สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ด้วยวิธี ขดลวดความร้อน CVD ที่ความดันบรรยากาศ

Synthesis of Carbon Nanotubes Using Hot Filament CVD Technique at 1 atm

T061431

โดย

นาย ประจักษ์ พุ่มแพรพันธ์

วพ.
ว/223 ก
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61431
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

.b 11596235
.i

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ด้วยวิธี ขดลวดความร้อน CVD ที่ความดันบรรยากาศ

Synthesis of Carbon Nanotubes Using Hot Filament CVD Technique at 1 atm

โดย

นาย ประจักษ์ พุ่มแพรพันธ์ รหัส 45015239

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สุธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ด้วยวิธี ขดลวดความร้อน CVDที่ความดันบรรยากาศ

ผู้จัดทำ

นาย ประจักษ์ พุ่มแพรพันธ์ รหัส 45015239

.....

(ดร. สุธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ด้วยวิธีขดลวดความร้อน CVD ที่ความดันบรรยากาศ
นักศึกษา	นาย ประจักษ์ พุ่มแพรพันธ์ รหัส 45015239
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร. สุธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เป็นการนำเสนอวิธีการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์อย่างง่าย ด้วยวิธีขดลวดความร้อน CVD (hot filament CVD ; HF-CVD) ที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้แอลกอฮอล์ (Ethanol)เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน(carbon source),ใช้ก๊าซไนโตรเจน(N_2) เป็นก๊าซนำพา(carrier gas) และใช้ขดลวดทังสเตนเป็นขดลวดความร้อน(hot-filament) โดยได้ทำการทดลองหาผลของอุณหภูมิของฐานรองและอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ ที่สภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมที่คาร์บอนนาโนทิวบ์สามารถถูกสังเคราะห์ขึ้นได้ แต่ทิวบ์ที่ได้ยังมีอนุภาคของคาร์บอนเกาะอยู่รอบๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Synthesis of Carbon Nanotubes Using Hot Filament CVD Technique at 1 atm
Student	Mr. Prajak Phumpharphan Student ID 45015239
Programme	Electrical Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Dr. Sutichai Chaisitsak

ABSTRACT

A simplified deposition method for carbon nanotubes using a hot-filament enhanced chemical vapors deposition (HFCVD) has been reported. The experiments were performed at a normal pressure (1 atm) using ethanol as a carbon source, N_2 as a carrier gas and a tungsten coil as a hot-filament. The influences of the substrate temperature and the flow rate of ethanol were investigated. Under the optimal growth condition, the CNTs could be obtained. However, the tubes were contaminated with carbon particles.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ เกิดขึ้นด้วยความกรุณาของ ดร.สุธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ ในการให้คำแนะนำปรึกษา แนวทางในการแก้ไขปัญหา และการสนับสนุนในทุกด้าน ขอแสดงขอบคุณคณะทำงานของ TMEC , คุณอิทธิ , ดร. เอกลักษณ์ สำหรับรูปถ่าย SEM ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรบสั่งสอนข้าพเจ้า และขอขอบคุณ คุณ ณธวรรษ กสิกรรุ่งโรจน์ และรุ่นพี่ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่ดีในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

.....

(นาย ประจักษ์ พุ่มแพรพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับคาร์บอนนาโนทิวบ์ 2

2.1 ประวัติที่มาของคาร์บอนนาโนทิวบ์ 2

2.2 โครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวบ์ 3

2.3 พื้นฐานเบื้องต้นของคาร์บอนนาโนทิบ์ 5

บทที่ 3 วิธีการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ 8

3.1 กลไกการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวบ์ 8

3.2 การสังเคราะห์ คาร์บอนนาโนทิวบ์ 9

3.2.1 วิธี Arc discharge 9

3.2.2 วิธี Laser ablation 10

3.3.3 วิธี Chemical vapor deposition (CVD) 11

บทที่ 4 การนำคาร์บอนนาโนทิวบ์ไปประยุกต์ใช้งาน 14

4.1 ใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุอื่นๆ 14

4.2 ประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน 14

4.3 ประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 14

4.4 นำไปสร้างเป็นนาโนโพรบ (Probe) และเซนเซอร์ 15

4.5 ใช้ในการกักเก็บพลังงาน 15

บทที่ 5 การทดลองการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ด้วยวิธี HF-CVD ที่ความดันบรรยากาศ 16

5.1 วัตถุประสงค์ 16

5.2 อุปกรณ์และสารเคมี 16

5.3 ขั้นตอนการทดลอง 17

5.3.1 การเตรียมสารตัวเร่งปฏิกิริยา 17

5.3.2 การสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ 17

5.4 ผลการทดลอง 21

5.4.1 อุณหภูมิของฐานรอง 21

5.4.2 อัตราการไหลของแอลกอฮอล์ 22

5.5 สรุปผลการทดลอง 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 วัสดุที่มีการจัดเรียงอะตอมคาร์บอนแตกต่างกัน 2

รูปที่ 2.2 การม้วนของแผ่น Graphene 4

รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบระหว่าง Fullerenes กับ Nanotubes 4

รูปที่ 2.4 คาร์บอนนาโนทิวบ์แบบSWCNTs 5

รูปที่ 2.5 คาร์บอนนาโนทิวบ์แบบMWCNTs 5

รูปที่ 2.6 ลักษณะของSWCNTsทั้ง3ชนิด 6

รูปที่ 2.7 การม้วนของคาร์บอนนาโนทิวบ์แบบ Armchair และแบบ Zigzag 7

รูปที่ 3.1 กลไกการเกิดคาร์บอนนาโนทิวบ์ 9

รูปที่ 3.2 วิธี Arc discharge 10

รูปที่ 3.3 วิธี Laser ablation 11

รูปที่ 3.3 วิธี HF-CVD 13

รูปที่ 4.1 ใช้คาร์บอนนาโนทิวบ์ในการสร้างทรานซิสเตอร์ 15

รูปที่ 5.1 โครงสร้างของระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ 18

รูปที่ 5.2 การไล่อากาศออกจากระบบ 19

รูปที่ 5.3 กระบวนการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ 19

รูปที่ 5.4 ภาพถ่าย Chamber ที่ใช้ในการทดลอง 20

รูปที่ 5.5 ภาพถ่ายแสดงการทำการทดลองขณะให้ความร้อนแก่ขดลวดความร้อน 20

รูปที่ 5.6 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ฐานรอง 21

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ที่อัตราการไหลของN_2ค่าต่างๆ 22

รูปที่ 5.8 ลวดความร้อน(ทังสเตน) ที่มีขนาดต่างกัน 23

รูปที่ 5.9 ภาพขยายของลวดความร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น 24

รูปที่ 5.10 ภาพแสดงการวิเคราะห์ลวดความร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น 24

รูปที่ 5.11 (a) ภาพถ่าย SEM ของ sample A 26

รูปที่ 5.11 (b) ภาพถ่าย SEM ของ sample A ที่บริเวณอื่น 26

รูปที่ 5.12 (a) ภาพถ่าย SEM ของ sample B 27

รูปที่ 5.12 (b) ภาพถ่าย SEM ของ sample B ที่บริเวณอื่น 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

