลอง	30
5.1 ที่อุณหภูมิ 600°C	30
5.1.1 ตำแหน่งกลางเตา	30
5.1.2 ตำแหน่งปลายเตา	36
5.2 ที่อุณหภูมิ 700°C	45
5.2.1 ตำแหน่งกลางเตา	45
5.3 ที่อุณหภูมิ 800°C	51
บทที่ 6 ผลการทดลอง	53
6.1 สรุปผลการทดลอง	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	57
6.3 แผนงานในอนาคต	57
เอกสารอ้างอิง	58



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบต่างๆของคาร์บอน	4
2.2 ท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียว	6
2.3 ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น	7
2.4 ท่อนาโนคาร์บอนแบบอาร์มแชร์ จิกแซก และไครอล	7
2.5 ใช้ท่อนาโนคาร์บอนเป็นตัวระบายความร้อนให้ชีพ	9
2.6 การปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากปลายของท่อนาโนคาร์บอน (Microtips) ในสภาวะสุญญากาศ	10
2.7 กลไกการเกิดท่อนาโนคาร์บอนแบบ Root Growth และ Tip Growth	12
2.8 วิธี Arc Discharge	14
2.9 วิธี LASER VAPORISATION	15
2.10 วิธี CHEMICAL VAPOR DEPOSITION	16
2.11 ใช้ท่อนาโนคาร์บอนในการสร้างสายเคเบิลสำหรับลิฟต์อวกาศ	18
2.12 ใช้ท่อนาโนคาร์บอนในการแสดงผล	19
2.13 ใช้ท่อนาโนคาร์บอนในการสร้างทรานซิสเตอร์	20
2.14 ใช้ท่อนาโนคาร์บอนในการสร้างตัวเซนเซอร์เคมี	21
2.15 ใช้ท่อนาโนคาร์บอนในการสร้างเป็นอุปกรณ์เก็บพลังงาน	22
3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM)	24
3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเลนส์ประกอบ (Transmission Electron Microscope, TEM)	25
4.1 นิกเกิลแบบ GRID และแบบ APERTURE	26
4.2 กระบวนการตกสะสมไอเชิงเคมี	27
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของวิธีการตกสะสมไอเชิงเคมี	27
4.4 ลำดับของนิกเกิลที่อุณหภูมิ 600°C ตำแหน่งกลางเตา	28
4.5 ลำดับของนิกเกิลที่อุณหภูมิ 600°C ตำแหน่งปลายเตา	28
4.6 ลำดับของนิกเกิลที่อุณหภูมิ 700°C ตำแหน่งกลางเตา	29
4.7 ลำดับของนิกเกิลที่อุณหภูมิ 800°C	29
5.1 กลุ่มก้อนของแกรไฟต์ที่กำลังขยาย 5k	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIII

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 กลุ่มก้อนของแกรไฟต์กำลังขยาย 20k	31
5.3 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 5k	31
5.4 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 20k	32
5.5 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k	32
5.6 กลุ่มก้อนแกรไฟต์ กำลังขยาย 500	33
5.7 กลุ่มก้อนแกรไฟต์ กำลังขยาย 20k	33
5.8 ท่อนานคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 10k	34
5.9 ท่อนานคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k	34
5.10 คาร์บอนไฟเบอร์บนกลุ่มก้อนแกรไฟต์ กำลังขยาย 10k	35
5.11 คาร์บอนไฟเบอร์บนกลุ่มก้อนแกรไฟต์ กำลังขยาย 50k	35
5.12 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 500	36
5.13 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 1k	36
5.14 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 1k	37
5.15 ท่อนานคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 20k	37
5.16 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 5k	38
5.17 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 10k	38
5.18 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 20k	39
5.19 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k	39
5.20 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k	40
5.21 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 100k	40
5.22 กลุ่มก้อนแกรไฟต์ กำลังขยาย 500	41
5.23 กลุ่มก้อนแกรไฟต์ กำลังขยาย 10k	41
5.24 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 20k	42
5.25 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k	43
5.26 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 100k	43
5.27 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 100k	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28 กลุ่มก้อนของแกรไฟต์ กำลังขยาย 5k	45
5.29 คาร์บอนไฟเบอร์บนกลุ่มก้อนของแกรไฟต์ กำลังขยาย 10k	45
5.30 กลุ่มก้อนของแกรไฟต์ กำลังขยาย 20k	46
5.31 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k	46
5.32 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k	47
5.33 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k	47
5.34 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 50k	48
5.35 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 50k	48
5.36 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k	49
5.37 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k	49
5.38 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k	50
5.39 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k	50
5.40 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 30k	51
5.41 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k	51
5.42 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k	52
5.43 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 100k	52
6.1 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k	53
6.2 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k	54
6.3 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k	54
6.4 ท่อนาโนคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์ที่อุณหภูมิ 600 °C	55
6.5 คาร์บอนไฟเบอร์ที่อุณหภูมิ 700 °C	55
6.6 คาร์บอนไฟเบอร์ที่อุณหภูมิ 700 °C	56
6.7 ท่อนาโนคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์	56
6.8 คาร์บอนไฟเบอร์บนแหวนสแตนเลส	57

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนักวิจัยได้สนใจและทำการศึกษาเทคโนโลยีมานาน เนื่องจากเทคโนโลยีระดับนาโนกำลังจะเข้าไปมีบทบาทในการพัฒนาการผลิตสิ่งของเครื่องใช้ อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ หรือแม้แต่อาหารที่เรารับประทาน ซึ่งเทคโนโลยีทางด้านนี้สามารถแบ่งออกเป็นหลายสาขา และสาขาที่นักวิจัยให้ความสนใจค่อนข้างสูงคือนาโนอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายสาขา ดังนั้น การพัฒนาเทคโนโลยีระดับนาโนเมตรจึงเป็นสิ่งจำเป็นและกำลังได้รับความสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเตรียมวัสดุในระดับนาโน หรือการเตรียมอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กลงจนอยู่ในระดับ โมเลกุล ซึ่งวัสดุที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบันคือ ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes, CNTs)

คำว่า “นาโน” มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก แปลว่า “คนแคระ” หมายถึง หนึ่งในพันล้านหน่วย หรือหนึ่งในพันล้านส่วน แต่ที่นิยมเรียกกันจนติดปากคือ นาโนเมตร (nanometre) ซึ่งหมายถึงสิบลำดับลบกิโลเมตร หรือ 1 ส่วนพันล้านของ 1 เมตร หรือเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่า แองสตรอมยูนิต (angstrom unit) ดังนั้น “นาโนเทคโนโลยี” คือ วิทยาการประยุกต์แขนงใหม่ที่อาศัยเรื่องของเทคโนโลยีในการประกอบและผลิตสิ่งต่างๆ ขึ้นมาจากการจัดเรียงอะตอม หรือโมเลกุลเข้าด้วยกันด้วยความแม่นยำและถูกต้องในระดับนาโนเมตรหรือขนาด 1 ในพันล้านส่วนของ 1 เมตร โดยเป็นการผสมผสานของวิทยาศาสตร์หลายแขนง เช่น ชีววิทยา ฟิสิกส์ ชีวเคมี วิศวกรรมศาสตร์สาขาหุ่นยนต์ และเครื่องจักรกล

1.1 ที่มาและความสำคัญ

นาโนเทคโนโลยีอาจดูเหมือนเรื่องไกลตัว และสามารถพบเห็นได้เพียงแต่ในภาพยนตร์ แต่ถ้าเราลองย้อนกลับมามองสิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้นรอบตัวเพียง 10 ปีที่ผ่านมา ก็จะพบว่าสิ่งที่ไม่เคยนึกมาก่อนได้เกิดขึ้นมากมาย ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) ซึ่งทำให้เราสามารถย่อโลกมาไว้ในมือ สื่อสารกันได้อย่างไร้พรมแดน อีกทั้งยังมีอินเทอร์เน็ตและเทคโนโลยีชีวสารสนเทศ (Bioinformatics) ที่ช่วยเราเข้าใจองค์ประกอบของชีวิตมากขึ้น โดยการถอดรหัสพันธุกรรมซึ่งเปรียบเสมือน “พิมพ์เขียว” ของสิ่งมีชีวิต ความรู้ที่ได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ และทางการเกษตรได้อย่างกว้างขวาง ดังนั้น นาโนเทคโนโลยี จึงไม่ใช่สิ่งที่ไกลตัวอีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อปลูกท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีตกตะกอนไอเชิงเคมีบนนิกเกิลแบบก้อน

1.2.2 เพื่อปลูกท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีตกตะกอนไอเชิงเคมีบนแผ่นโลหะ

1.2.3 เพื่อศึกษาลักษณะของท่อนาโนคาร์บอน ที่เกิดจากการเร่งสังเคราะห์จากแอลกอฮอล์

1.2.4 เปรียบเทียบลักษณะการเกิดท่อนาโนคาร์บอน ระหว่างการทำการขัดเงาเชิงกล (Mechanical Polishing) และ การขัดเงาด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Polishing)

1.2.5 เปรียบเทียบลักษณะการเกิดท่อนาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน คือ 650 700 750 และ 800 องศาเซลเซียส

1.2.6 เพื่อปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปลูกท่อนาโนคาร์บอน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาการปลูกท่อนาโนคาร์บอนบนแผ่นนิกเกิล โดยประยุกต์วิธีการตกตะกอนไอเชิงเคมีที่ อุณหภูมิ 650 700 750 และ 800 องศาเซลเซียส รวมทั้งปรับปรุงและพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับ กระบวนการตกตะกอนไอเชิงเคมี

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับท่อนาโนคาร์บอน

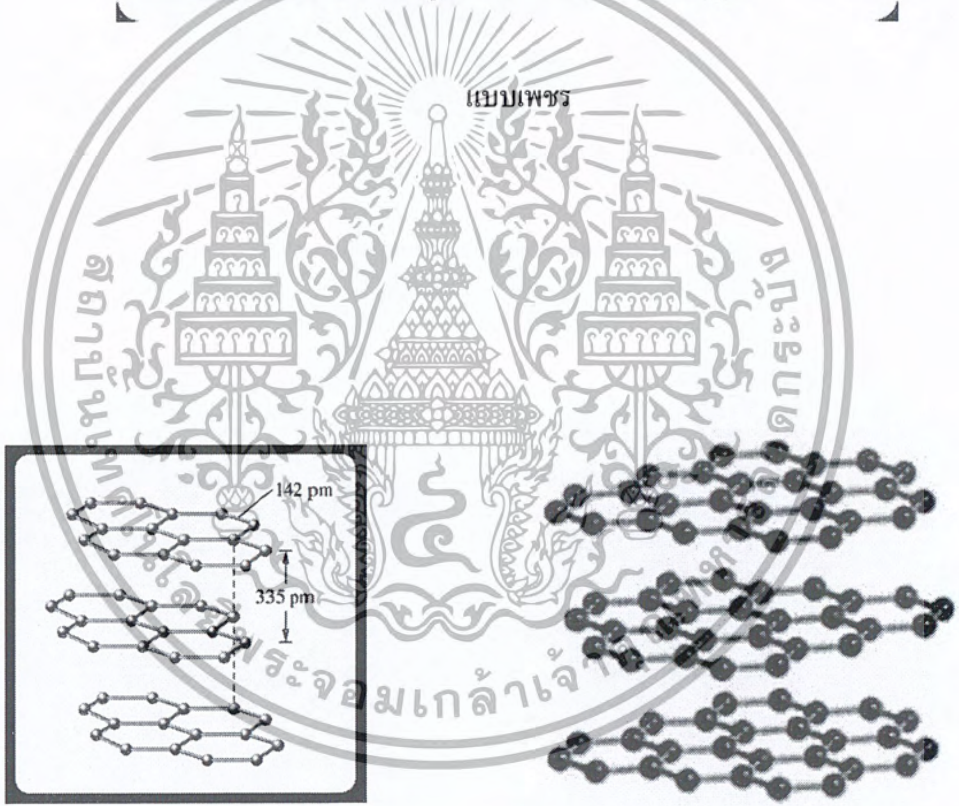
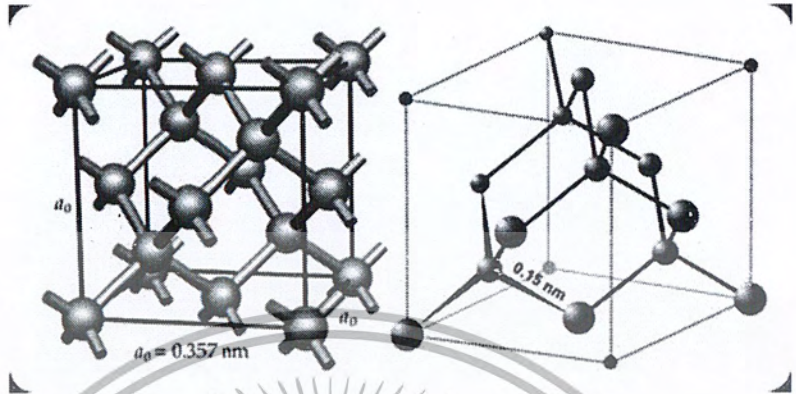
2.1 ประวัติและที่มาของท่อนาโนคาร์บอน

เนื่องจากประเทศไทยของเรา ไม่มีพลังงานเป็นของตนเองเพียงพอ จึงจำเป็นต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศปีละมหาศาล และมีแนวโน้มในการนำเข้าเพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมรการศึกษาและค้นคว้าแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อลดอัตราการขาดดุลทางการค้าและเพื่อการพัฒนาของประเทศเป็นไปอย่างต่อเนื่อง การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์หรือพลังงานจากลม ซึ่งเป็นพลังงานที่มากมายมหาศาล ก็เป็นสิ่งที่จะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานของประเทศได้

หากแต่ว่าพลังงานทดแทนเหล่านี้ จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งที่เหมาะสมเท่านั้น ดังนั้นการศึกษาวิจัยทางด้านการกักเก็บพลังงาน จึงเป็นสิ่งสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าด้านการผลิตพลังงาน ในปัจจุบันได้มีการวิจัยทางด้านการกักเก็บพลังงานกันอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บ ซึ่งอยู่ในรูปของแบตเตอรี่ ไฮโดรเจน หรือ Fuel Cell เป็นต้น

วัสดุที่ได้รับความสนใจมากที่สุดในสาขานาโนเทคโนโลยี คือ ท่อนาโนคาร์บอน วัสดุนี้มีลักษณะโครงสร้างที่พิเศษ ซึ่งมีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ เป็น โครงสร้างที่แตกต่างจากเพชร (Diamond) แกรไฟต์ (Graphite) อัญฐาน บัคกี้บอล (Buckyball) และ ฟูลเลอร์ีน (Fullerenes ,C60 ,C70) ดังรูปที่ 2.1

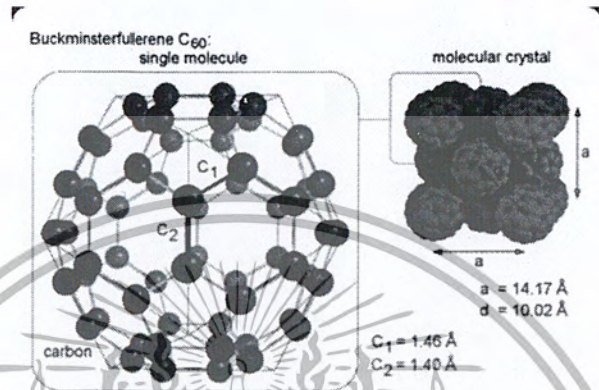
ท่อนาโนคาร์บอนถูกค้นพบหลังจากการค้นพบฟูลเลอร์ีนแล้ว 5 ปี ในปีค.ศ. 1991 โดยนายซุมิโอะ อิจิมา (S. Iijima) นักวิจัยชาวญี่ปุ่น ประจำมหาวิทยาลัยเมียวโจ (Meijo University) ประเทศญี่ปุ่น