คาร์บอนนาโนทิวบ์เป็นวัสดุซึ่งกำลังเป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกเป็นอย่างมาก โดยจะเห็นได้จากรายงานการวิจัยที่เกี่ยวกับคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่มีออกมาอย่างต่อเนื่อง ด้วยคุณสมบัติพิเศษของคาร์บอนนาโนทิวบ์ ที่เป็นได้ทั้งโลหะและสารกึ่งตัวนำ ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการสังเคราะห์และลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวบ์ ทำให้มีการนำคาร์บอนนาโนทิวบ์ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆอย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วที่มีความสามารถในการประมวลผลสูง หรือทางการแพทย์ นอกจากนี้คาร์บอนนาโนทิวบ์ยังมีคุณสมบัติทางกลศาสตร์ และทางเคมีที่ดีมาก ซึ่งจากที่ได้กล่าวมาจะเห็นว่าคาร์บอนนาโนทิวบ์สามารถนำไปพัฒนาอุสาหกรรมต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง แต่ในปัจจุบันการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ยังเป็นสิ่งที่ทำได้ไม่ง่ายนัก ทั้งยังมีราคาสูงมาก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมีความตั้งใจที่จะสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ให้ได้ในปริมาณมากๆและมีค่าใช้จ่ายไม่สูง โดยคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่สังเคราะห์ได้นั้นจะได้นำไปใช้ในการศึกษาและวิจัยต่อไป

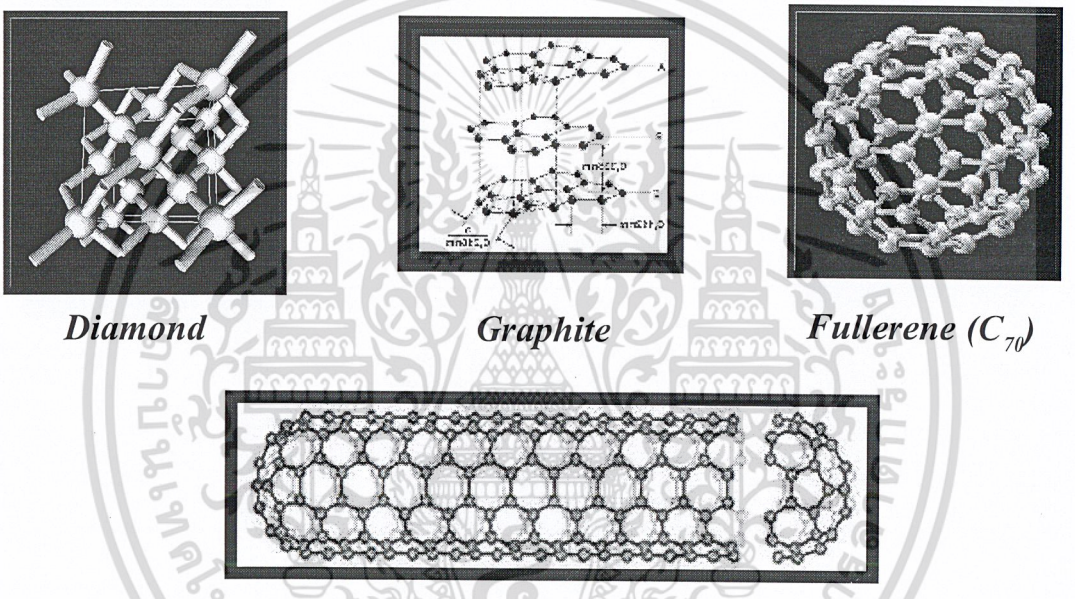
โดยในรายงานฉบับนี้จะกล่าวถึงวิธีการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่นิยมใช้ 3 วิธีหลัก คือ วิธี arc discharge วิธี Laser ablation และวิธี Chemical vapor deposition (CVD) ซึ่งวิธีCVDนี้สามารถแยกได้อีก 5 วิธี คือ Thermal CVD , Plasma enhance CVD (PE-CVD), Hot filament enhance CVD (HF–CVD),Vapor phase growth และ High pressure CO disproportionate process โดยในรายงานฉบับนี้จะมุ่งเน้นไปที่วิธี Hot-filament Enhanced CVD ที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการทดลอง โดยจะกล่าวถึงการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆที่เป็นเงื่อนไขของการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ การทดลอง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีเกี่ยวกับคาร์บอนนาโนทิวบ์

2.1 ประวัติที่มาของคาร์บอนนาโนทิวบ์

กลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีรูปแบบของการจัดเรียงอะตอมที่แตกต่างกันก็จะเกิดเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัสดุที่มีการจัดเรียงอะตอมคาร์บอนแตกต่างกัน

ในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของวัสดุ 4 ชนิดคือ เพชร(Diamond) , กราไฟท์ (Graphite)มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับรังผึ้งซ้อนกันเป็นชั้นๆ,ฟูลเลอร์เรนซ์ (Fullerene(C_{70},C_{60}))มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูปทรงกลมกลวง และ คาร์บอนนาโนทิวบ์ (Carbon nanotubes) มีลักษณะโครงสร้าง เป็นท่อทรงกระบอกกลวง ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุที่เกิดจากการจัดเรียงอะตอมคาร์บอนที่มีรูปแบบของการจัดเรียงอะตอมคาร์บอนที่แตกต่างกัน โดยวัสดุแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่ต่างกันออกไป และหนึ่งในวัสดุซึ่งกำลังเป็นที่สนใจอย่างมากในปัจจุบันก็คือ คาร์บอนนาโนทิวบ์

คาร์บอนนาโนทิวบ์ได้ถูกค้นพบในปี 1991 โดยทีมงานของนักวิจัยที่ชื่อ Iijima โดยความยาวของคาร์บอนนาโนทิวบ์นั้นมีขนาดได้หลายไมครอน และยังมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กระดับนาโนเมตร ดังนั้นลักษณะของคาร์บอนนาโนทิวบ์จึงเกือบจะเป็นหนึ่งมิติ และยังสามารถเป็นได้ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

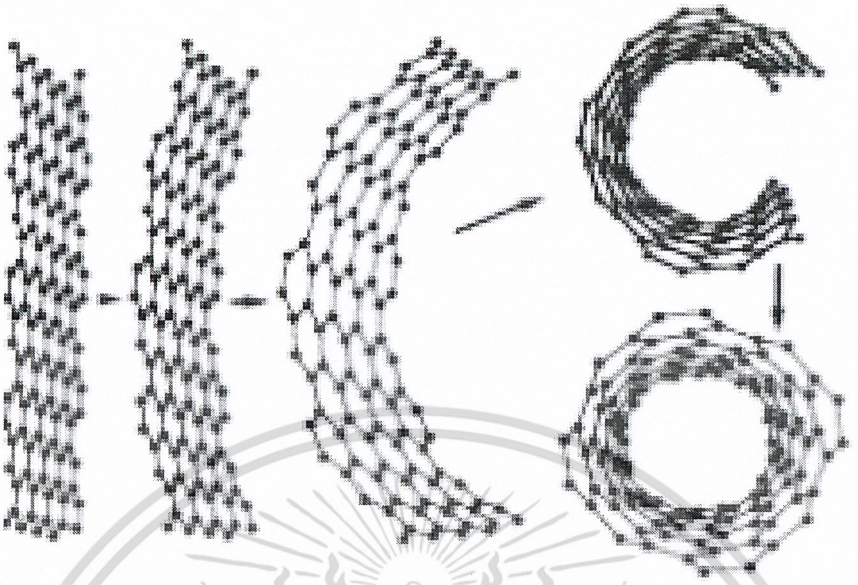
สารกึ่งตัวนำและตัวนำไฟฟ้า วัสดุนี้จึงถูกคาดหมายว่าจะสามารถนำมาใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์และทางกลศาสตร์ได้เป็นอย่างดี โดยการเริ่มต้นศึกษาทฤษฎีต่างๆของคาร์บอนนาโนทิวบ์นั้น ได้ให้ความสนใจไปยังคุณสมบัติทางโครงสร้างที่เกือบจะเป็นหนึ่งมิติและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคาร์บอนนาโนทิวบ์

2.2 โครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวบ์

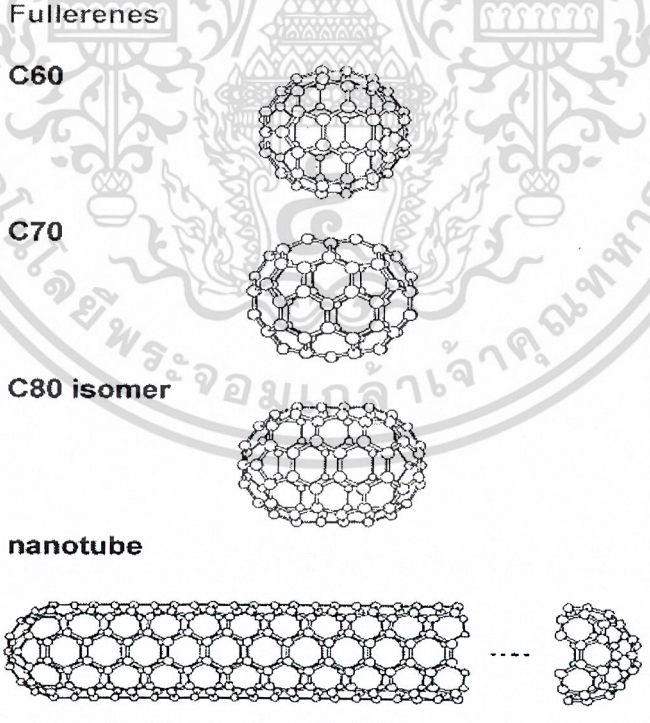
โครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวบ์ สามารถพิจารณาได้จากการห่อแผ่นกราไฟท์ (Graphite) ซึ่งปกตินาโนทิวบ์จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กมากๆ (ระดับนาโนเมตร) ทำให้สามารถมองเป็นโครงสร้างหนึ่งมิติได้ โดยโครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวบ์ประกอบด้วยสองส่วนที่แยกออกจากกันมีคุณสมบัติแตกต่างกันทางฟิสิกส์และเคมี ส่วนแรกคือส่วนผนังของท่อ และส่วนที่สองคือฝาปิดของท่อ โดยส่วนฝาปิดของท่อมีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลมที่ได้มาจากฟูลเลอร์เรนซ์ เช่น C_{60} หรือC_{70}

ฟูเลอร์เรนซ์ มีการจัดเรียงอะตอมคาร์บอนอยู่ในรูปหกเหลี่ยมและห้าเหลี่ยม ในรูปแบบทางฟิสิกส์ที่สามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีรูปหลายเหลี่ยมของ Euler ที่ว่ารูปห้าเหลี่ยม 12 รูป ในรูปของโครงสร้างฝาปิดที่ประกอบด้วยรูปห้าเหลี่ยมและรูปหกเหลี่ยมเท่ากัน โดยการรวมกันของรูปห้าเหลี่ยม 5 อัน ผลลัพธ์ทำให้เกิดความโค้งของพื้นผิวที่เป็นลักษณะปริมาตรปิด กฎข้อที่2 ในการใช้รูปห้าเหลี่ยม จะต้องอยู่ในระยะทางระหว่างห้าเหลี่ยมด้วยกันบนพื้นผิวทรงกลมในระยะทางที่มากที่สุด เพื่อที่จะได้ความโค้งที่ค่าน้อยที่สุด และความเค้นพื้นผิวที่น้อยที่สุด ผลลัพธ์ก็คือโครงสร้างที่มีความเสถียรมากขึ้น และโครงสร้างที่เสถียรและเล็กที่สุดที่สามารถสร้างได้โดยวิธีนี้ก็คือ C_{60} ส่วนโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นก็คือ C_{70} และอื่นๆ คุณสมบัติอื่นๆ ซึ่งฟูลเลอร์เรนซ์ประกอบขึ้นจากคาร์บอนอะตอมที่เป็นเลขคู่ เพราะว่าการเพิ่มรูปหกเหลี่ยมเพื่อให้เป็นโครงสร้างที่เป็นอยู่ได้หมายถึง การเพิ่มอะตอมของคาร์บอนคุณสมบัติของนาโนทิวบ์ จึงคล้ายกับประกอบเป็นรูปทรงกระบอก โดยสร้างขึ้นมาจากแผ่นGrapheneที่มีขนาดแน่นอนและห่อขึ้นมาในทิศทางที่แน่นอนทำให้เป็นทรงกระบอกที่สมมาตรกัน โดยได้แสดงการม้วนของแผ่น Grapheneในรูปที่ 2.2 ซึ่งสามารถม้วนแผ่น Grapheneได้ในทิศทางที่แตกต่างกันเพื่อสร้างเป็นทรงกระบอก ได้คาร์บอนสองอะตอม แผ่น Graphene จะถูกเลือกตัวที่หนึ่งใช้เป็นจุดเริ่มต้น โดยแผ่นจะหมุนจนกระทั่งอะตอมตัวที่สองมาบรรจบกันโดยเวคเตอร์จากอะตอมแรกไปอีกอะตอมหนึ่งเรียกว่าchiral เวคเตอร์ และความยาวของมันเท่ากับเส้นรอบวงของนาโนทิวบ์ โดยทิศทางของแกนนาโนทิวบ์จะตั้งฉากกับ chiral เวคเตอร์ คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่มี chiral เวคเตอร์แตกต่างกัน จะมีคุณสมบัติต่างกันด้วย เช่น คุณสมบัติทางแสง คุณสมบัติทางกลศาสตร์และ คุณสมบัติทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การม้วนของแผ่น Graphene