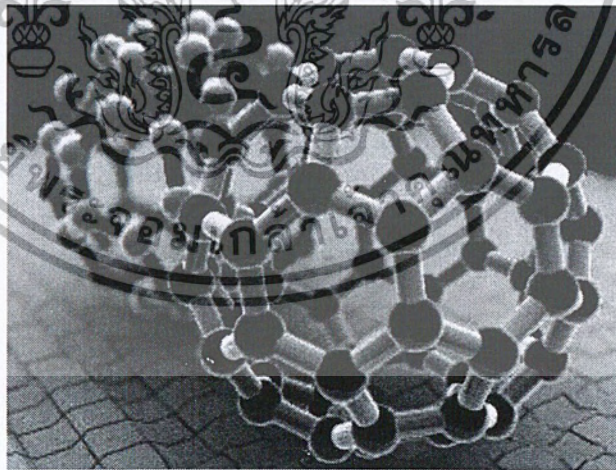
แบบแกรไฟต์

แบบอสัญฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบบัคกิบอด



แบบฟลูเลอร์รีน

รูปที่ 2.1 รูปแบบต่างๆของคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

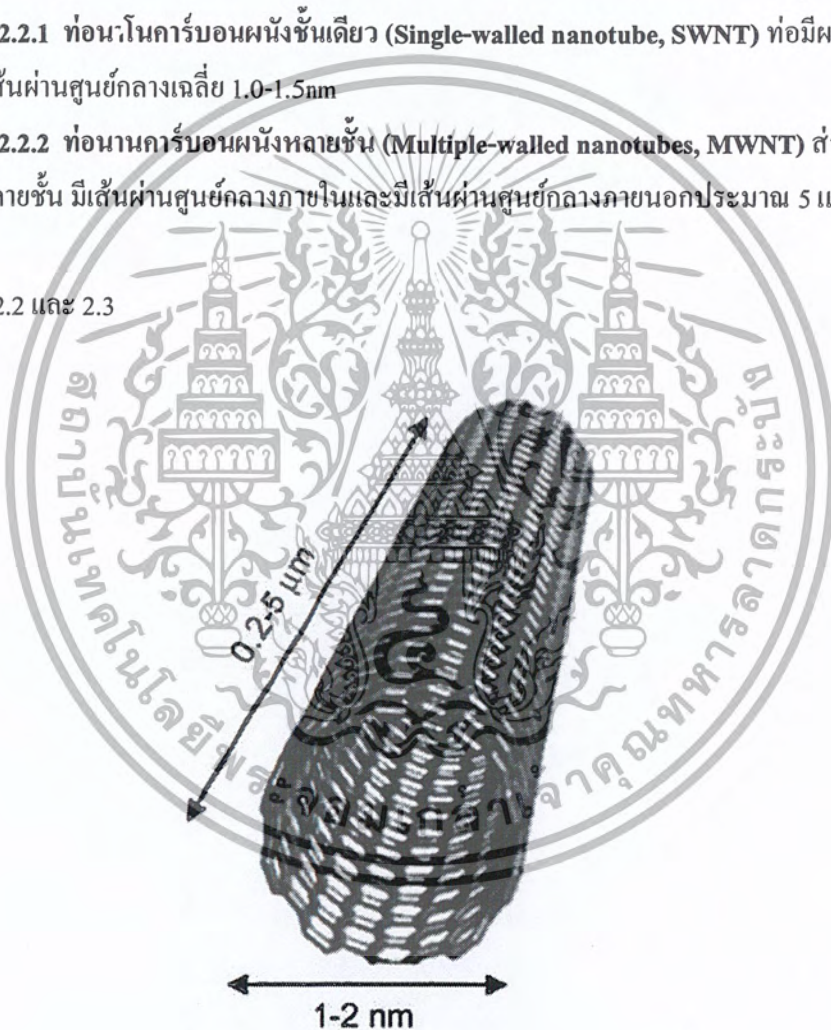
2.2 โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน

ในการศึกษาข้อมูลโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน ท่อนาโนคาร์บอนเป็นอัญรูปหนึ่งของธาตุคาร์บอน แบบ โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแผ่นม้วนตัวเป็นท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยมากเลยทำให้มันดูเหมือนเป็นเส้นยาวๆ ในแนวหนึ่งมิติ เรียกว่า ท่อนาโนคาร์บอน โดยท่อนาโนคาร์บอนแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามจำนวนชั้นของผนังท่อคือ

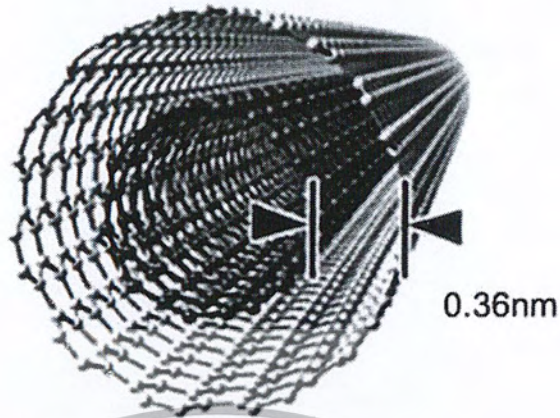
2.2.1 ท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียว (Single-walled nanotube, SWNT) ท่อมีผนังชั้นเดียว มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.0-1.5nm

2.2.2 ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (Multiple-walled nanotubes, MWNT) ส่วนท่อที่มีผนังหลายชั้น มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 5 และ 100 nm

ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 ท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียว



2-25 nm

รูปที่ 2.3 ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น

ซึ่งท่อนาโนคาร์บอนทั้งสองแบบ สามารถแบ่งออกได้เป็นสามชนิดย่อยๆ ตามโครงสร้าง คือ

- (1) แบบอาร์มแชร์ (Armchair)
- (2) แบบซิกแซก (Zig-Zag)
- (3) แบบไครอล (Chiral)

ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ท่อนาโนคาร์บอนแบบอาร์มแชร์ ซิกแซก และไครอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คุณสมบัติของท่อนาโนคาร์บอน

ท่อนาโนคาร์บอนเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ ซึ่งแต่ละคุณสมบัติจะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน เช่น ชนิดของท่อ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และลักษณะการม้วนตัวของท่อ

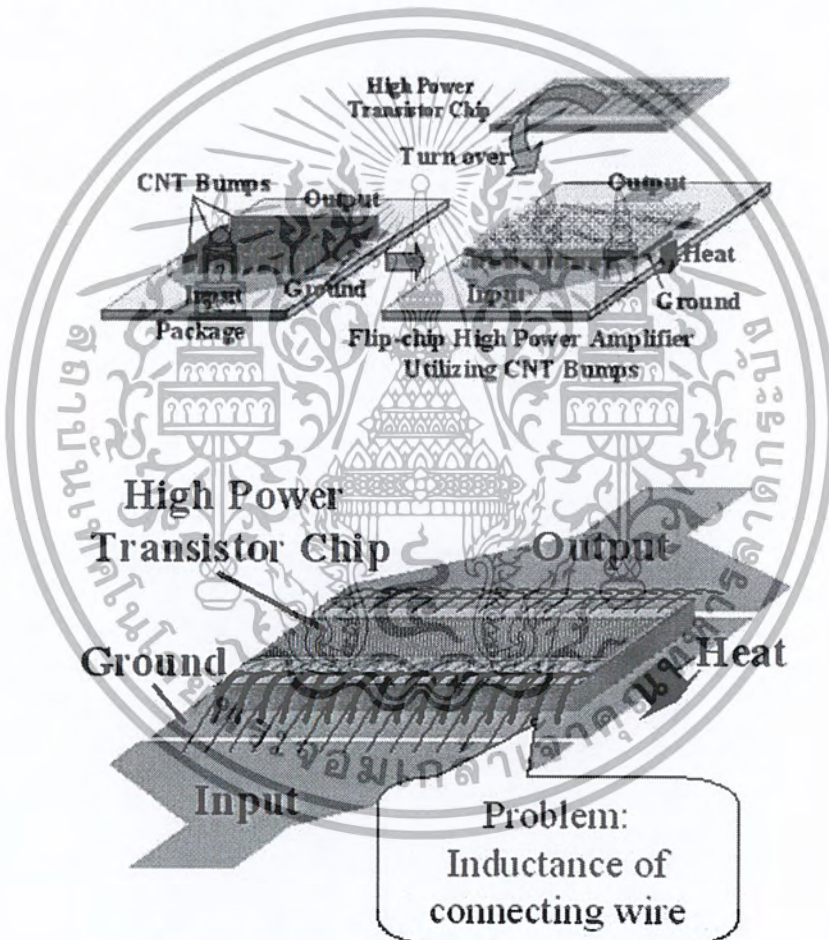
2.3.1 คุณสมบัติทางกล

โครงสร้างเพชรซึ่งเรารู้กันดีว่ามีความแข็งแรงมากด้วย โครงสร้างโครงตาข่ายสามมิติจากการเชื่อมต่อระหว่างพันธะของอะตอมคาร์บอนทั้งสี่ตำแหน่ง ขณะที่โครงสร้างของแกรไฟต์มีคาร์บอนหนึ่งอะตอมเชื่อมพันธะกับคาร์บอนอีกสามอะตอมในระนาบเดียวกันและอีกพันธะที่เหลือจะทำการยึดกับระนาบถัดไป ในพันธะระนาบเดียวกันของแกรไฟต์มีความแข็งแรงมาก (มากกว่าเพชร) แต่พันธะระหว่างระนาบไม่แข็งแรงมากนักและเลื่อนไหลได้

ด้วยลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน ดังกล่าว รวมถึงพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนที่ยาวเพียง 0.14 นาโนเมตร (สั้นกว่าเพชร) จึงทำให้โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนแข็งแรงกว่าเพชรและแกรไฟต์

2.3.2 คุณสมบัติทางความร้อน

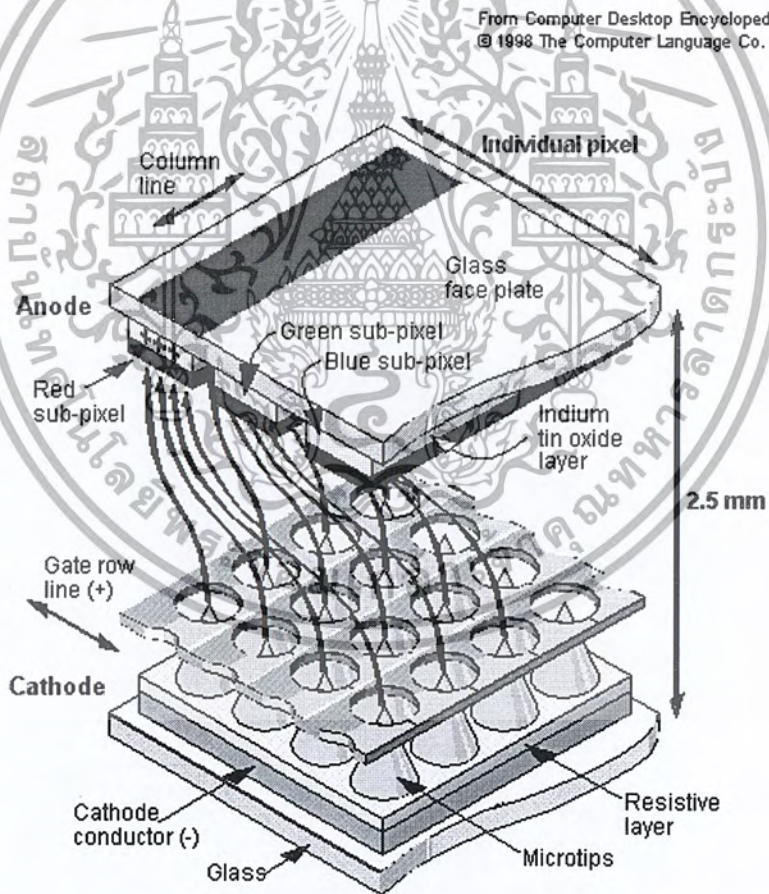
ค่าการนำความร้อนของท่อนาโนคาร์บอนสูงถึง 2000 W/mK โดยมีบางรายงานกล่าวว่า ท่อนาโนคาร์บอนมีการนำความร้อนได้ถึง 6000 W/mK เมื่อเปรียบเทียบกับเพชรที่มีค่าการนำความร้อนเพียง 3320 W/mK นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังทนต่ออุณหภูมิได้สูงถึง 2800 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิอากาศ และ 750 องศาเซลเซียส ในสภาวะปกติ คุณสมบัติเหล่านี้เป็นที่น่าสนใจอย่างมากเชิงกายภาพ แสดงดังรูปที่ 2.5 เป็นการนำคุณสมบัติการนำความร้อนที่ดีของท่อนาโนคาร์บอนมาเป็นตัวระบายความร้อนให้กับชิปที่ใช้งานกำลังสูง



รูปที่ 2.5 ใช้ท่อนาโนคาร์บอนเป็นตัวระบายความร้อนให้ชิป

2.3.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

ท่อนาโนคาร์บอนมีความสามารถด้านการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าทองแดง มัดหนึ่งของท่อนาโนคาร์บอน สามารถนำไฟฟ้าได้ถึง 10^6 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร (A/cm^2) ขณะที่ทองแดงได้สูงสุดเพียง 10^6 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร นอกจากนี้แล้ว คุณสมบัติทางไฟฟ้าอีกอย่างหนึ่งที่น่าสนใจของท่อนาโนคาร์บอน คือ สามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากปลายของท่อนาโนคาร์บอนในสภาวะสุญญากาศได้ เมื่อวางอยู่ในสนามไฟฟ้าที่ใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า เช่น จะกระตุ้น phosphors ที่วางไว้ห่าง 1 มิลลิเมตร (mm) จะใช้ศักย์ไฟฟ้าเพียง 1-3 โวลต์ (V) ขณะที่ต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงถึง 50-100 โวลต์ สำหรับปลายที่เป็นขั้ว molybdenum ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากปลายของท่อนาโนคาร์บอน (Microtips) ในสภาวะสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กลไกการเกิดท่อนานาโนคาร์บอน

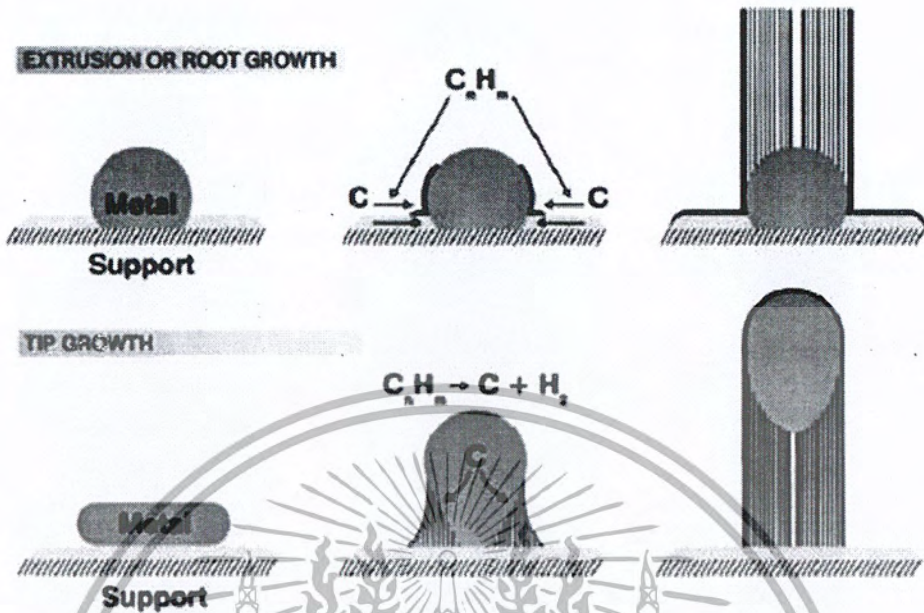
กลไกของการเกิดท่อนานาคาร์บอนนั้น ในปัจจุบันยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่แน่ชัดได้ว่าเกิดในลักษณะใด ซึ่งจะทราบได้ในช่วงระหว่างที่ท่อนาโนคาร์บอนก่อตัวขึ้น อย่างไรก็ตาม ลักษณะที่ก่อตัวขึ้นนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.4.1 กลไกการเกิดท่อนาโนคาร์บอนแบบ Root Growth

เป็นการเกิดท่อนาโนคาร์บอนในลักษณะที่อะตอมคาร์บอนก่อตัวขึ้นเป็นท่อนบนโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และสามารถอธิบายได้ คือ ที่อุณหภูมิสูงมากพอ จะทำให้อะตอมคาร์บอนแตกตัวออกมาจากแหล่งกำเนิดคาร์บอน (Carbon Source) และอุณหภูมิสูงจนทำให้โลหะตัวเร่งอยู่ในสถานะของเหลว อะตอมคาร์บอนที่แตกตัวออกมา จะเข้าไปละลายในโลหะตัวเร่ง และเนื่องจากอุณหภูมิด้านล่างของโลหะตัวเร่งสูงกว่าอุณหภูมิด้านบน จึงเป็นผลให้อะตอมคาร์บอนที่เข้าไปละลายในโลหะตัวเร่งลอยขึ้นด้านบนของโลหะตัวเร่ง และก่อตัวเป็นท่อนาโนคาร์บอนบนโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังรูปที่ 7