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบระหว่าง Fullerenes กับ Nanotubes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

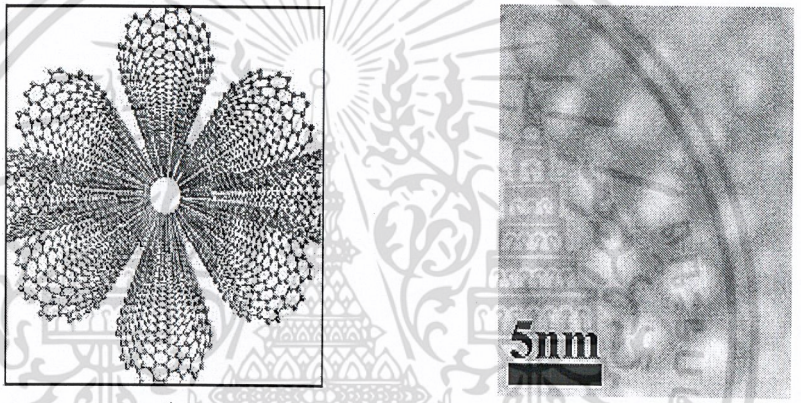
2.3 พื้นฐานเบื้องต้นของคาร์บอนนาโนทิบ์

โครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวบ์สามารถตรวจสอบได้โดย เครื่อง Transmission Electron Microscopy (TEM) และ Scanning Tunneling Microscopy (STM) ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่านาโนทิวบ์มีโครงสร้างเป็นทรงกระบอก ที่เกิดจากแลททิชที่มีลักษณะคล้ายรังผึ้งซึ่งอยู่ในลักษณะของแผ่นของ Graphite ที่มีลักษณะเป็นชั้นของอะตอมเพียงชั้นเดียว

คาร์บอนนาโนทิวบ์ (Carbon Nanotubes) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆคือ

1. Single Walled Carbon nanotubes (SWCNTs)

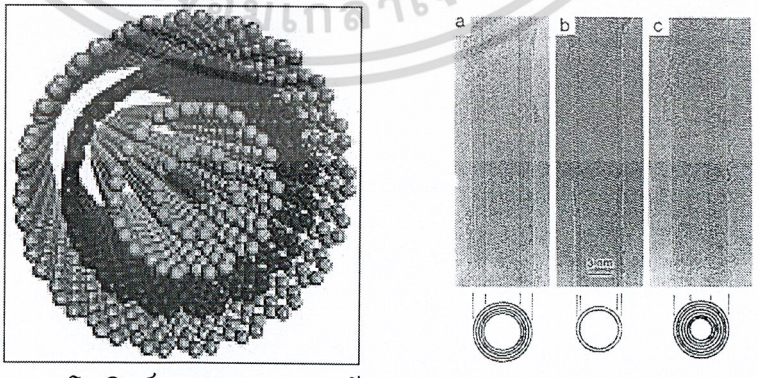
มีลักษณะโครงสร้างเป็นท่อทรงกระบอกกลวงซึ่งเหมือนกับการม้วนแผ่นGraphene Sheet ให้เป็นท่อทรงกระบอกภายในกลวงดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 คาร์บอนนาโนทิวบ์แบบSWCNTs (ซ้าย) ภาพวาดจำลอง (ขวา) ภาพถ่ายTEM

2. Multi Walled Carbon nanotubes (MWCNTs)

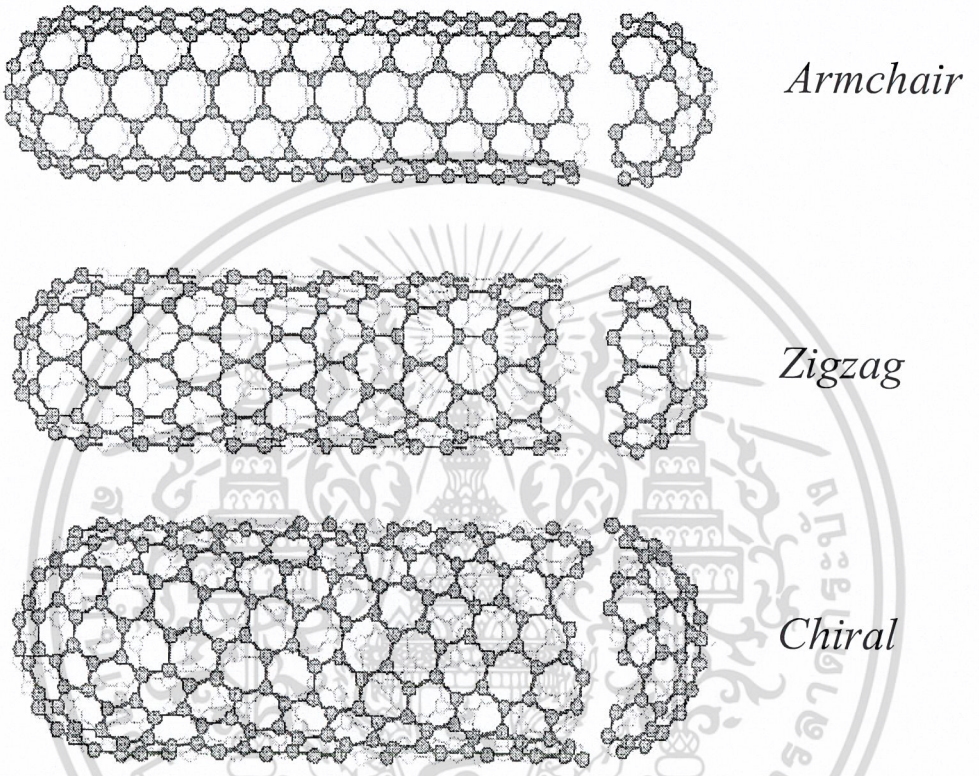
มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับ SWCNTs ที่ซ้อนกันเป็นชั้นๆตั้งแต่2ชั้นขึ้นไป โดยแต่ละชั้นมีระยะห่างกันประมาณ 0.34 nm ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 คาร์บอนนาโนทิวบ์แบบMWCNTs (ซ้าย) ภาพวาดจำลอง (ขวา) ภาพถ่ายTEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

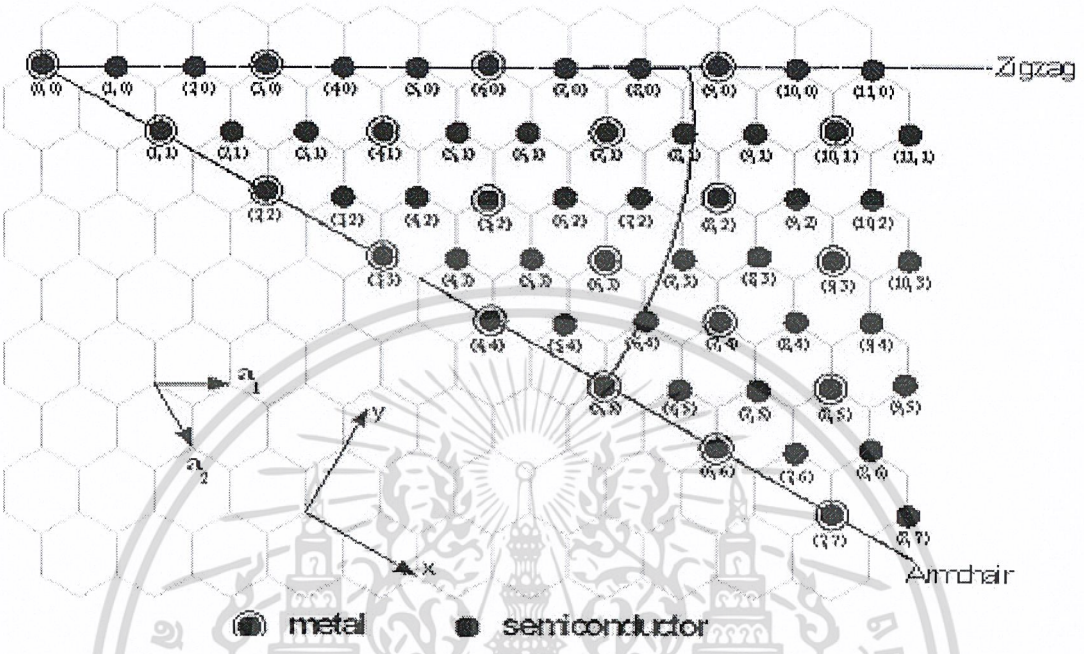
ซิงเกิลวอล คาร์บอนนาโนทิวบ์ (Single Walled Carbon nanotubes (SWCNTs)) ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 ชนิดตามลักษณะการม้วนคือ 1) Armchair nanotubes 2) Zigzag nanotubes และ3) Chiral nanotubes ซึ่งได้แสดงลักษณะของ SWCNTs ทั้ง3ชนิดในรูปที่2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะของSWCNTsทั้ง3ชนิด

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าซิงเกิลวอลคาร์บอนนาโนทิวบ์ทั้ง 3 ชนิด จะมีลักษณะการม้วนของทิวบ์หรือมุมของการม้วนที่แตกต่างกัน โดยในรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นลักษณะของการม้วนของคาร์บอนนาโนทิวบ์ แบบ Armchair และแบบ Zigzag โดยการม้วนแบบ Zigzag นั้นจากรูปจะพิจารณาเส้นที่ลากจากจุด (0,0) ไปยังจุด (0,10) เป็นแกน และทำการม้วนตามแนวแกน ซึ่งมุมในการม้วนก็คือ 0° นั่นเอง ก็จะได้เป็น Zigzag nanotubes และถ้าพิจารณามุมระหว่างเส้นที่ลากจากจุดจุด (0,0)ไปยังจุด (0,10)และเส้นที่ลากจากจุด (0,0) ไปยังจุด (7,7)ซึ่งเป็นมุม 30° และม้วนตามมุมดังกล่าวก็จะได้ Armchair nanotubes แต่ถ้าทำการม้วนตามมุมอื่นๆที่ไม่ใช่มุม 30°และมุม 0° นาโนทิวบ์ที่ได้จะเรียกว่า Chiral nanotubes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การม้วนของคาร์บอนนาโนทิวบ์แบบ Armchair และแบบ Zigzag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์

ในส่วนนี้จะเป็นการอธิบายถึง กลไกการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวบ์ และเทคนิควิธีการต่างๆในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลักๆคือ 1) วิธี Arc discharge 2) วิธี Laser ablation 3)วิธี Chemical vapor deposition (CVD) ซึ่งแต่ละวิธีการก็จะมีเทคนิคที่แตกต่างกันออกไป ปัจจุบันนักวิจัยทั่วโลกได้พยายามหา เทคนิคใหม่ๆของแต่ละวิธีการและความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้สังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ในเชิงพาณิชย์

3.1 กลไกการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวบ์

คาร์บอนนาโนทิวบ์สามารถเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ 1) Base Growth 2) Tip Growth

3.1.1) Base Growth

เป็นการเกิดคาร์บอนนาโนทิวบ์ในลักษณะที่อะตอมคาร์บอนก่อตัวเป็นคาร์บอนนาโนทิวบ์บนโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา (C a t a l y s t) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.1 และสามารถอธิบายได้คือที่อุณหภูมิสูงมากพอที่จะทำให้อะตอมคาร์บอนแตกตัวออกมาจากแหล่งกำเนิดคาร์บอน (Carbon source) และอุณหภูมิสูงจนทำให้โลหะตัวเร่งอยู่ในสถานะของเหลว อะตอมคาร์บอนที่แตกตัวออกมาจะเข้าไปละลายในโลหะตัวเร่ง และ เนื่องจากอุณหภูมิด้านล่างของโลหะตัวเร่งสูงกว่าอุณหภูมิด้านบน จึงเป็นผลให้อะตอมคาร์บอนที่เข้าไปละลายในโลหะตัวเร่งลอยขึ้นด้านบนของโลหะตัวเร่ง และก่อตัวเป็นคาร์บอนนาโนทิวบ์บนโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา

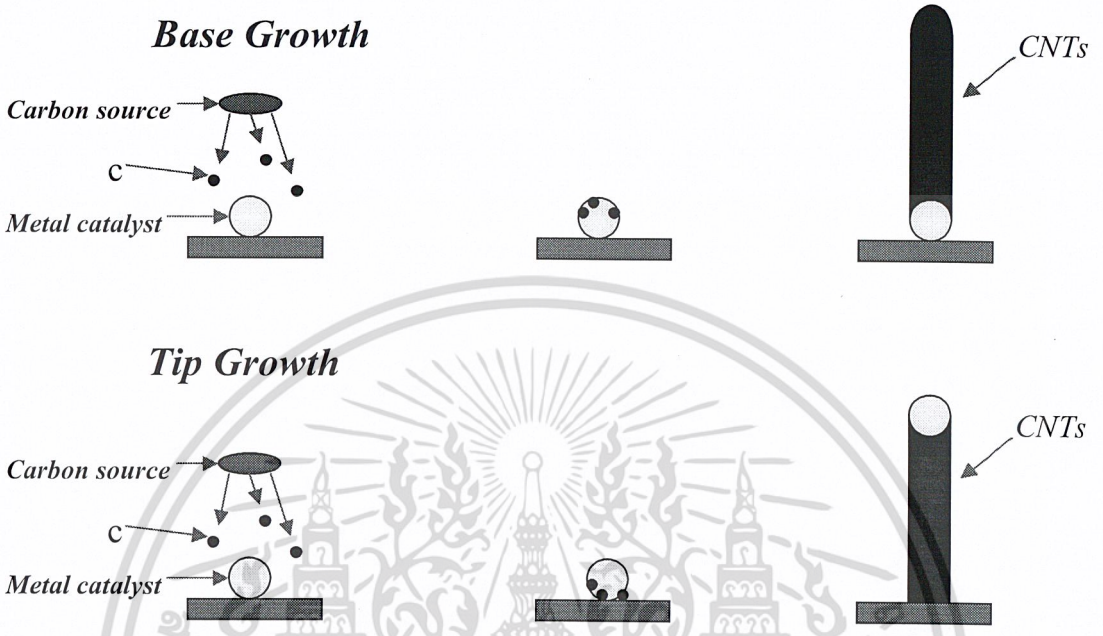
3.1.2) Tip Growth

เป็นการเกิดคาร์บอนนาโนทิวบ์ในลักษณะที่อะตอมคาร์บอนก่อตัวเป็นคาร์บอนนาโนทิวบ์ด้านล่างของโลหะตัวเร่งทำให้มีโลหะตัวเร่งอยู่ที่ปลายทิวบ์ ดังแสดงในรูปที่3.1 ซึ่งสามารถอธิบายได้คือที่อุณหภูมิสูงมากพอที่จะทำให้อะตอมคาร์บอนแตกตัวออกมาจากแหล่งกำเนิดคาร์บอน และอุณหภูมิสูงจนทำให้โลหะตัวเร่งอยู่ในสถานะของเหลว อะตอมคาร์บอนที่แตกตัวออกมาจะเข้าไปละลายในโลหะตัวเร่ง และเนื่องจากอุณหภูมิด้านบนของโลหะตัวเร่งสูงกว่าอุณหภูมิด้านล่าง จึงเป็นผลให้อะตอมคาร์บอนที่เข้าไปละลายในโลหะตัวเร่งตกลงมาด้านล่างของโลหะตัวเร่ง และก่อตัวเป็นคาร์บอนนาโนทิวบ์ด้านล่างของโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา

จากกลไกการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวบ์ทั้ง 2 ลักษณะ จะเห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ควรมีจุดหลอมที่ต่ำ เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนในการทำให้โลหะตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลว และโลหะตัวเร่งควรมีความสามารถในการละลายคาร์บอนที่ดี เพื่อให้อะตอมคาร์บอนสามารถละลายในโลหะตัวเร่งได้จำนวนมากๆ



รูปที่ 3.1 กลไกการเกิดคาร์บอนนาโนทิวบ์แบบ Base Growth และ Tip Growth

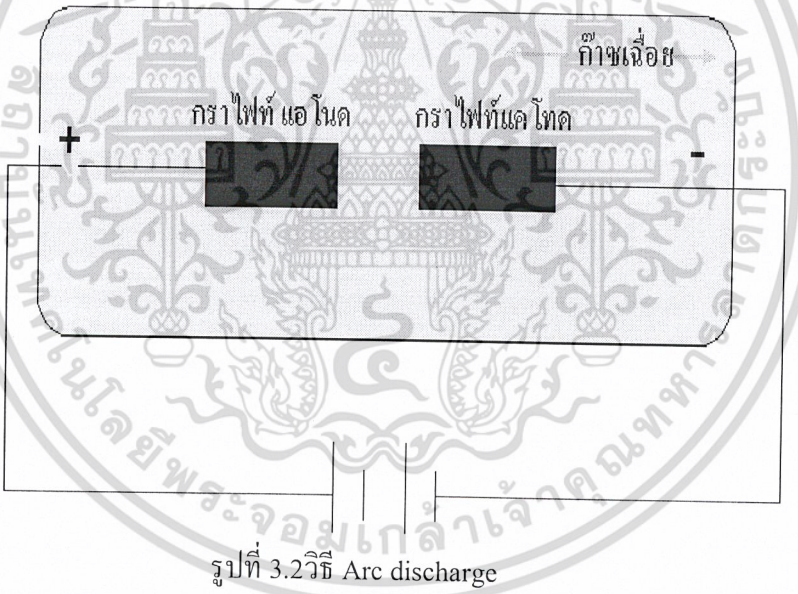
3.2 การสังเคราะห์ คาร์บอนนาโนทิวบ์

คาร์บอนนาโนทิวบ์สามารถที่จะสังเคราะห์ได้จากสามวิธีการหลักคือ 1) วิธี Arc discharge 2)วิธี Laser ablation 3)วิธี Chemical vapor deposition (CVD) ในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์โดยวิธี Arc discharge เป็นการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์โดยการอาร์คระหว่างขั้วทั้ง2ของแท่งคาร์บอนหรือแท่งกราไฟท์ ซึ่งจะใช้โลหะตัวเร่งหรืออาจไม่ใช้โลหะตัวเร่งก็ได้ คาร์บอนนาโนทิวบ์จะเกิดบนส่วนที่หลุดออกมาจากแท่งคาร์บอนหรือแท่งกราไฟท์ที่ถูกอาร์ค วิธีนี้จะได้คาร์บอนนาโนทิวบ์จำนวนมาก แต่ทิวบ์ที่ได้จะไม่ค่อยบริสุทธิ์ สำหรับวิธี Laser ablation จะใช้ลำแสงเลเซอร์พลังงานสูงยิงไปที่คาร์บอน ภายในระบบซึ่งเป็นห้องทำปฏิกิริยา (Chamber) ที่เต็มไปด้วยก๊าซเฉื่อย คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ได้จากวิธีนี้จะสะอาดและคุณภาพดีมาก ส่วนวิธีCVDเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในกระบวนการผลิตวงจรรวม (IC) คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพดี ทิวบ์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีขนาดยาวมาก สามารถควบคุมความยาวของทิวบ์ได้และที่สำคัญ วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ยากและประหยัดค่าใช้จ่าย จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 วิธี Arc discharge

วิธี Arc discharge เป็นการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ โดยการอาร์คที่ปลายทั้ง 2 ของแท่งกราไฟท์(หรือแท่งคาร์บอน) 2 แท่ง ภายในระบบซึ่งเป็นห้องทำปฏิกิริยาที่เต็มไปด้วยก๊าซเฉื่อย อาจเป็น ฮีเลี่ยม (helium) ผสมกับ อาร์กอน(argon) หรือ ไนโตรเจนเหลว ที่ความดันต่ำโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสูงเพื่อไปอาร์คแท่งกราไฟท์ ทำให้บริเวณที่ถูกอาร์คมีอุณหภูมิสูงมากพอที่จะทำให้อะตอมคาร์บอนแตกตัวออกมาก่อตัวเป็นคาร์บอนนาโนทิวบ์ เกาะอยู่บนบางส่วนของแท่ง กราไฟท์ที่หลุดกระเดนออกมาและรอบบริเวณแท่งกราไฟท์ที่ถูกอาร์ค ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมระหว่าง ก๊าซฮีเลี่ยมกับ ก๊าซอาร์กอน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ และการนำความร้อนมีค่าต่างกัน จึงมีผลกระทบกับความเร็วในการแพร่ของโลหะตัวเร่ง การเย็นตัวของแท่งคาร์บอนและอนุภาคของโลหะตัวเร่ง เป็นผลให้คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ได้ มีขนาดต่างกันออกไปไม่สม่ำเสมอ วิธี Arc discharge สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2วิธี Arc discharge