2.4.2 กลไกการเกิดท่อนาโนคาร์บอนแบบ Tip Growth

เป็นการเกิดท่อนาโนคาร์บอนในลักษณะที่อะตอมคาร์บอนก่อตัวเป็นท่อนาโนคาร์บอนด้านล่างของโลหะตัวเร่ง ทำให้มีตัวเร่งอยู่ที่ปลายท่อ ซึ่งสามารถอธิบายได้ คือ ที่อุณหภูมิสูงมากพอที่จะทำให้ตัวเร่งอยู่ในสถานะของเหลว อะตอมคาร์บอนที่แตกตัวออกมา จะเข้าไปละลายในโลหะตัวเร่ง และเนื่องจากอุณหภูมิด้านบนของโลหะตัวเร่งสูงกว่าอุณหภูมิด้านล่าง จึงเป็นผลให้อะตอมคาร์บอนที่เข้าไปละลายในโลหะตัวเร่งตกลงมาด้านล่างของโลหะตัวเร่ง และก่อตัวเป็นท่อนาโนคาร์บอนด้านล่างของโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กลไกการเกิดท่อนาโนคาร์บอนแบบ Root Growth และ Tip Growth

จากกลไกของการเกิดของท่อนาโนคาร์บอนทั้ง 2 ลักษณะ จะพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ควรมีจุดหลอมต่ำ เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนในการทำให้โลหะตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในสถานะของเหลว และโลหะตัวเร่งควรมีความสามารถในการละลายคาร์บอนที่ดี เพื่อให้อะตอมคาร์บอนสามารถละลายในตัวเร่งได้จำนวนมากๆ

2.5 วิธีการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน

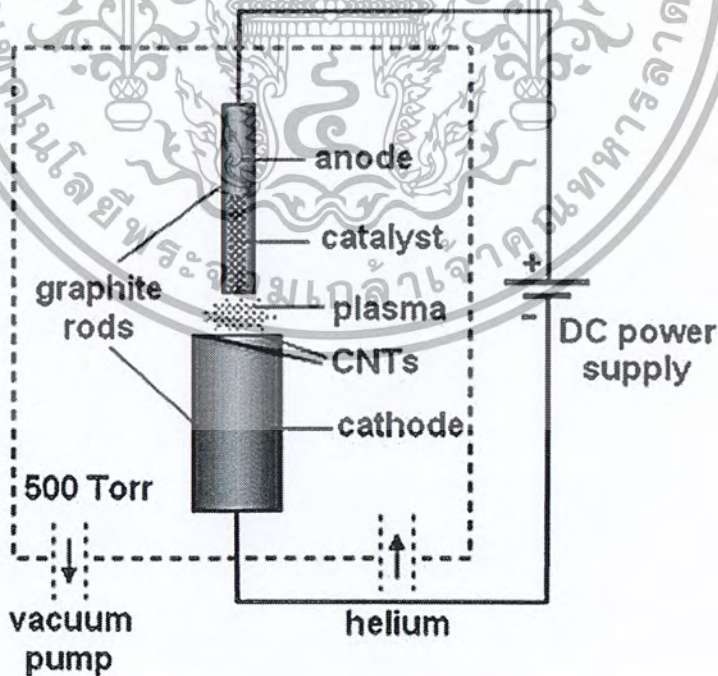
การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับสมบัติของท่อนาโนที่ต้องการ ซึ่งถ้าพิจารณาตามอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ สามารถแบ่งเทคนิคการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนต่างๆ ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้อุณหภูมิสูง และ กลุ่มที่ใช้อุณหภูมิต่ำ

2.5.1. กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง

กระบวนการสังเคราะห์ท่อนาโนที่ใช้อุณหภูมิสูงประกอบด้วยเทคนิคการยิงด้วยเลเซอร์ (laser ablation) เทคนิคการใช้แสง (solar method) และเทคนิคการยิงด้วยอิเล็กตรอน (electron arc discharge) กระบวนการเหล่านี้ใช้การยิงแผ่นแกรไฟต์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 1500 องศาเซลเซียสเพื่อให้เกิดการแตกตัวของอะตอมคาร์บอนและตัวเร่งปฏิกิริยา ความหนาแน่นของอะตอมทั้งสองชนิดที่เกิดขึ้นนี้เป็นตัวแปรที่สำคัญตัวแปรหนึ่งของการสร้างพันธะของคาร์บอนจนได้เป็นท่อนาโน ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการสังเคราะห์ที่ใช้อุณหภูมิสูงสองวิธีหลักที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้

2.5.1.1 วิธี ARC DISCHARGE

เทคนิคนี้เป็นวิธีเริ่มแรกที่ใช้สังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งแต่เดิมนั้นใช้ในการสังเคราะห์ฟูลเลอร์รีน ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 20-200 แอมแปร์ ที่ความต่างศักย์ประมาณ 20-40 โวลต์ ตกคร่อมแท่งแกรไฟต์สองแท่งที่วางจ่อใกล้ๆ กัน โดยให้ระยะห่างระหว่างปลายแท่งประมาณ 1-3 มิลลิเมตร ภายใต้บรรยากาศแก๊สเฉื่อย เช่น ฮีเลียม หรือ อาร์กอน ที่ความดันต่ำระหว่าง 100-500 Torr จนทำให้เกิดเป็นสถานะพลาสมา และมีอุณหภูมิสูงบริเวณระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ส่งผลให้แท่งแกรไฟต์ระเหยกกลายเป็นไอแล้วมีการควบแน่นกลายเป็นท่อนาโนคาร์บอน บริเวณปลายแท่งแกรไฟต์ที่ต่อกับขั้วลบ (Cathode) การควบคุมขนาดหรือจำนวนชั้นของท่อนาโนคาร์บอน สามารถทำได้โดยการควบคุมความดัน อุณหภูมิ และการเติมผงโลหะคะตะลิสต์ปริมาณเล็กน้อย เช่น เหล็ก นิกเกิล หรือโคบอลต์ อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือผสมกันลงในแท่งแกรไฟต์ที่ต่อกับขั้วบวก (Anode) ท่อนาโนที่สังเคราะห์ได้นี้อาจเป็นท่อชนิดผนังหลายชั้นหรือผนังชั้นเดียวก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าใช้โลหะเร่งปฏิกิริยาหรือไม่ (ถ้าใช้โลหะเร่งปฏิกิริยาจะได้ท่อชนิดผนังชั้นเดียว) วิธีการสังเคราะห์ท่อนาโนวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและค่าใช้จ่ายถูก แต่ท่อนาโนที่ได้จะมีขนาดไม่สม่ำเสมอและมีสิ่งเจือปน เช่น อนุภาคของคาร์บอน และซีดีจำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 2.8

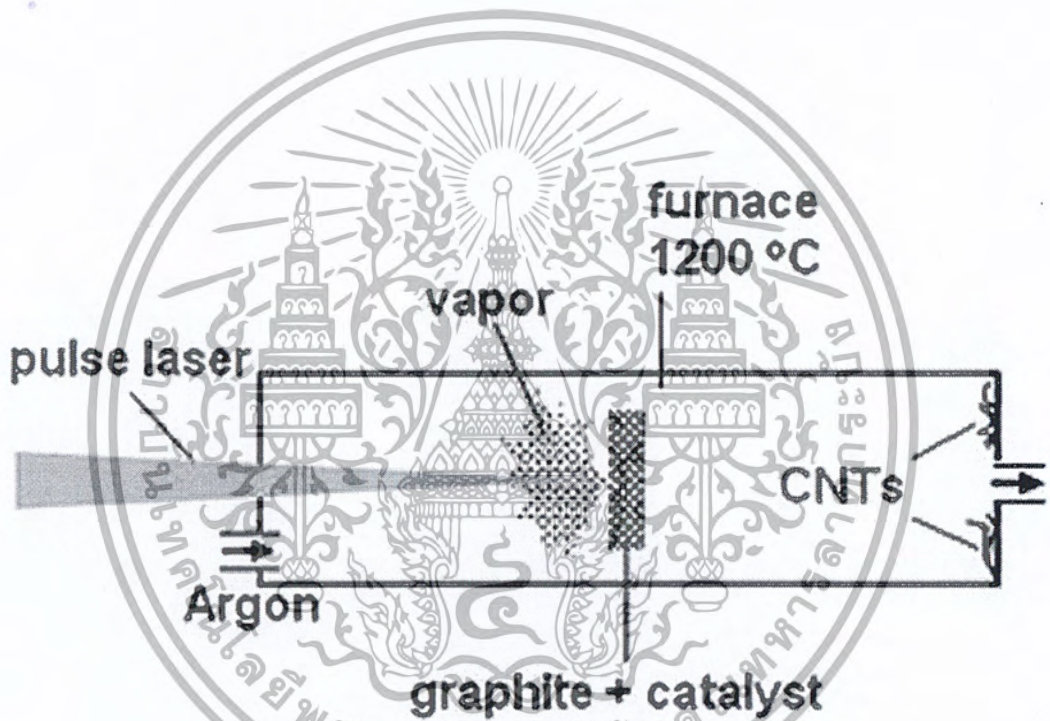


รูปที่ 2.8 วิธี Arc Discharge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 วิธี LASER VAPORIZATION

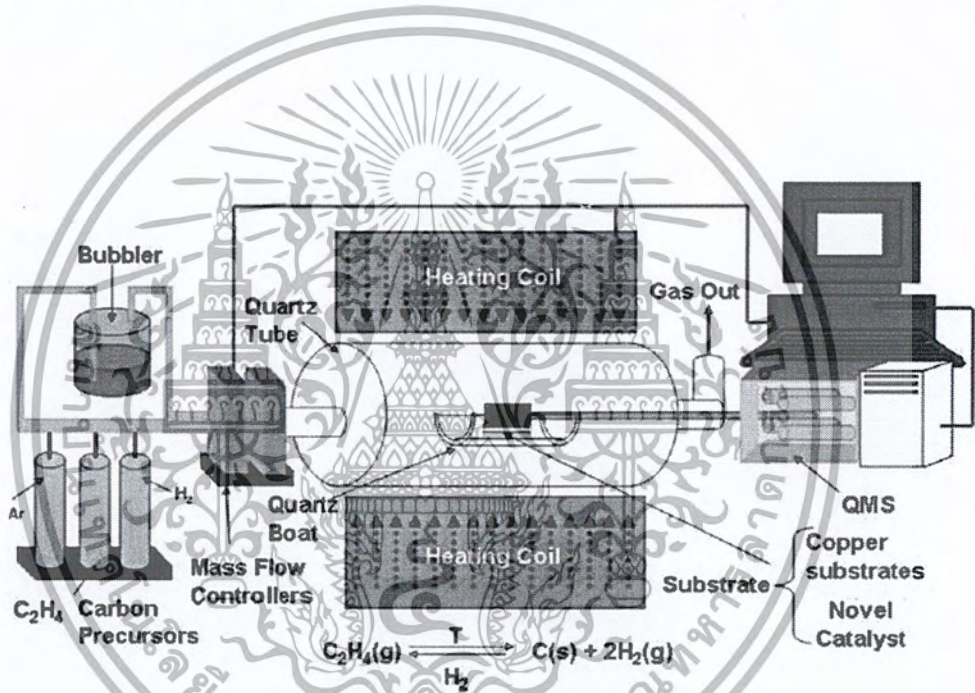
เทคนิคนี้คิดค้นขึ้นโดยนักวิทยาศาสตร์ในกลุ่มของ สมอลลี (Smalley) วิธีนี้จะใช้พัลส์แสงเลเซอร์ที่มีความเข้มแสงสูงยิงไปยังเป้าซึ่งเป็นแกรไฟต์ผสมกับผงโลหะคะตะลิสต์ ภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย ที่ความดันต่ำประมาณ 500 Torr และอุณหภูมิ 1200 °C เทคนิคนี้คล้ายกับวิธีอาร์คคิสซาร์จ ซึ่งจะได้ปริมาณและคุณภาพของท่อนาโนคาร์บอนดีกว่า แต่มีข้อเสียที่จำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์กำลังสูง และมีราคาแพงมาก แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วิธี LASER VAPORISATION

2.5.2 กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิต่ำ

กระบวนการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิปานกลางประกอบด้วยการสร้างวัสดุบางจับบนผิววัสดุอื่นทางเคมี หรืออาจเรียกว่าดีโพสิชันทางเคมี (CHEMICAL VAPOR DEPOSITION, CVD) แบบต่างๆ ซึ่งเทคนิคเหล่านี้ ใช้การแยกก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็นแหล่งให้อะตอมคาร์บอน (เช่น ก๊าซมีเทน หรือ อะเซทิลีน หรือใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์แทนก๊าซไฮโดรคาร์บอน) บนโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา (เช่น นิกเกิล เหล็กหรือ โคบอลต์) โดยใช้ความร้อนหรือพลาสมาเข้าช่วย ซึ่งการสลายตัวของก๊าซไฮโดรคาร์บอนนี้ใช้อุณหภูมิต่ำไม่เกิน 900 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าอุณหภูมิต่ำสูงนัก จึงเรียกกระบวนการเหล่านี้ว่ากระบวนการที่ใช้อุณหภูมิต่ำ แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วิธี CHEMICAL VAPOR DEPOSITION

2.6 การนำท่อนาโนคาร์บอนไปประยุกต์ใช้

ท่อนาโนคาร์บอนมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น เป็นได้ทั้งตัวนำและกึ่งตัวนำ มีความแข็งแรงสูง มีความยืดหยุ่นที่ดี สามารถยึดจับโมเลกุลและดูดซับก๊าซได้เป็นอย่างดี เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างของท่อ นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยทั่วโลกต่าง ทำการศึกษาวินิจฉัยที่จะนำเอาท่อนาโนคาร์บอน ไปประยุกต์ใช้งานต่างๆอย่างมากมาย ซึ่งสามารถ ยกตัวอย่างได้ดังนี้

2.6.1 ใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุอื่น

ท่อนาโนคาร์บอนมีค่าขึงมอดูลัสสูงถึง 1 เทสลาปาสคาล (TPa) สามารถนำไฟฟ้า และความร้อนได้ดี จึงเหมาะที่จะนำมาเป็นส่วนผสมในวัสดุอื่นๆ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีค่าความยืดหยุ่นสูง ทำให้ไม่แตกง่าย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมาก เช่น ส่วนประกอบของรถยนต์ เครื่องจักร หรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆ และนี่อาจเป็นจุดเริ่มต้นของการก้าวไปสู่การสังเคราะห์ พลาสติกที่สามารถนำไฟฟ้าได้ มีความแข็งแรงมาก มีน้ำหนักเบา และสามารถสร้างได้หลายรูปแบบ โดยเมื่อไม่นานมานี้ นักวิทยาศาสตร์ขององค์การนาซ่า (NASA) ประสบความสำเร็จในการผสมท่อนาโนคาร์บอนลงในโพลีเมอร์ เพื่อสำหรับวัสดุประกอบเครื่องบินและยานอวกาศ หรือนำมาเป็นส่วนผสมในการสร้างสายเคเบิลที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง สำหรับสร้างลิฟต์อวกาศ ดังรูปที่

2.11

119548

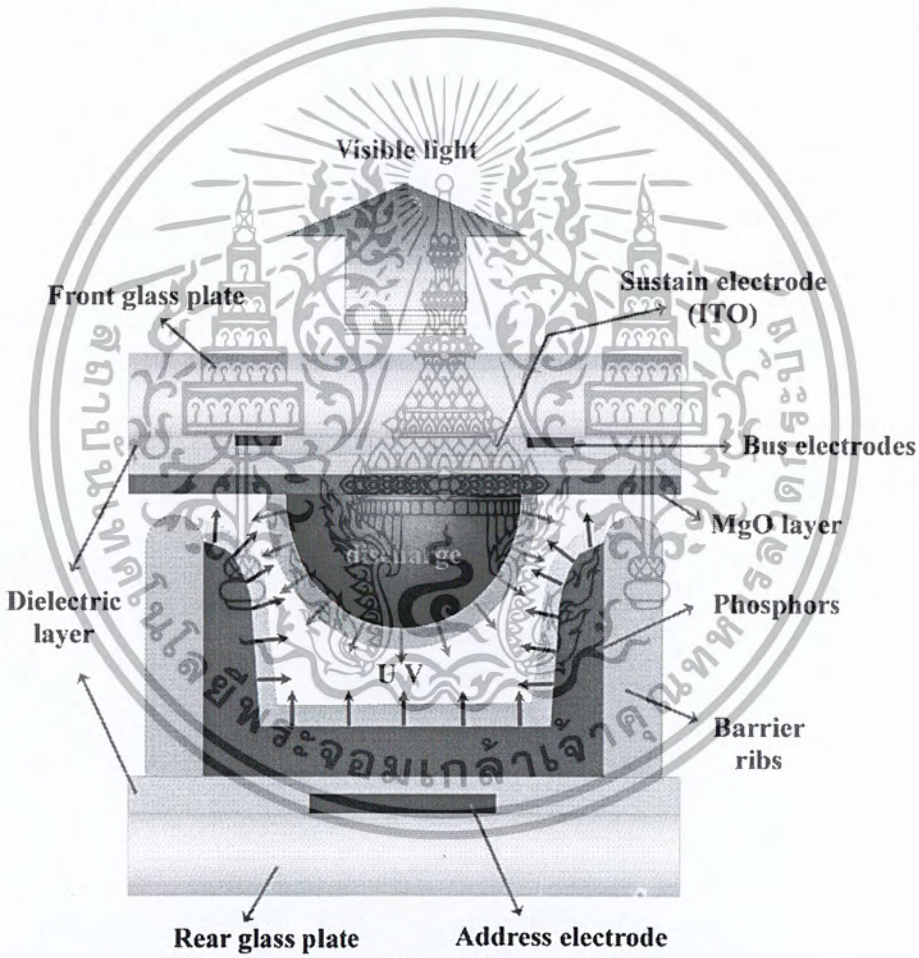


รูปที่ 2.11 ใช้ท่อนาโนคาร์บอนในการสร้างสายเคเบิลสำหรับลิฟต์อวกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ใช้เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน