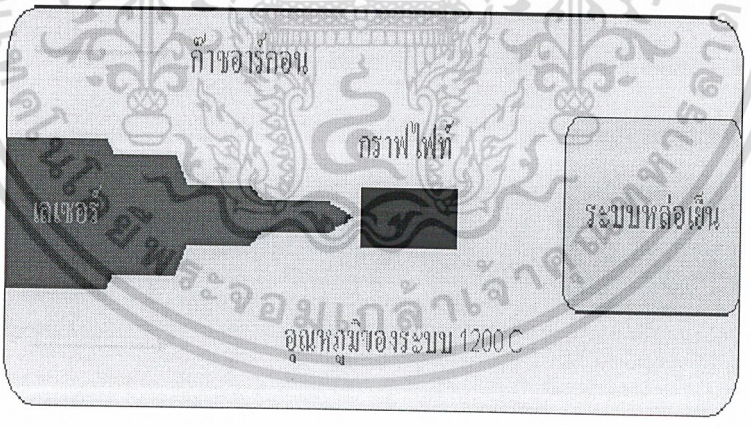
และด้วยวิธีการนี้ ยังสามารถที่จะเลือกให้คาร์บอนนาโนทิวบ์ส่วนมากที่สังเคราะห์ได้ ให้เป็นชนิดซิงเกิลวอลคาร์บอนนาโนทิวบ์ (SWCNTs) หรือ มัลติวอลคาร์บอนนาโนทิวบ์ (MWCNTs) โดยหากต้องการให้คาร์บอนนาโนทิวบ์ ส่วนมากที่สังเคราะห์ได้เป็นชนิด ซิงเกิลวอล ก็สามารถใช้แท่ง กราไฟท์ ที่เจือด้วยอนุภาคของโลหะตัวเร่ง เช่นเหล็ก(Fe),โคบอน(Co), นิกเกิล(Ni) หรือ โมลิดินัม (Mo) ที่ขั้วแอโนด และถ้าต้องการให้คาร์บอนนาโนทิวบ์ส่วนมากที่สังเคราะห์ได้เป็นมัลติวอล ก็สามารถใช้แท่งกราไฟท์บริสุทธิ์ เท่านั้นก็พอ ไม่จำเป็นต้องผสมโลหะตัวเร่งก็ได้ซึ่งเป็นข้อดีของวิธีนี้ ด้วยวิธี Arc dischargeนี้ จะทำให้ได้คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ไม่สะอาด ปะปนกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขม่า , โลหะตัวเร่ง และ อะตอมคาร์บอนที่มีรูปร่างไม่แน่นอน จึงต้องผ่านการแยก ให้เหลือเฉพาะคาร์บอนนาโนทิวบ์ ซึ่งจะยุ่งยากและคุณภาพของคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ได้ก็ยังต่ำอยู่คือจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอสั้นบ้างยาวบ้าง

3.2.2 วิธี Laser ablation

ในปี 1995 ทีมวิจัยของ Prof. Smalley ได้ทำการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์โดยการใช้แสงเลเซอร์พลังงานสูง หลักการคือใช้แสงเลเซอร์พลังงานสูงยิงไปที่เป้าหมายซึ่ง เป็นแท่งกราไฟท์ที่อยู่ภายในระบบซึ่งเป็นห้องทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิประมาณ 1200°C ภายในเต็มไปด้วยก๊าซฮีเลี่ยมหรืออาร์กอน ทำให้แท่งกราไฟท์ระเหยออกเป็นไอของคาร์บอน โดยแสงเลเซอร์ที่ใช้จะมี 2 ชนิด คือ pulsed laser และ continuous laser สิ่งที่แตกต่างกันระหว่าง pulsed laser และ continuous laser คือ pulsed laser ต้องใช้ความเข้มของแสงสูงมากแต่จะยิงเลเซอร์ไปเป้าหมายเป็นจังหวะไม่ต่อเนื่อง ส่วน continuous laser นั้น จะใช้ความเข้มแสงน้อยกว่า แต่จะยิงเลเซอร์ไปที่เป้าหมายอย่างต่อเนื่อง ปริมาณของคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ได้จากวิธีการนี้จะมีมากกว่า70 %และมีความบริสุทธิ์สูงมาก ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาร์บอนนาโนทิวบ์ ที่ได้จะอยู่ในช่วง 1-2 nm เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงจึงนิยมใช้ในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ชนิดซิงเกิลวอลเท่านั้น วิธี Laser ablation ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วิธี Laser ablation

3.2.3 วิธี Chemical vapor deposition (CVD)

Chemical vapor deposition (CVD) เป็นการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์โดยให้ก๊าซที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนไหลผ่าน ใช้แหล่งกำเนิดความร้อนเช่นขดลวดความร้อนหรือพลาสมา (plasma) เพื่อถ่ายพลังงานไปทำให้โมเลกุลของก๊าซที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ เช่น แอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีเทน (CH_4) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แตกตัวเกิดเป็นอะตอมคาร์บอนที่อุณหภูมิสูง แล้วเกิดจับตัวกันเป็นคาร์บอนนาโนทิวบ์ โดยมีโลหะตัวเร่งช่วยเร่งปฏิกิริยา

การเตรียมโลหะตัวเร่ง โดยทั่วไปจะเติมโลหะทรานซิชันไปที่ฐานรอง จากนั้นใช้สารเคมีหรือความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ650-900°Cเพื่อทำให้เกิดเป็นอนุภาคขนาดเล็ก (ระดับนาโนเมตร) โดยคาร์บอนนาโนทิวบ์จะเกิดบนตำแหน่งที่มีอนุภาคของโลหะตัวเร่งเท่านั้น ปริมาณของคาร์บอนนาโนทิวบ์จากวิธี CVD จะอยู่ที่ประมาณ 30-90% ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของปฏิกิริยา

ที่กล่าวมาเป็นหลักการพื้นฐานของวิธี CVD แต่ปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเทคนิควิธีการต่างๆกันออกไปในการสังเคราะห์คาร์บอนนานทิวป์ สามารถแยกได้เป็น 5 วิธีใหญ่ คือ Thermal CVD, Plasma enhance CVD (PE-CVD), Hot filament enhance CVD (HF–CVD),Vapor phase growth และ High pressure CO disproportionate process

3.2.3.1 วิธี Thermal chemical vapor deposition

วิธี Thermal CVD เป็นวิธีที่ใช้ในการเตรียมชั้นออกไซด์ของซิลิคอน (S i) และเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ได้ทั้งชนิด ซิงเกิลวอลและมัลติวอล ใช้โลหะตัวเร่ง เช่น เหล็ก(Fe) , โคบอล(Co) , นิกเกิล(Ni) , โมลิดินัม(Mo)หรือ อัลลอยของโลหะเหล่านี้ คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีความยาวอยู่ในช่วง 0.6-4 nm