ท่อนานาโนคาร์บอนมีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกับความยาวน้อยมากๆ ทั้งยังสามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี ทำให้ท่อนานาโนคาร์บอนมีเสถียรภาพที่ดีและทำให้สามารถจ่ายอิเล็กตรอนได้โดยใช้แรงขับเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ จึงเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนในอุปกรณ์ เช่น จอแสดงผล หลอดไฟฟ้าประหยัดพลังงาน แหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ (X-ray) ขนาดเล็ก และแหล่งกำเนิดไมโครเวฟขนาดเล็ก ดังรูปที่ 2.12



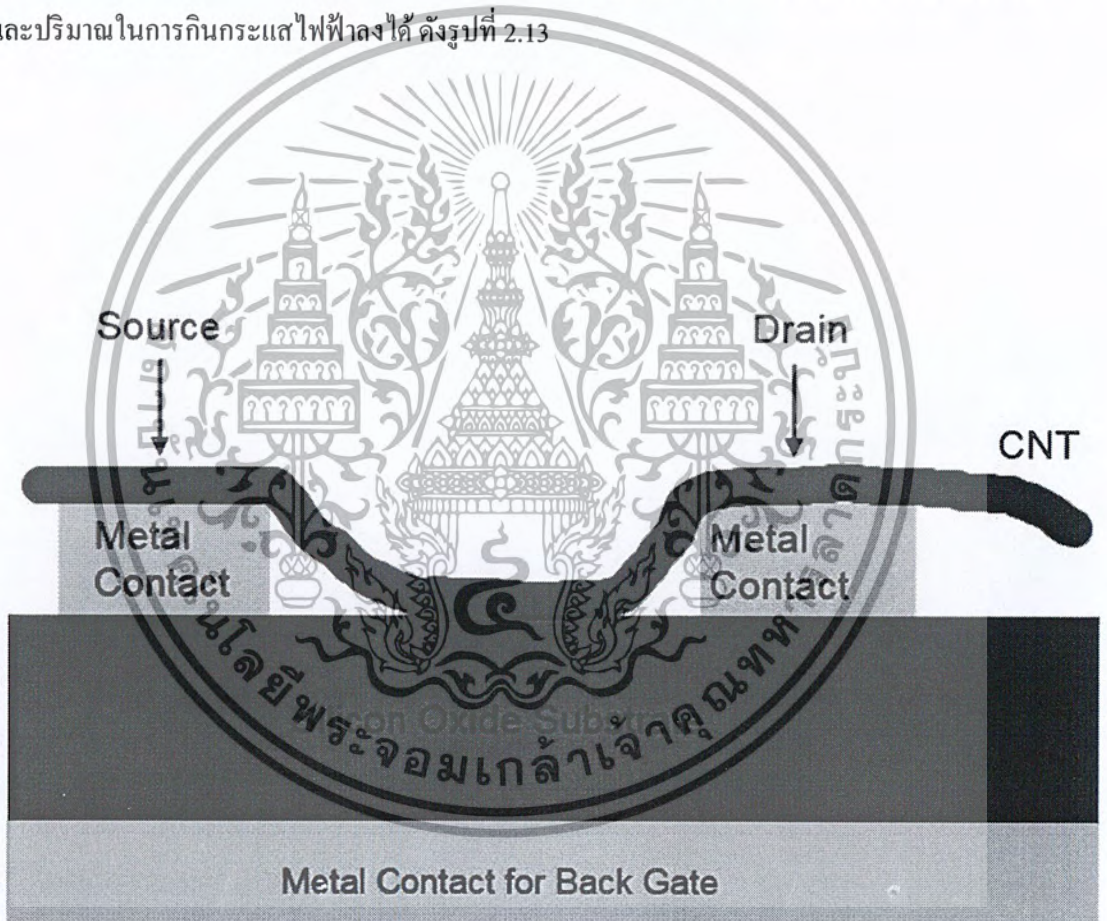
Schematic illustration of single cell/pixel in PDP

รูปที่ 2.12 ใช้ท่อนานาโนคาร์บอนในการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 ใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

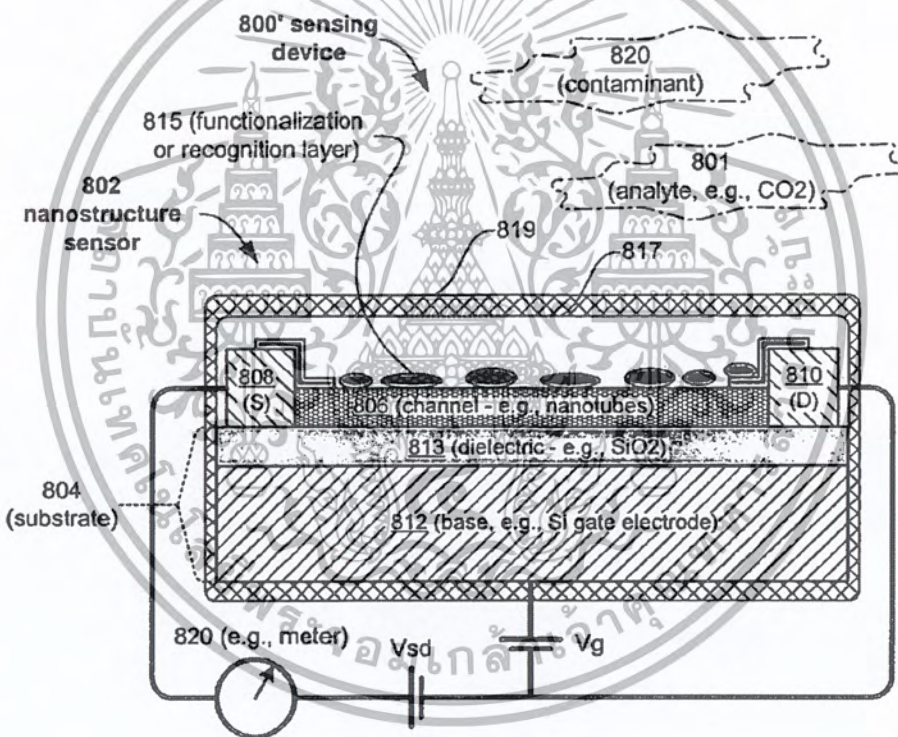
โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนเทียบเท่ากับ 1 มิติ จึงทำให้มีการนำไฟฟ้าแบบ Ballistic คือไม่มีการกระจัดกระจายของอิเล็กตรอนตลอดความยาวของท่อ ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เหมาะที่จะใช้ในวงจรรานาอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำได้อีกด้วย โดยเมื่อไม่นานมานี้ บริษัท ไอบีเอ็ม และกลุ่มของ Prof Dekker ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างทรานซิสเตอร์ และลอจิกเกตจากท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว ได้เป็นครั้งแรกของโลก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในคอมพิวเตอร์ในอนาคตได้ ทำให้ลดขนาดของอุปกรณ์ และปริมาณในการกินกระแสไฟฟ้าลงได้ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ใช้ท่อนาโนคาร์บอนในการสร้างทรานซิสเตอร์

2.6.4 ใช้เป็นนาโนโพรบ (Probe) และเซนเซอร์

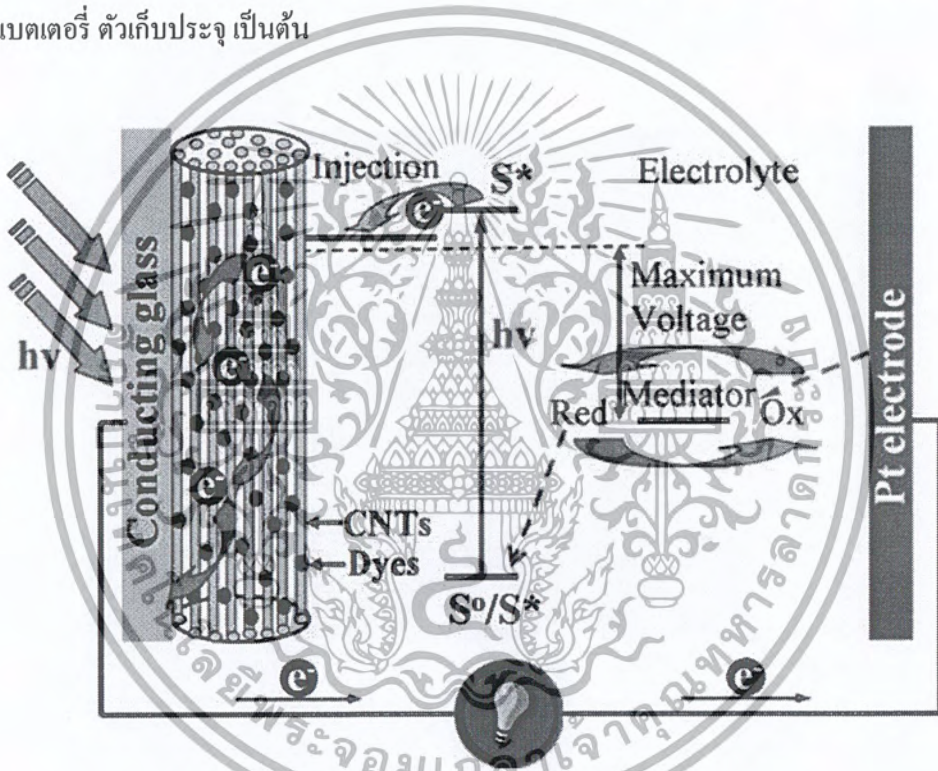
ท่อนานาคาร์บอนมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร มีความยืดหยุ่นสูง จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นโพรบของเครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างของสารในระดับอะตอม เช่น Scanning Probe Microscope (SPM), Atomic Force Microscopy (AFM), และประดิษฐ์เป็นนาโนคีม (Nano Tweezers) และยังสามารถดัดแปลง โดยนำ Functional Group ต่างๆ เช่น $-COOH$ มายึดติดที่ปลายท่อเพื่อนำไปใช้ในด้านชีววิทยาและการแพทย์ได้ นอกจากนี้ท่อนานาคาร์บอนยังสามารถนำมาสร้างเป็นเซนเซอร์ทางเคมีได้อีกด้วย เช่น ทำเป็นเซนเซอร์ก๊าซ เช่น NO_2 , NH_3 , O_2 ได้ โดยตรวจสอบจากค่าความต้านทานของท่อที่เปลี่ยนไป ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ใช้ท่อนานาคาร์บอนในการสร้างตัวเซนเซอร์เคมี

2.6.5 ใช้ในการกักเก็บพลังงาน

ท่อนาโนคาร์บอนมีลักษณะโครงสร้างเป็นท่อกลวง มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กในระดับนาโนเมตรและที่พื้นผิวที่มาก ทำให้เป็นที่สนใจที่จะนำมาใช้ในการเก็บไฮโดรเจน ซึ่งเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงและไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม โคนมีนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Dillon แสดงผลการคำนวณว่าท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว จะสามารถกักเก็บไฮโดรเจนได้มากขึ้น เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อมากขึ้นและมีความเป็นไปได้ที่จะเก็บไฮโดรเจนได้ถึง 6.5% โดยน้ำหนักซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ ดังรูปที่ 2.15 เป็นการนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุ เป็นต้น



รูปที่ 2.15 ใช้ท่อนาโนคาร์บอนในการสร้างเป็นอุปกรณ์เก็บพลังงาน

บทที่ 3

เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ที่อนาโนคาร์บอน

เนื่องจากเทคโนโลยีการศึกษาด้านนาโนเทคโนโลยีเป็นการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งที่มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร ซึ่งในส่วนของบทนี้ จะกล่าวถึงเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์วัสดุที่อนาโนคาร์บอน มีได้จากการสังเคราะห์ เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติ ขนาดและความบริสุทธิ์ ซึ่งประกอบด้วย SEM และ TEM

3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SCANNING ELECTRON MICROSCOPE, SEM)

เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ช่วยขยายตาประเภท กล้องจุลทรรศน์ ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ฉายหรือส่องกราด ไปบนผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบ ให้ได้ข้อมูลของลักษณะพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็น ได้ด้วยตาเปล่าหรืออาจบันทึกภาพที่บนแผ่นฟิล์มได้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนมีชื่อ"ภาษาอังกฤษ"คำเต็มว่า SCANNING ELECTRON MICROSCOPEและโดยทั่วไปแล้วผู้ที่คุ้นเคยกับอุปกรณ์ชนิดนี้มักจะเรียกชื่อย่อเป็น"ภาษาอังกฤษว่า"SEM" (ออกเสียงว่า เอสอีเอ็ม) ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ส่วนกล้องจุลทรรศน์อีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นต้นกำเนิดของSEMนั้นเป็นกล้องจุลทรรศน์ชนิดที่เรียกว่าTEM(อ่านว่าทีอีเอ็ม)คำนี้ย่อมาจากTransmission Electron Microscopeซึ่งหมายถึงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนส่องผ่านตัวอย่างที่บางมากและภาพที่เกิดขึ้นก็คือเงาที่ปรากฏบนแผ่น รับภาพซึ่งสามารถบันทึกบนแผ่นฟิล์ม(ถ่ายภาพ)ได้เช่นกันทั้งSEMและTEMมีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานคล้ายคลึงกันในระบบโดยเฉพาะที่เกี่ยวข้อง กับระบบสุญญากาศการทำให้มีลำแสงอิเล็กตรอนและระบบเส้นส่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีบทบาทในการรวมหรือกระจายลำแสงอิเล็กตรอนตัวอย่าง ที่ต้องการศึกษาหรือตรวจสอบระบบอื่นๆของกล้องทั้งสองประเภทมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือระบบของการสร้างภาพและลักษณะของภาพ ที่ปรากฏนั้นคือTEMมีระบบของการเกิดภาพได้ง่ายๆภาพที่เกิดขึ้นจะปรากฏให้ผู้ใช้เห็นได้โดยตรงบนแผ่นรับภาพและภาพนั้นเกิดความแตกต่าง ระหว่างความโปร่งใสและความทึบแสงที่ลำแสงอิเล็กตรอนผ่านหรือไม่สามารถจะผ่านได้ภาพที่ปรากฏก็คือเงาของตัวอย่างส่วนระบบการเกิดภาพใน SEMเป็นระบบที่ค่อนข้างจะยุ่งยากไม่ใช่เป็นเงาที่ภาพที่เกิดขึ้น โดยตรงอันเกิดจากลำแสงอิเล็กตรอนผ่านหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถจะผ่านตัวอย่างภาพในSEM จึงเป็นภาพที่เกิดโดยทางอ้อมซึ่งเป็นการรวบรวมสัญญาณที่เกิด ภายหลังจากการกระทบลำแสงอิเล็กตรอนแล้วเปลี่ยนไปเป็นภาพให้ปรากฏบนจอภาพที่มี ลักษณะคล้าย จอโทรทัศน์หรืออีกนัยหนึ่งภาพที่เกิดขึ้นในSEMก็คือผลจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าให้ เป็นภาพถึงแม้ว่าภาพซึ่งเป็นผลหรือ ข้อมูลที่ได้รับมาโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้ง2 ประเภทดังกล่าวคือทั้งTEMและSEMจะเป็นภาพของตัวอย่างที่เป็นภาพขยายและมีรายละเอียด สูงก็ ตามภาพที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์ทั้ง2ประเภทมีลักษณะที่แตกต่างกันมากภาพที่ได้รับจากการใช้TEM เป็นภาพขยายที่มีการแจกแจงรายละเอียดสูง และมีลักษณะ2มิติ ส่วนภาพที่ได้รับจากSEMนั้น นอกเหนือจากเป็นภาพที่มีคุณสมบัติในด้านกำลังขยายและรายละเอียดแล้วภาพที่ปรากฏจาก การใช้ SEMยังมีลักษณะพิเศษอีกหนึ่งคือเป็นภาพที่มีความลึกหรือเป็นภาพประเภท3มิติซึ่งทำความ ประทับใจแก่ผู้ใช้SEMเป็นอย่างมาก



รูปที่ 3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM)

3.2 กล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ (Transmission Electron Microscope, TEM)

ทั้งแบบใช้แสงธรรมดาและใช้รังสีแบบอื่นๆ มีข้อจำกัดใน การขยายภาพ เพราะกำลังขยาย และกำลังแยกนอกจากขึ้นอยู่กับลักษณะของเลนส์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับ ความยาวคลื่นของแสงที่ใช้อีกด้วย กล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบที่มีคุณภาพดีที่สุดแล้วมีกำลังแยกขณะใช้ส่อง ดูวัตถุขนาดเล็กสุด เพียง 0.2 ไมโครเมตรเท่านั้น ส่วนกำลังขยายรวมก็ไม่เกิน 2,000 เท่า ขณะที่ใช้กำลัง ขยายสูงสุด ยังมองเห็นวัตถุภายในเซลล์ที่มีขนาดเล็กเป็นจุด ไม่สามารถแยกรายละเอียดได้ว่าส่วนนั้นเป็นอะไร จึงมีการค้นคว้าคิดหาวิธีการประดิษฐ์ กล้องจุลทรรศน์ให้มีกำลังขยายมากกว่านี้ ในที่สุดความพยายามก็ ประสบผลสำเร็จ เมื่อนักฟิสิกส์หลายคนได้แสดงให้เห็นว่าอิเล็กตรอนมีช่วงคลื่นสั้นกว่าคลื่นของแสงมาก จึงมีการนำเอาอิเล็กตรอนเข้ามาใช้ในกล้องจุลทรรศน์แทนคลื่นแสง และใช้เลนส์แม่เหล็ก แทนเลนส์กระจก เรียกกล้องดังกล่าว ว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเลนส์ประกอบ (Transmission Electron Microscope, TEM)

บทที่ 4

วิธีการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

4.1.1 ติดตั้งแผ่นนิกเกิลแบบกริดและแบบรู ดังรูปที่ 4.1 บนแหวน Stainless Steel ที่เป็นตัวจับ เพื่อเข้ากระบวนการตกสะสมไอเชิงเคมี แสดงดังรูป 4.2

4.1.2 ใส่ชิ้นงานในท่อควอดซ์

4.1.3 ปรับอุณหภูมิของเตาตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยมีที่อุณหภูมิ 600 °C 700 °C และ 800 °C ในระหว่างที่เตาปรับอุณหภูมิถึงอุณหภูมิที่ต้องการ จะใส่ก๊าซอาร์กอนเข้าไปที่ 500 SCCM

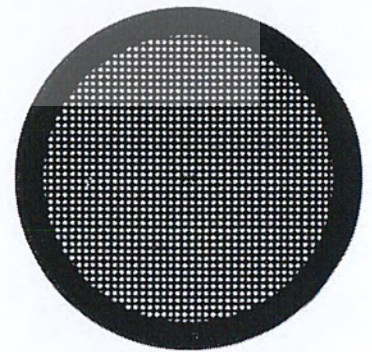
4.1.4 เมื่อเตาถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วจะทำการใส่ไอเอทานอลรวมกับก๊าซอาร์กอนที่ 1000 SCCM เป็นเวลา 20 นาที

4.1.5 เมื่อครบ 20 นาที จะลดอุณหภูมิเตาลงและหยุดปล่อยไอเอทานอล แต่ยังคงใส่ก๊าซอาร์กอนจนเตามีลดลงถึงอุณหภูมิ 300 °C จึงหยุดใส่ก๊าซอาร์กอน แสดงดังรูป 4.3

4.1.6 นำแผ่นนิกเกิลที่ผ่านกระบวนการตกสะสมไอเชิงเคมี ไปตรวจวิเคราะห์หาฟอนาโนคาร์บอน ที่เกิดขึ้นบนแผ่นนิกเกิล โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

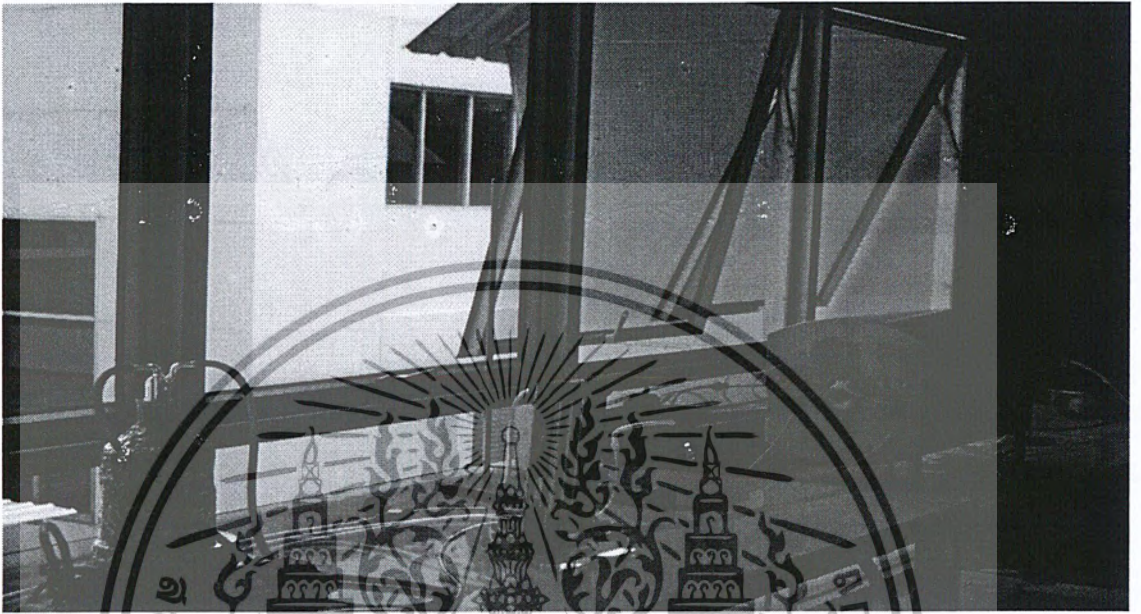
Nickel Grid
G400-Ni Mesh Square

Nickel Aperture
0.6 mm GA600

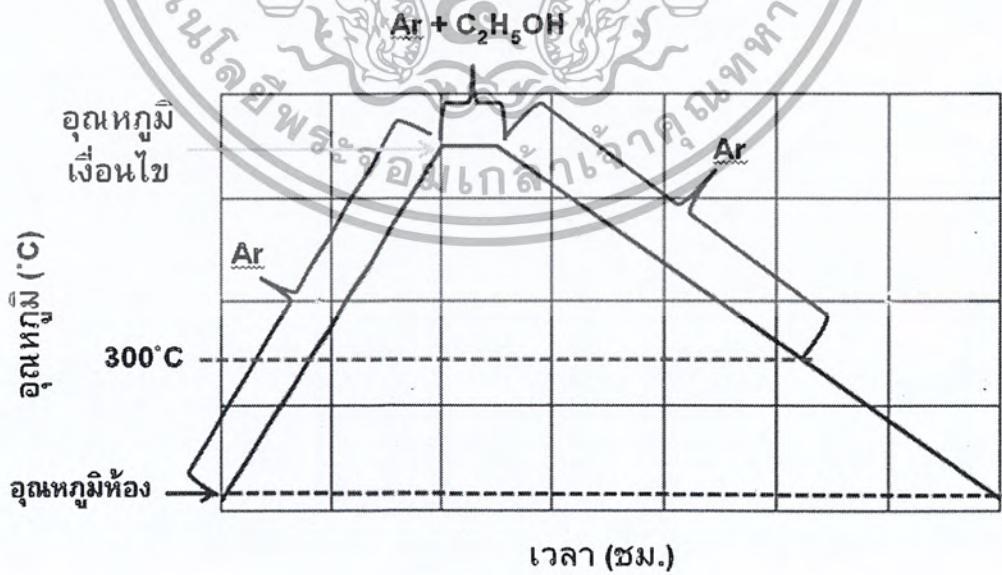


รูปที่ 4.1 นิกเกิลแบบ GRID และแบบ APERTURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กระบวนการตกตะกอนไอเชิงเคมี

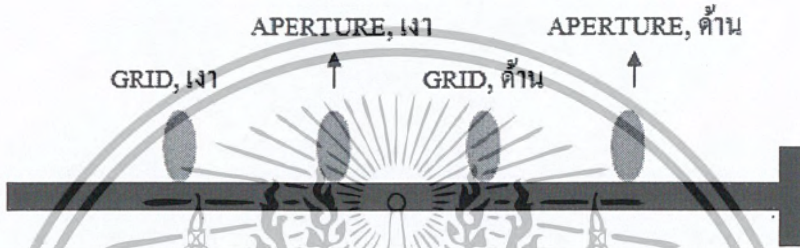


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของวิธีการตกตะกอนไอเชิงเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

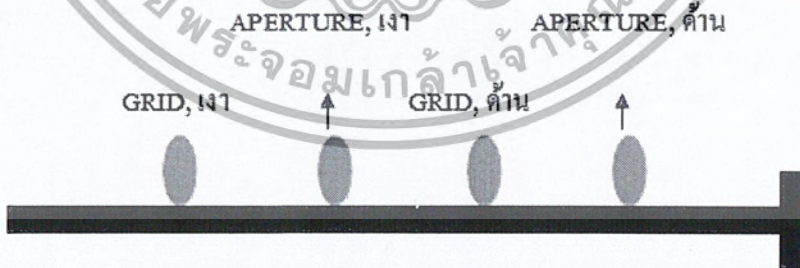
4.2 ขั้นตอนการทำกราดทดลอง

4.2.1 นำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการตกตะกอนไอเชิงเคมี ที่อุณหภูมิ 600°C ตำแหน่งกลางเตา โดยเรียงลำดับ ตามที่แสดงดังรูปที่ 4.4



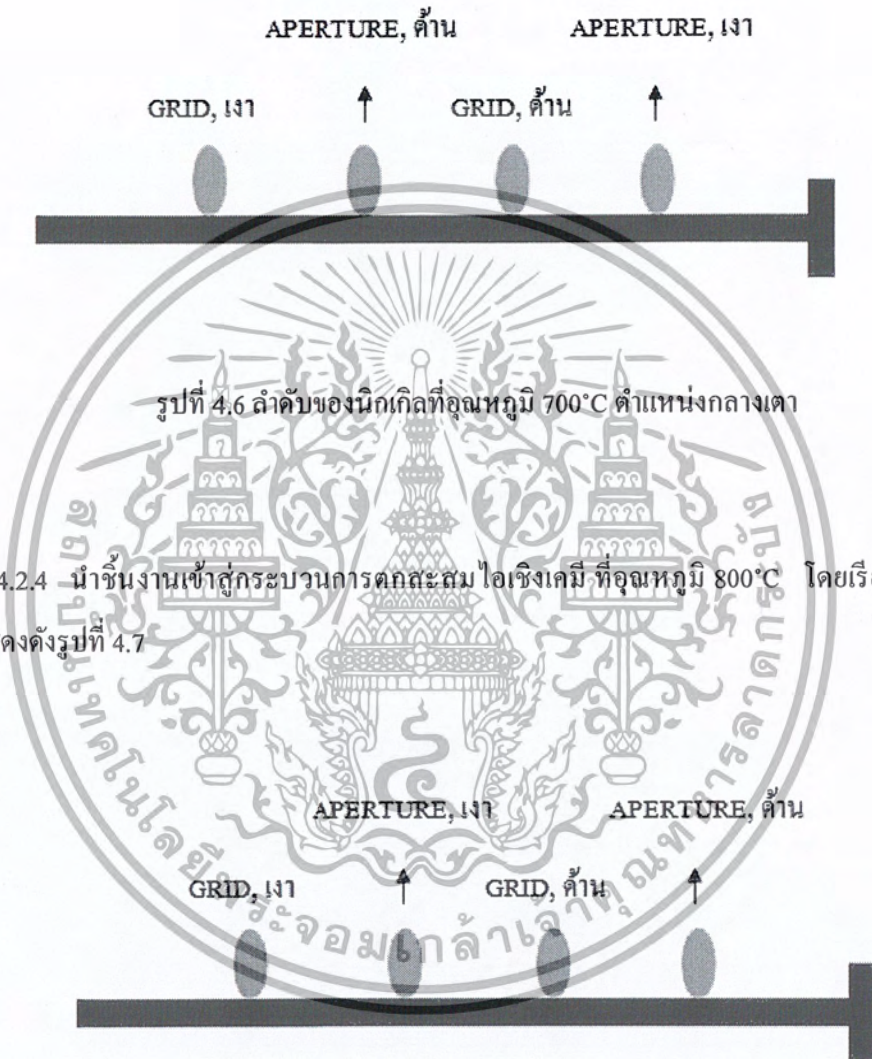
รูปที่ 4.4 ลำดับของนิกเกิลที่อุณหภูมิ 600°C ตำแหน่งกลางเตา

4.2.2 นำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการตกตะกอนไอเชิงเคมี ที่อุณหภูมิ 600°C ตำแหน่งปลายเตา โดยเรียงลำดับ ตามที่แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ลำดับของนิกเกิลที่อุณหภูมิ 600°C ตำแหน่งปลายเตา

4.2.3 นำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการตกสะสมไอเชิงเคมี ที่อุณหภูมิ 700°C ตำแหน่งกลางเตา โดยเรียงลำดับ ตามที่แสดงดังรูปที่ 4.6



4.2.4 นำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการตกสะสมไอเชิงเคมี ที่อุณหภูมิ 800°C โดยเรียงลำดับ ตามที่แสดงดังรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 ลำดับของนิกเกิลที่อุณหภูมิ 800°C

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในการนำชิ้นงานที่ผ่านเข้าสู่กระบวนการตกสะสมไอเชิงเคมี ไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ได้ผลการทดลอง ดังนี้

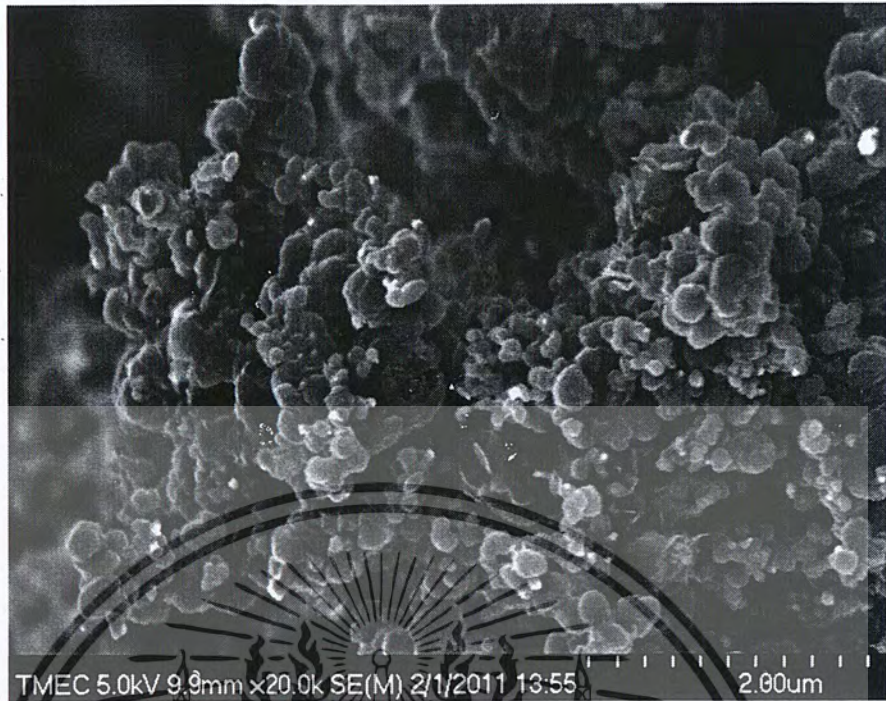
5.1 ที่อุณหภูมิ 600°C

5.1.1 ตำแหน่งกลางเตา

5.1.1.1 สำหรับนิกิลเกิด GRID ด้านเงา เกิดกลุ่มก้อนของแกรไฟต์ ที่แสดงดังรูป

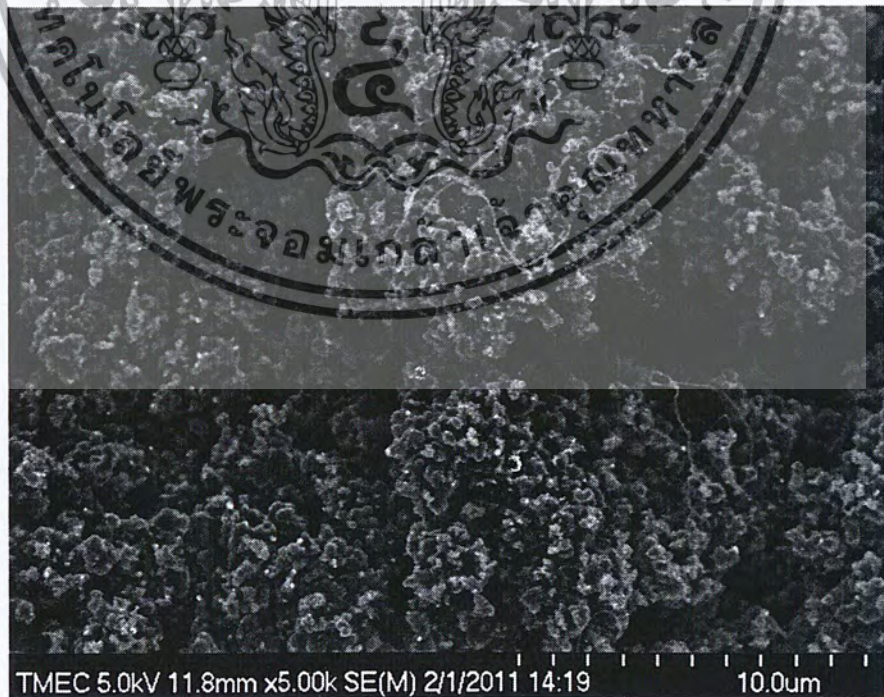


รูปที่ 5.1 กลุ่มก้อนของแกรไฟต์ที่กำลังขยาย 5k



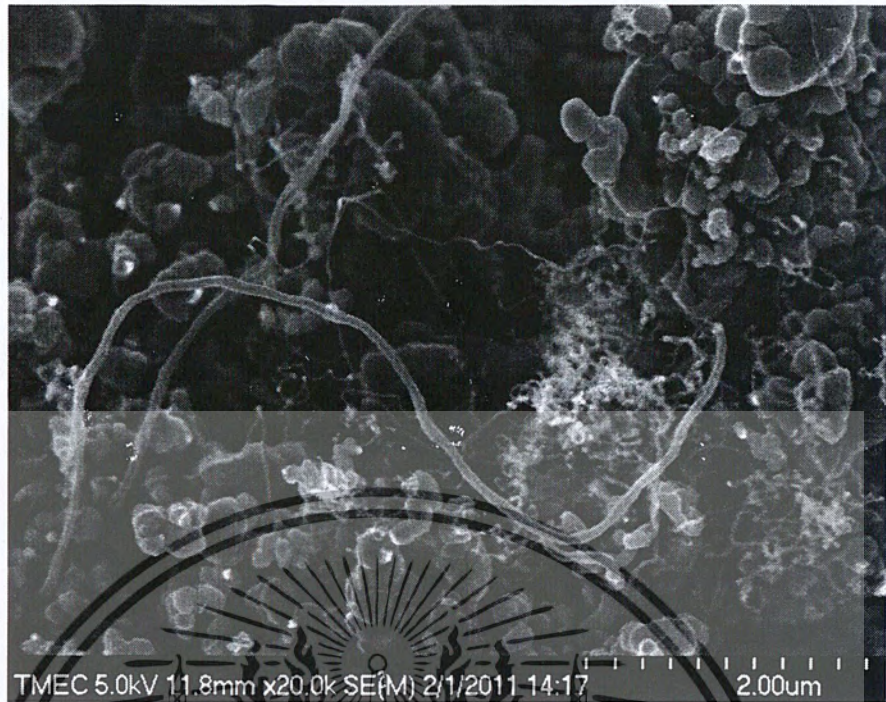
รูปที่ 5.2 กลุ่มก้อนของแกรไฟต์กำลังขยาย 20k

5.1.1.2 สำหรับนิกเกิล APERGURE ด้านเงา เกิดคาร์บอนไฟเบอร์ แสดงดังรูป



รูปที่ 5.3 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 5k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



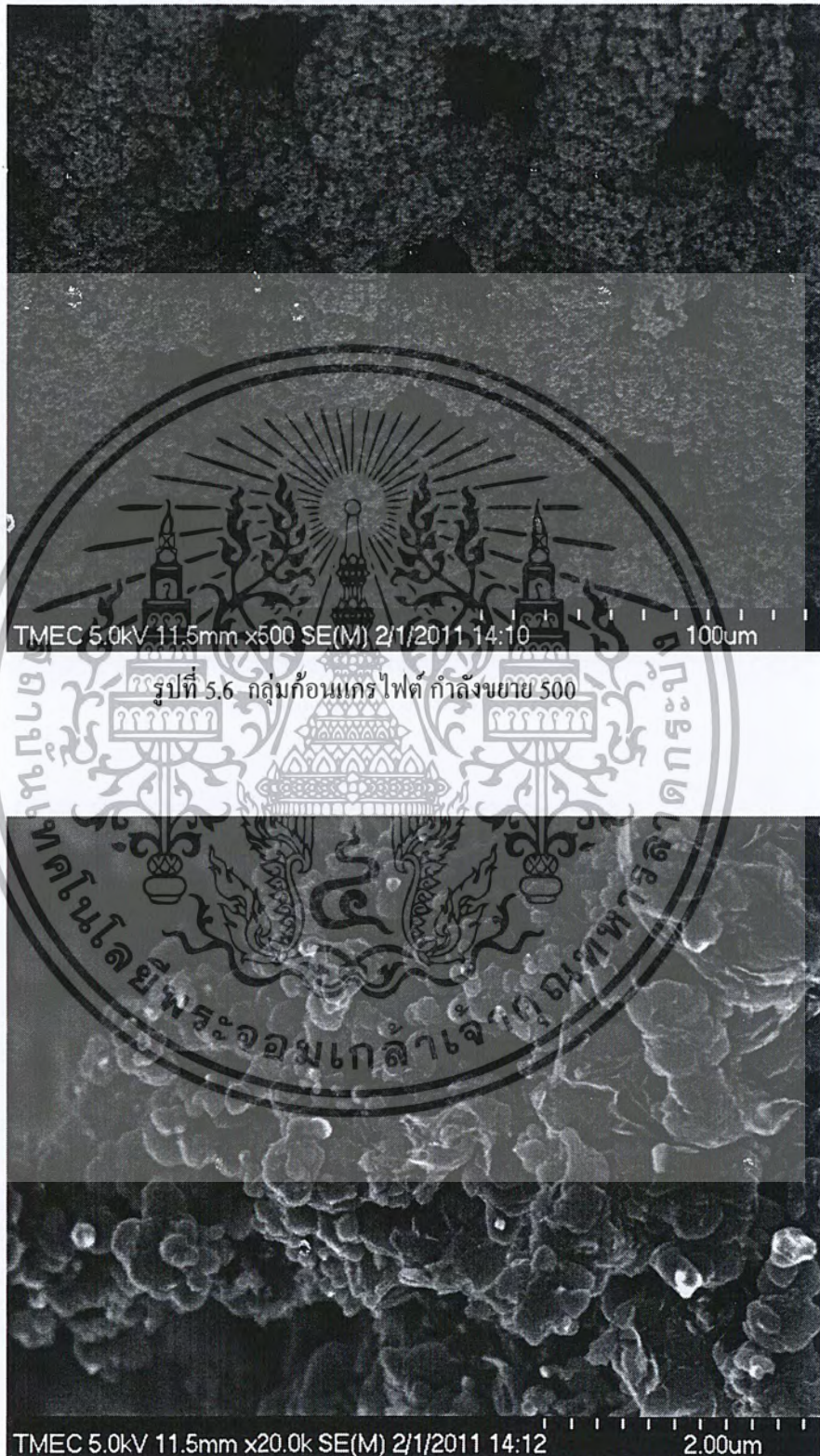
รูปที่ 5.4 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 20k



รูปที่ 5.5 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

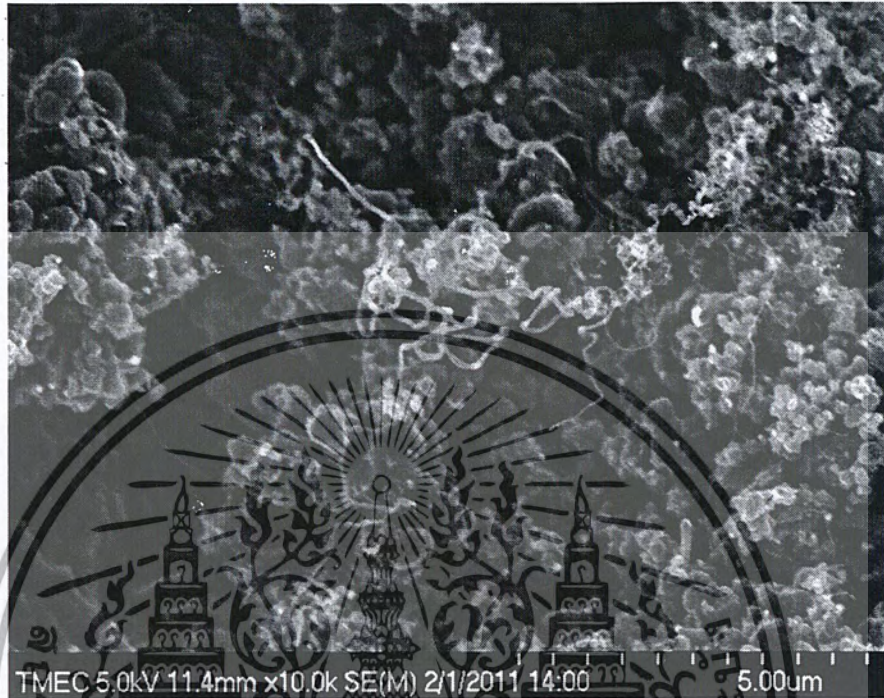
5.1.1.3 สำหรับนิกเกิล GRID ด้านด้าน เกิดกลุ่มก้อนของแกรไฟต์ แสดงดังรูป



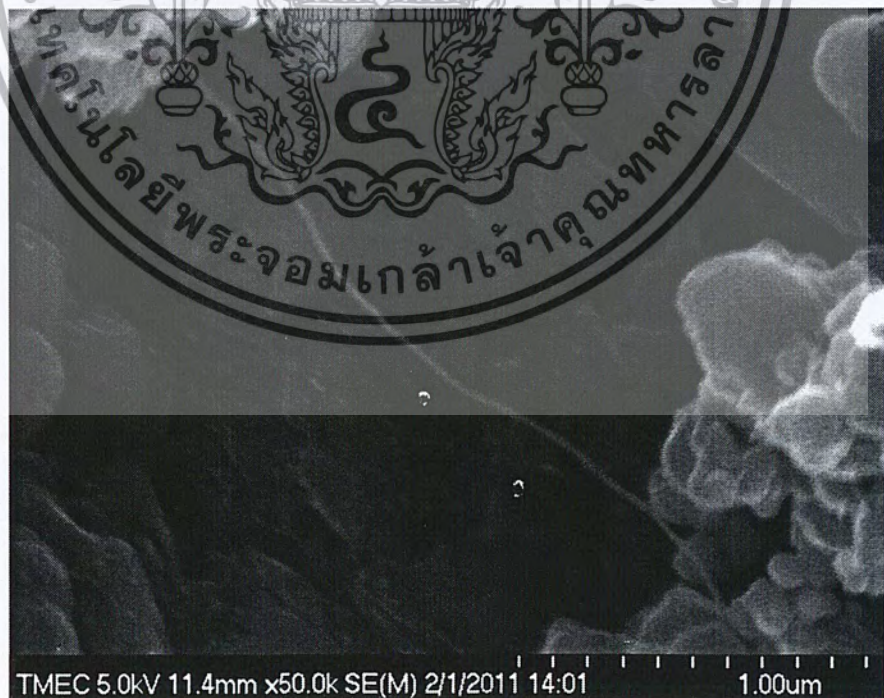
รูปที่ 5.7 กลุ่มก้อนแกรไฟต์ กำลังขยาย 20k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.4 สำหรับนิกเกิล APERTURE ด้านด้าน เกิดท่อนาโนคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์
แสดงดังรูป



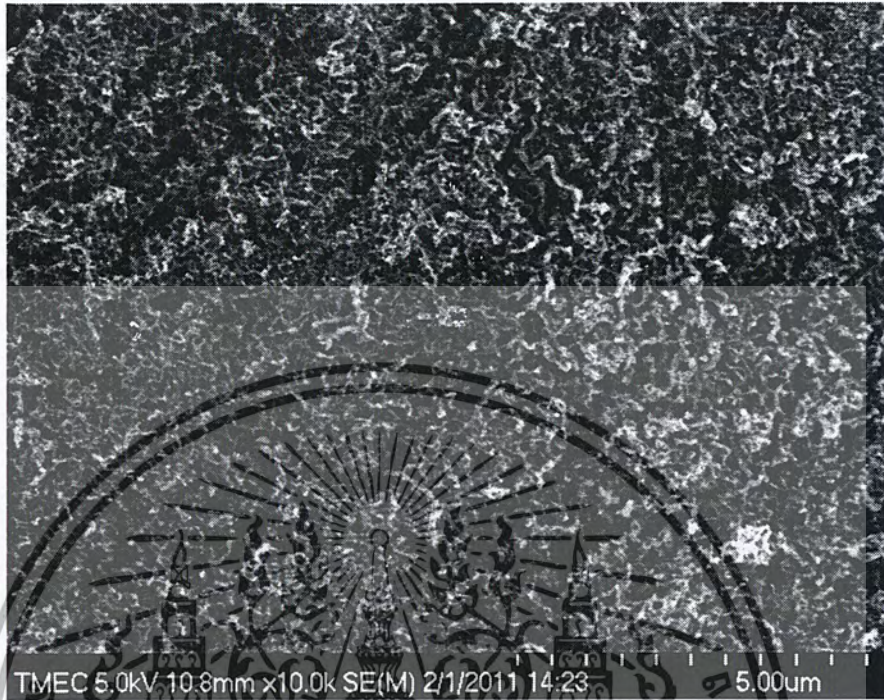
รูปที่ 5.8 ท่อนาโนคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 10k



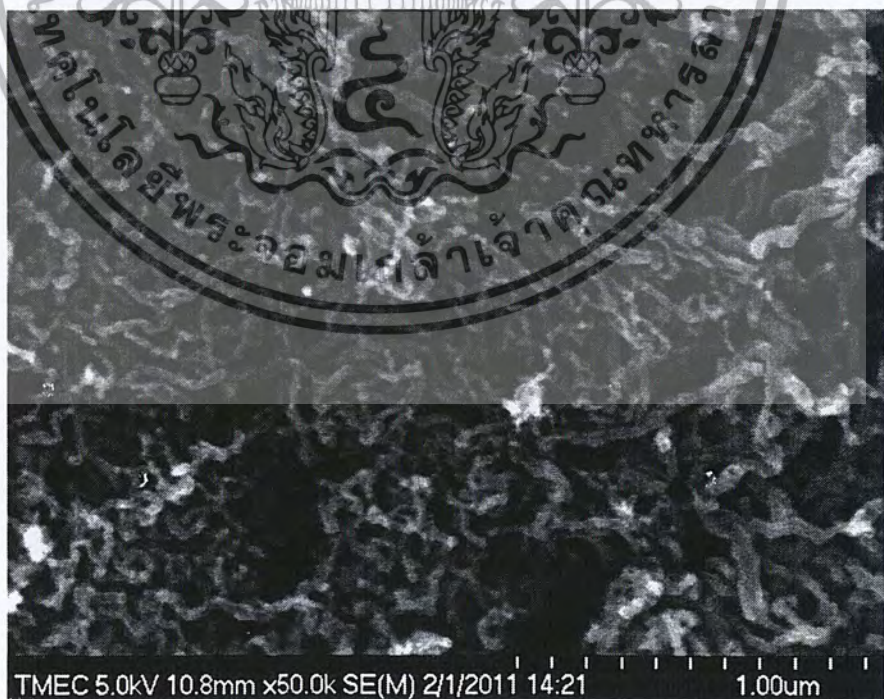
รูปที่ 5.9 ท่อนาโนคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.5 บริเวณแหวน STAINLESS เกิดคาร์บอนไฟเบอร์บนกลุ่มก้อนแกรไฟต์ แสดงดังรูป



รูปที่ 5.10 คาร์บอนไฟเบอร์บนกลุ่มก้อนแกรไฟต์ กำลังขยาย 10k

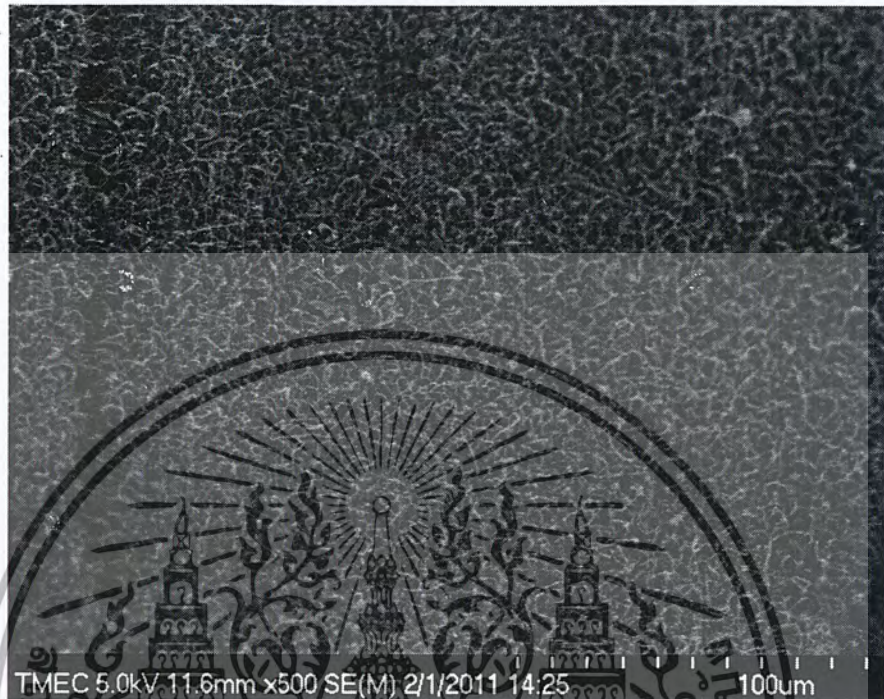


รูปที่ 5.11 คาร์บอนไฟเบอร์บนกลุ่มก้อนแกรไฟต์ กำลังขยาย 50k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ตำแหน่งปลายเตา

5.1.2.1 สำหรับนิกเกิล GRID ด้านเงา เกิดคาร์บอนไฟเบอร์ แสดงดังรูป

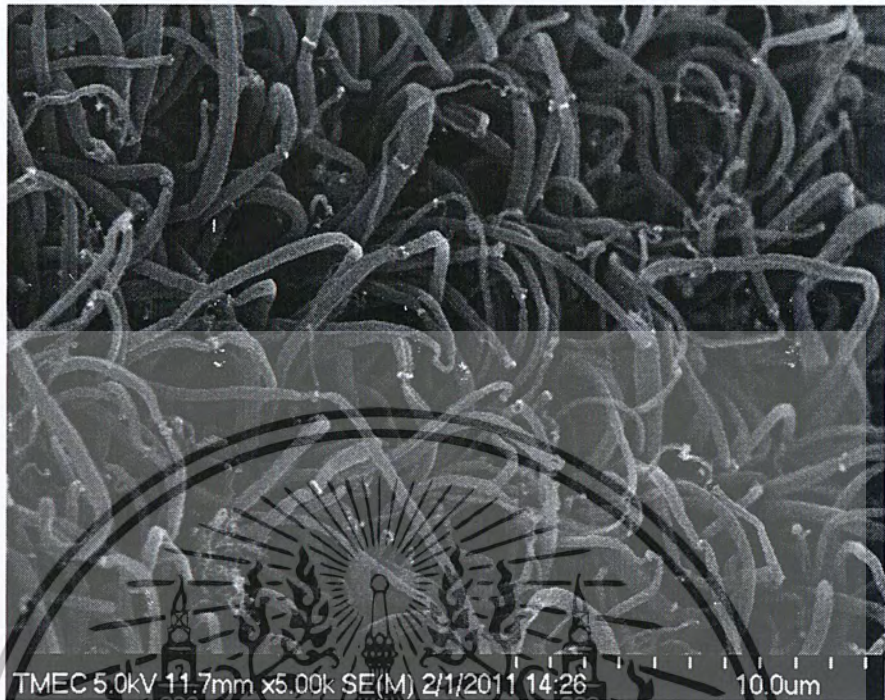


รูปที่ 5.12 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 500



รูปที่ 5.13 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 1k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 1k



รูปที่ 5.15 ท่อนาโนคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 20k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.2 สำหรับนิกเกิล APERTURE ด้านเงา เกิดคาร์บอนไฟเบอร์ แสดงดังรูป



รูปที่ 5.16 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 5k



รูปที่ 5.17 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 10k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k

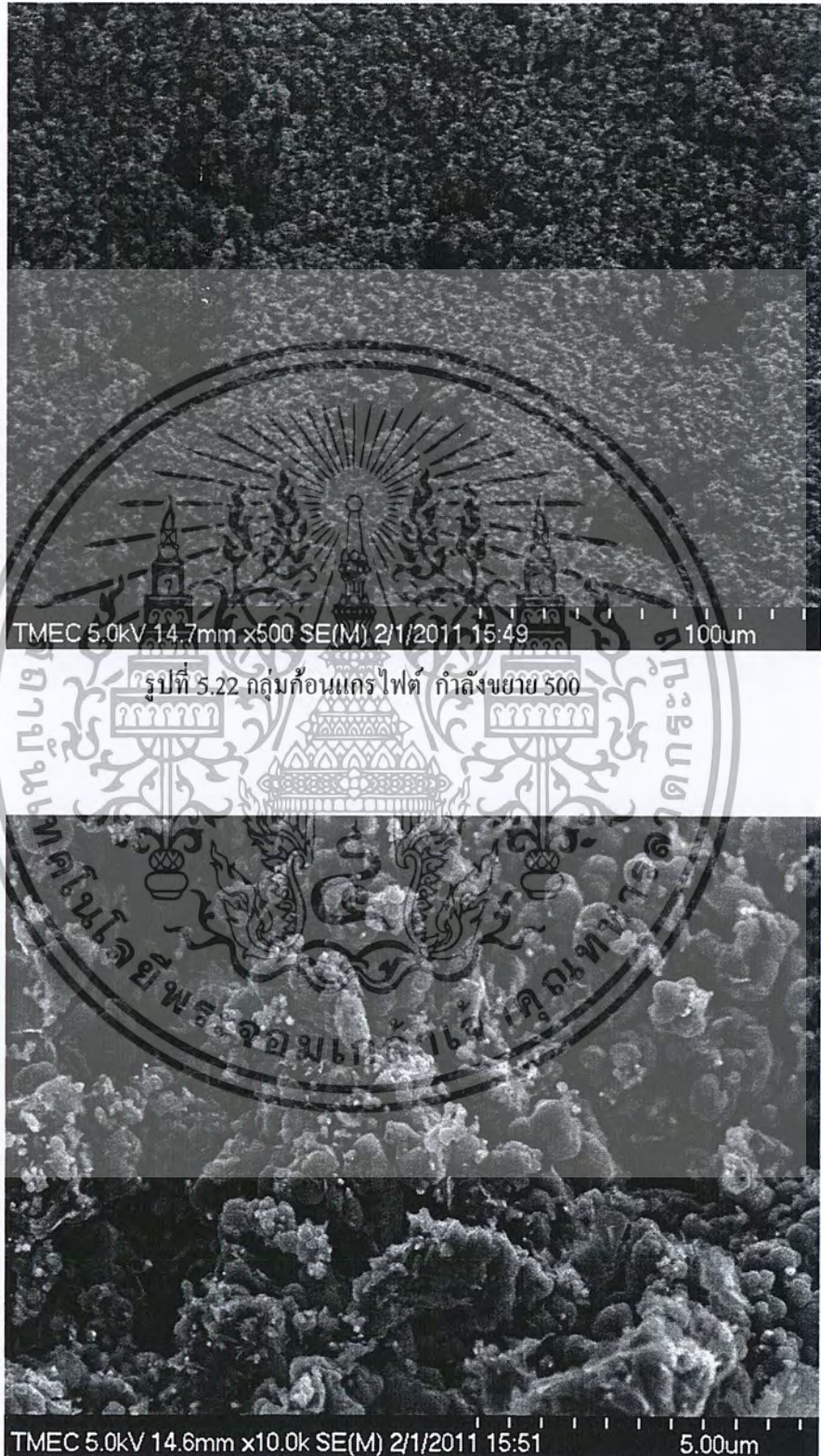
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 100k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.3 สำหรับนิกเกิล GRID ด้านด้าน เกิดกลุ่มก้อนแกรไฟต์ แสดงดังรูป



รูปที่ 5.23 กลุ่มก้อนแกรไฟต์ กำลังขยาย 10k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.4 สำหรับนิกเกิล APERTURE ด้านด้าน เกิดคาร์บอนไฟเบอร์ แสดงดังรูป



รูปที่ 5.24 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 20k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 100k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.5 บริเวณแหวน STAINLESS เกิดคาร์บอนไฟ แสดงดังรูป



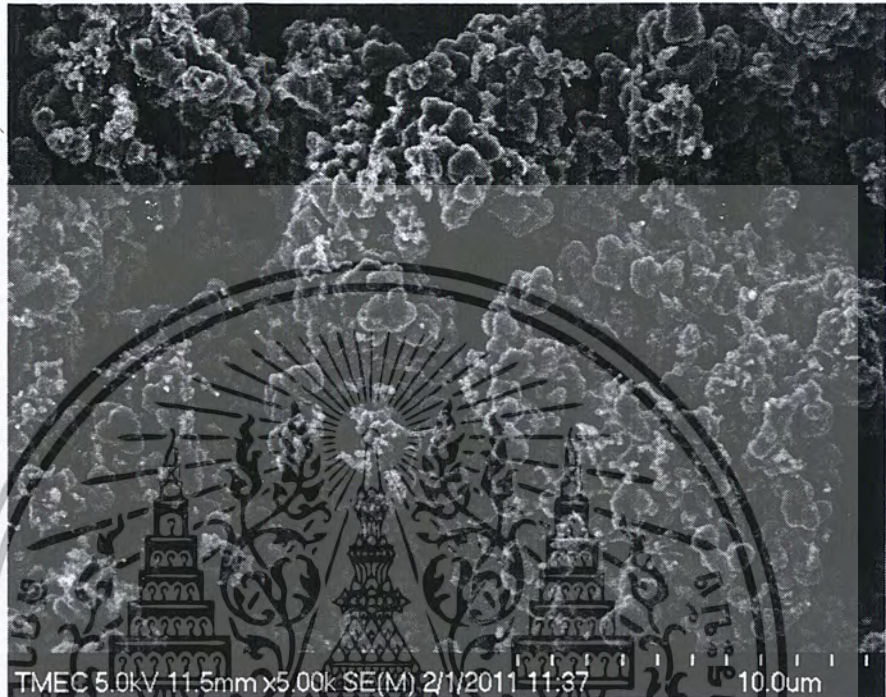
รูปที่ 5.27 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 100k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

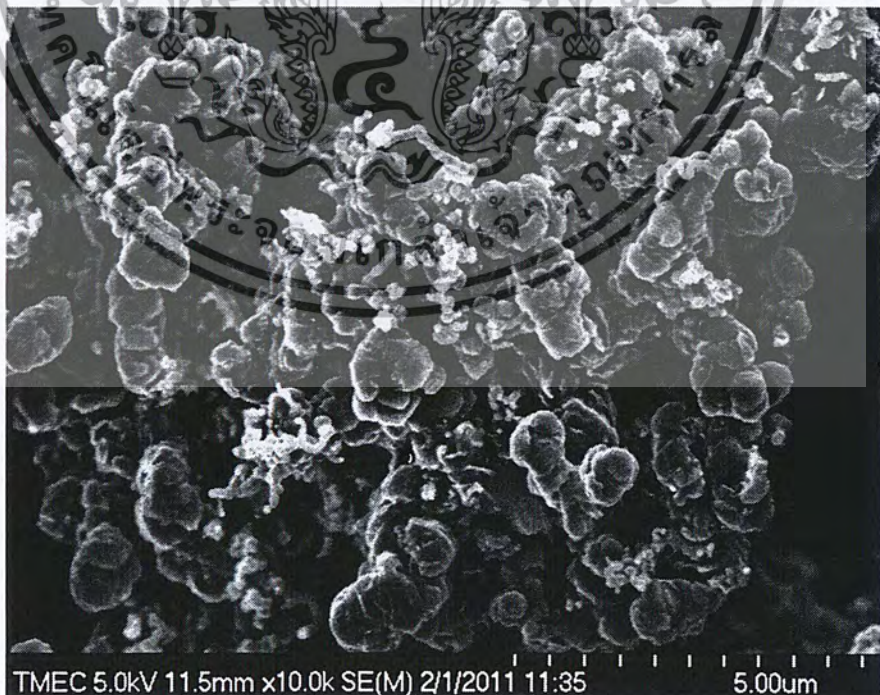
5.2 ที่อุณหภูมิ 700°C

5.2.1 ตำแหน่งกลางเตา

5.2.1.1 สำหรับนิกเกิล GRID ด้านเงา เกิดกลุ่มก้อนของแกรไฟต์ แสดงดังรูป



รูปที่ 5.28 กลุ่มก้อนของแกรไฟต์ กำลังขยาย 5k

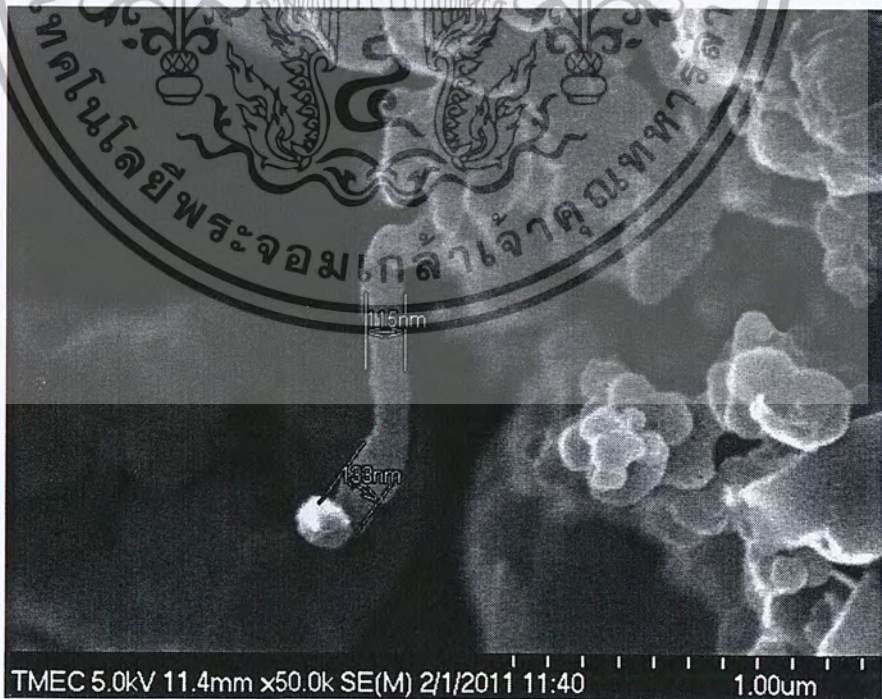


รูปที่ 5.29 คาร์บอนไฟเบอร์บนกลุ่มก้อนของแกรไฟต์ กำลังขยาย 10k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 กลุ่มก้อนของแกรไฟต์ กำลังขยาย 20k



รูปที่ 5.31 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.2 สำหรับนิกเกิล APERTURE ด้านด้าน เกิดท่อนาโนคาร์บอน แสดงดังรูป



รูปที่ 5.32 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k

รูปที่ 5.33 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k

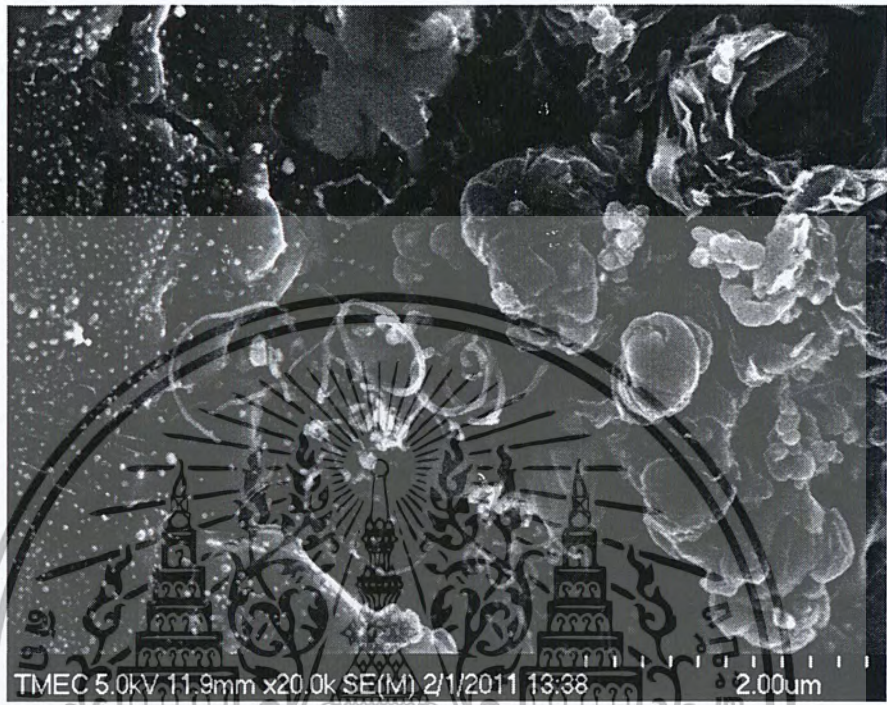
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.35 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 50k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.3 สำหรับนิกเกิล GRID ด้านด้าน เกิดท่อนาโนคาร์บอน แสดงดังรูป



รูปที่ 5.36 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k



รูปที่ 5.37 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

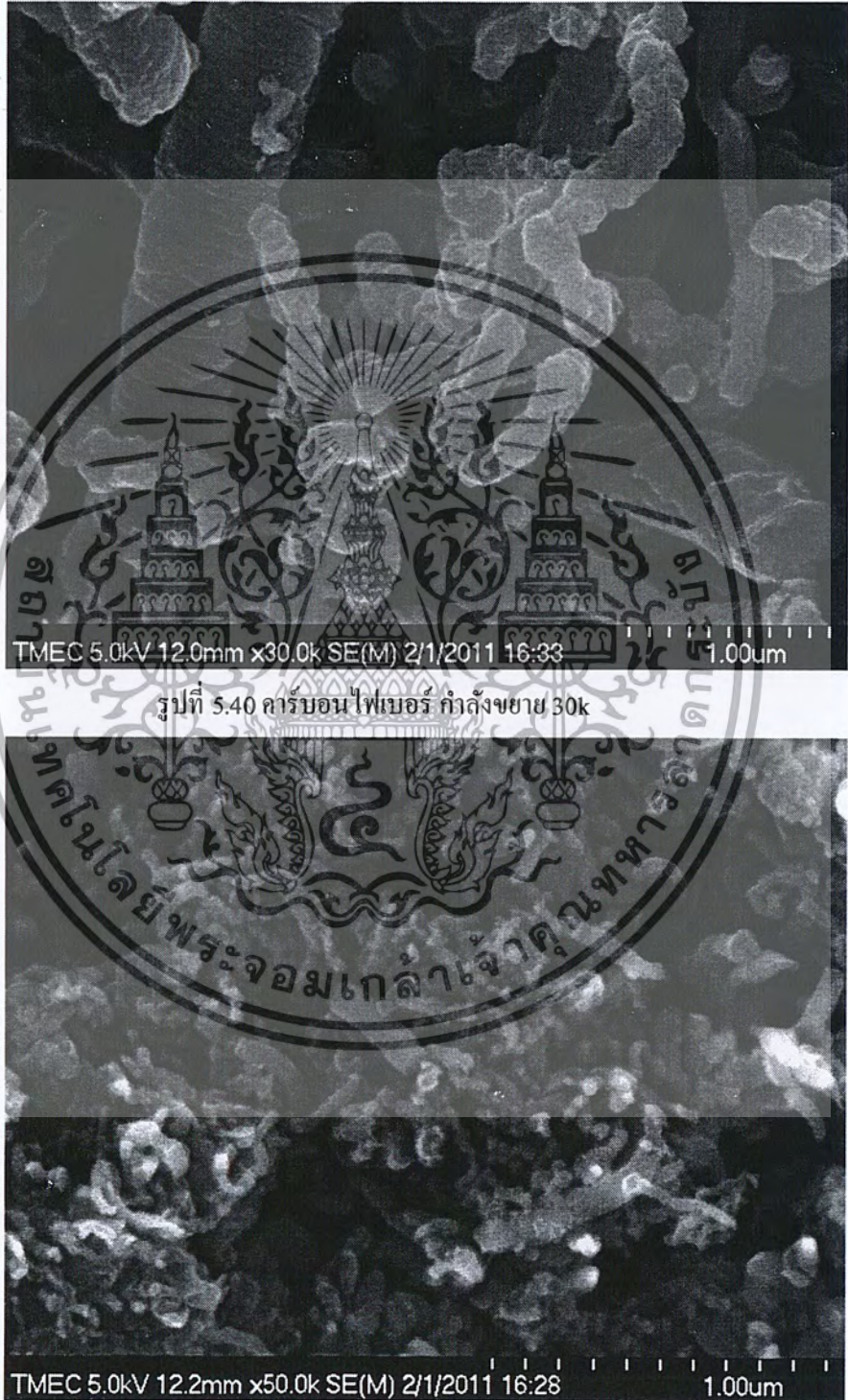
5.2.1.4 สำหรับนิกเกิล APERTURE ด้านเงา เกิดท่อนาโนคาร์บอน แสดงดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

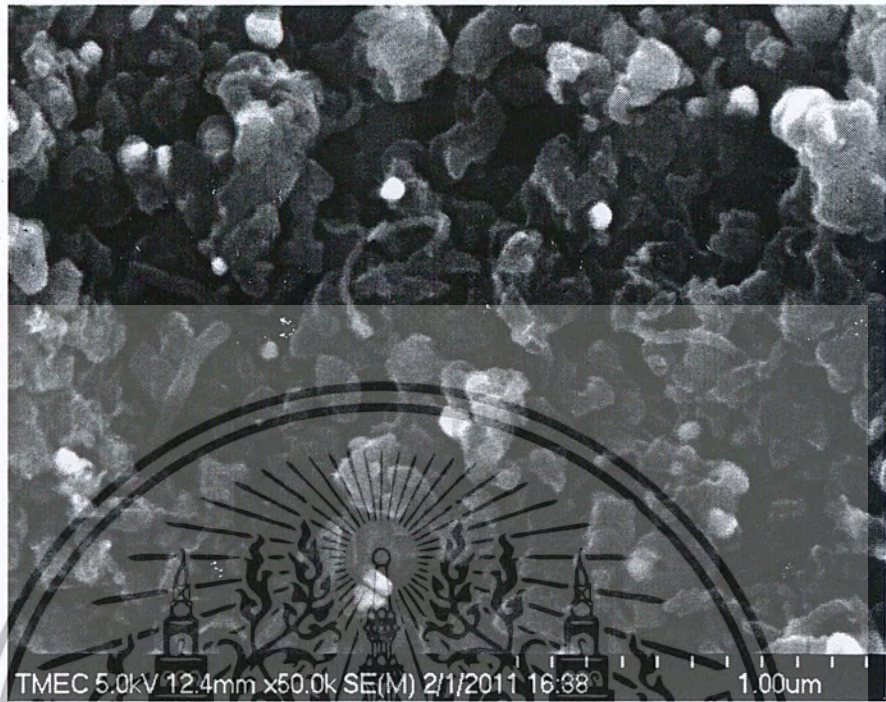
5.3 ที่อุณหภูมิ 800°C

เกิดคาร์บอนไฟเบอร์ แสดงดังรูป



รูปที่ 5.41 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.42 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 50k



รูปที่ 5.43 คาร์บอนไฟเบอร์ กำลังขยาย 100k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

6.1.1 เกิดท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 600°C ได้ดีที่สุดโดยใช้แอลกอฮอล์ อุณหภูมิ 600°C ที่ตำแหน่งปลายเตา เกิดคาร์บอนนาโนทิวที่มีความสมบูรณ์มากที่สุด นั่นคือ ท่อนาโนคาร์บอนมีความยาวมาก แต่สั้นไม่เป็นระเบียบ จับกลุ่มเป็นก้อน แสดงดังรูปที่ 6.1 ซึ่งทางผู้วิจัยจะพัฒนาต่อไป



รูปที่ 6.1 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k



รูปที่ 6.2 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k



รูปที่ 6.3 ท่อนาโนคาร์บอน กำลังขยาย 20k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

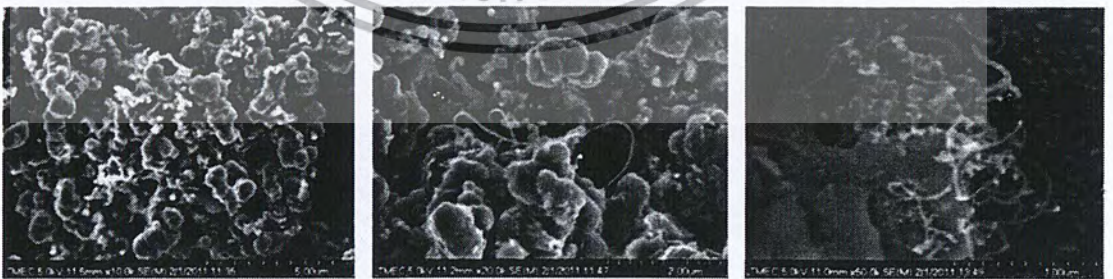
6.1.2 ลักษณะของท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิต่างๆ

6.1.2.1 การสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 600 °C ที่ตำแหน่งกลางเตาและตำแหน่งปลายเตา มีก้อนคาร์บอนที่มาจากไอเอทานอลเกาะบนผิวของนิกเกิลจำนวนมาก บางบริเวณเกิดเป็นคาร์บอนไฟเบอร์ขนาดใหญ่ขึ้นจำนวนมาก ส่วนท่อนาโนคาร์บอนนั้นเกิดบนคาร์บอนไฟเบอร์ มีลักษณะจับกลุ่มเป็นก้อนและเป็นเส้นยาวๆ นอกจากนี้ ท่อนาโนคาร์บอนจำนวนมากยังสามารถพบบนแหวนที่เป็นสแตนเลสที่เป็นตัวจับนิกเกิลอีกด้วย ซึ่งคณะผู้วิจัยกำลังศึกษาชนิดของแหวนว่าเป็นสแตนเลสชนิดใด เพื่อทำการพัฒนากระบวนการปลูกท่อนาโนคาร์บอนด้วยโลหะชนิดนี้ต่อไป



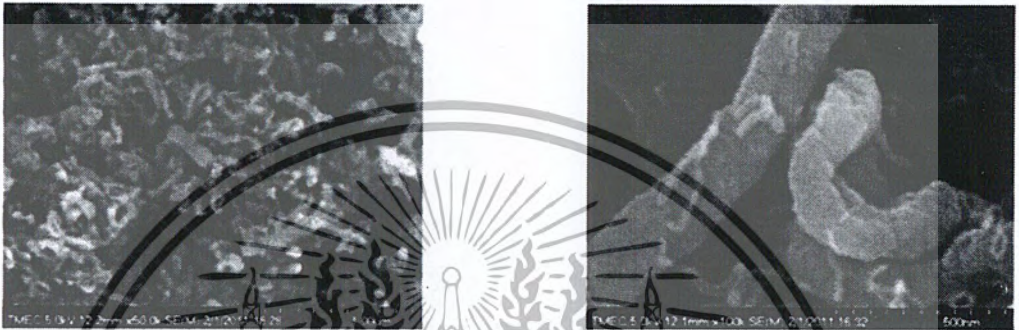
รูปที่ 6.4 ท่อนาโนคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์ที่อุณหภูมิ 600 °C

6.1.2.2 การสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 700 °C ที่ตำแหน่งกลางเตาและตำแหน่งปลายเตา มีก้อนคาร์บอนที่มาจากไอเอทานอลเกาะบนผิวของนิกเกิลจำนวนมาก และเกิดคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีลักษณะเป็นเส้น ซึ่งเมื่อเทียบกับนิกเกิลที่อุณหภูมิ 600 °C แล้วน้อยกว่ามาก สำหรับท่อนาโนคาร์บอนที่เกิดบนก้อนคาร์บอน มีลักษณะเป็นเส้นยาวๆ ขึ้นไม่เป็นระเบียบ



รูปที่ 6.5 คาร์บอนไฟเบอร์ที่อุณหภูมิ 700 °C

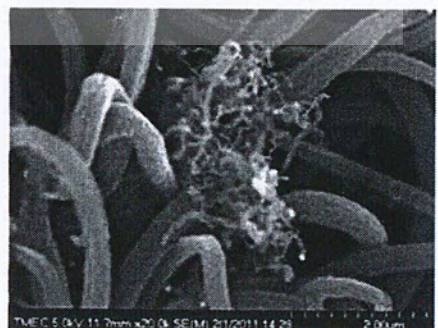
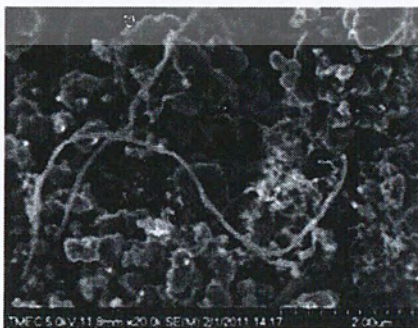
6.1.2.3 การสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ตำแหน่งกลางเตาและตำแหน่งปลายเตา นิกเกิลเกิดการ Oxidized เป็นแผ่นข้อย จึงไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นนิกเกิลเป็นแบบกริดหรือแบบรูเดียว แต่จากการนำไปส่องกล้องพบก้อนคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์เป็นเส้นขึ้นไม่เป็นระเบียบ และท่อนาโนคาร์บอนจับกลุ่มก้อนบนคาร์บอนไฟเบอร์



รูปที่ 6.6 คาร์บอนไฟเบอร์ที่อุณหภูมิ 700 °C

6.1.3 เกิดท่อนาโนคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์

เกิดท่อนาโนคาร์บอนขึ้นบนคาร์บอนไฟเบอร์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากใช้เวลาในการทำวิธีการตกสะสมไอเชิงเคมีนานเกินไป จึงทำให้ท่อนาโนคาร์บอนมีขนาดใหญ่ขึ้นจนกลายเป็นคาร์บอนไฟเบอร์ และเกิดท่อนาโนคาร์บอนขึ้นบนคาร์บอนไฟเบอร์



รูปที่ 6.7 ท่อนาโนคาร์บอนบนคาร์บอนไฟเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.4 เกิดท่อนาโนคาร์บอนเป็นกลุ่มก้อนหนาแน่นที่ STAINLESS

จากตรวจสอบแหวนสแตนเลสที่เป็นตัวจับชิ้นงานนั้น พบว่าเกิดท่อนาโนคาร์บอนขึ้นเป็นจำนวนมาก และเกาะกันเป็นกลุ่ม สันนิฐานว่าอาจมีจุดบางจุดบนแหวนสแตนเลสเอื้อให้เกิดท่อนาโนคาร์บอนขึ้น ซึ่งทางผู้วิจัยจะทำการวิจัยและพัฒนาต่อไป



รูปที่ 6.8 คาร์บอนไฟเบอร์บนแหวนสแตนเลส

6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

6.2.1 เกิดท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 600 °C ซึ่งตามทฤษฎีกล่าวว่า จะเกิดท่อนาโนคาร์บอนหนาแน่นที่สุดที่อุณหภูมิ 700 °C ซึ่งอาจเป็นเพราะสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการคือ แอลกอฮอล์

6.2.2 เกิดคาร์บอนไฟเบอร์ขึ้นที่บริเวณแหวนสแตนเลสเป็นจำนวนมาก

6.3 แผนงานในอนาคต

6.3.1 ทดลองปลูกท่อนาโนคาร์บอนบริเวณแหวนสแตนเลส

6.3.2 เปลี่ยนสารเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวอื่น

6.3.3 เปลี่ยนโลหะที่ใช้ปลูกจากนิกเกิลเป็นสแตนเลส

เอกสารอ้างอิง

- [1] ASM International. Handbook Committee., ASM handbook (ASM International, Materials Park, OH, 1990).
- [2] M. O'Connell, Carbon nanotubes : properties and applications (CRC/Taylor & Francis, Boca Raton, FL, 2006).
- [3] P. J. F. Harris, Carbon nanotube science : synthesis, properties and applications (Cambridge University Press, Cambridge, UK ; New York, 2009).
- [4] T. A. Elwi, H. M. Al-Rizzo, D. G. Rucker, E. Dervishi, Z. Li and A. S. Biris, Nanotechnology 21 045301.
- [5] V. O. Homerberg and J. P. Walsted, A study of the nitriding process--part I [Cleveland,, 1929).