3.2.3.2 Plasma enhanced chemical vapor deposition (PE-CVD)

วิธีPlasma CVD เป็นวิธีที่สามารถสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400°C โลหะตัวเร่งที่ใช้คือ เหล็ก (Fe), นิกเกิล (Ni) และโคบอล (Co) นอกจากนี้วิธีนี้ยังเป็นวิธีที่สามารถกำหนดทิศทางการเกิดของทิวบ์ให้ทิวบ์ตั้งฉากกับฐานรองได้ง่ายอีกด้วย แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ โดยส่วนมากจะสังเคราะห์ได้ แต่คาร์บอนนาโนทิวบ์ชนิดมัลติวอลไม่สามารถสังเคราะห์ชนิดซิงเกิลวอลได้ แต่ปัจจุบันมีรายงานว่าสามารถสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ชนิดซิงเกิลวอลได้แล้ว

3.2.3.3 Vapor phase growth

เป็นวิธีการสังเคราะห์ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นก๊าซของโลหะ เช่น Ferocence ซึ่งเป็นสารประกอบของเหล็ก วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ได้ครั้งละเป็นจำนวนมากๆ และทิวบ์ที่ได้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาวมากๆ (มากกว่า 20 μm) และ มีความบริสุทธิ์มากกว่า 80 % แต่เนื่องจากวิธีนี้มักจะใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายจึงต้องระมัดระวังอย่าง มากนอกจากนี้วิธีนี้ยังยังยากที่จะควบคุมทิศทางและตำแหน่งที่จะเกิดทิวบ์อีกด้วย

3.2.3.4 High pressure CO disproportionate process

วิธีนี้จะคล้ายกับวิธี Vapor phase growth คือ ใช้ก๊าซของโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน(Carbon source)จึงต้องระมัดระวังอันตราย

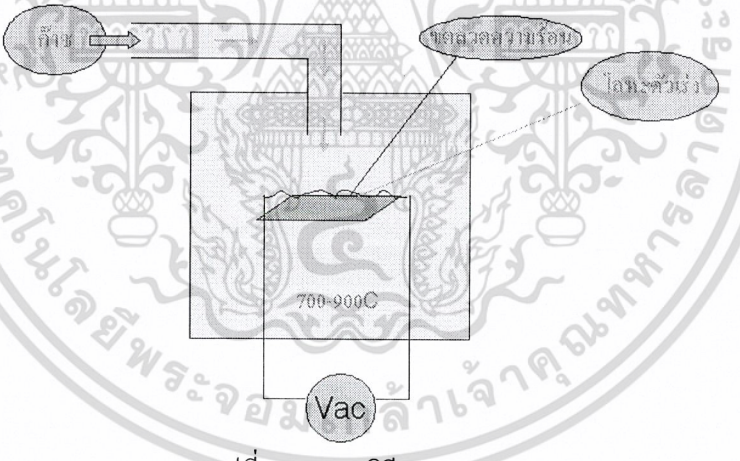
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ การควบคุมทิศทางและตำแหน่งที่จะเกิดคาร์บอนนาโนทิวบ์นั้นทำได้ยาก แต่คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ได้จะมีปริมาณที่มาก มีความบริสุทธิ์สูงมากประมาณ 80 % และมีสิ่งเจือปนน้อย

3.2.3.5 Hot filament enhance CVD (HF–CVD)

สำหรับวิธีนี้ จะมีหลักการคล้ายกับวิธี Thermal CVD แต่จะใช้ขดลวดความร้อน (filament) ในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแก่ก๊าซ วิธี HF-CVD นี้เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในห้องปฏิบัติการและในเชิงพาณิชย์ และเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสร้างฟิล์มเพชร

หลักการคือ ใช้ไฟฟ้ากระแสสูงจ่ายให้ขดลวดความร้อน เพื่อให้เกิดความร้อนขึ้น ที่ขดลวดมีฐานรองสำหรับวางโลหะตัวเร่ง เช่น เหล็ก (Fe) และ โคบอล (Co) ภายในระบบซึ่งเป็นห้องทำปฏิกิริยา(Chamber)จะมีท่อนำก๊าซซึ่งเป็นก๊าซที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบเช่น ไอของแอลกอฮอล์ หรือมีเทน(CH_4)เป็นต้น เข้ามาภายในระบบ ความร้อนจากลวดความร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 1600–2000°C จะทำให้โมเลกุลของก๊าซมีอุณหภูมิสูงและถูกเร่งปฏิกิริยาโดยโลหะตัวเร่ง อะตอมคาร์บอนขนาดเล็กๆจะแตกตัวออกจากโมเลกุลของก๊าซและไปจับตัวกันที่โลหะตัวเร่ง เกิดเป็นคาร์บอนนาโนทิวบ์ โดยแสดงระบบของ HF-CVD ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3แสดงวิธี HF-CVD

ซึ่งจะเห็นได้ว่า เป็นวิธีที่สามารถทำได้ไม่ยาก และประหยัดค่าใช้จ่าย ส่วนคุณภาพของคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ เช่น อุณหภูมิ ชนิด และ ปริมาณของโลหะตัวเร่งที่ใช้ อัตราการไหลของก๊าซและอื่นๆ ซึ่งปัจจุบันอยู่ระหว่างการพัฒนาเพื่อให้สามารถสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ โดยใช้ค่าใช้จ่ายที่ไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การนำคาร์บอนนาโนทิวบ์ไปประยุกต์ใช้งาน

เนื่องจากคาร์บอนนาโนทิวบ์มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ คือเป็นได้ทั้งตัวนำและสารกึ่งตัวนำมีความแข็งแกร่งสูงแต่เบา ทั้งยังมีความยืดหยุ่นที่ดี มีเสถียรภาพดี ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีใดๆและสามารถจับยึดกับโมเลกุลของก๊าซและดูดซับก๊าซได้เป็นอย่างดี ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวบ์ เช่นชนิดของทิวบ์ (ซิงเกิลวอลและมัลติวอล) ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และลักษณะการม้วนตัวของทิวบ์ ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาคาร์บอนนาโนทิวบ์ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างดังตัวอย่างต่อไปนี้

4.1 ใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุอื่นๆ

เนื่องจากคาร์บอนนาโนทิวบ์มีค่ายังมอดูลัสสูง สามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี จึงสามารถนำมาผสมในวัสดุอื่นๆเพื่อให้ได้วัสดุที่เบาและมีคุณสมบัติทางกลศาสตร์ที่ดีหรือมีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี โดยเมื่อไม่นานมานี้นักวิทยาศาสตร์ขององค์การนาซา(NASA) ประสบความสำเร็จในการผสมคาร์บอนนาโนทิวบ์ลงในโพลิเมอร์ ซึ่งนี่อาจเป็นจุดเริ่มต้นของการก้าวไปสู่การสังเคราะห์พลาสติก ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ และมีความแข็งแกร่งมากกว่าเหล็กก็เป็นได้

4.2 ประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน

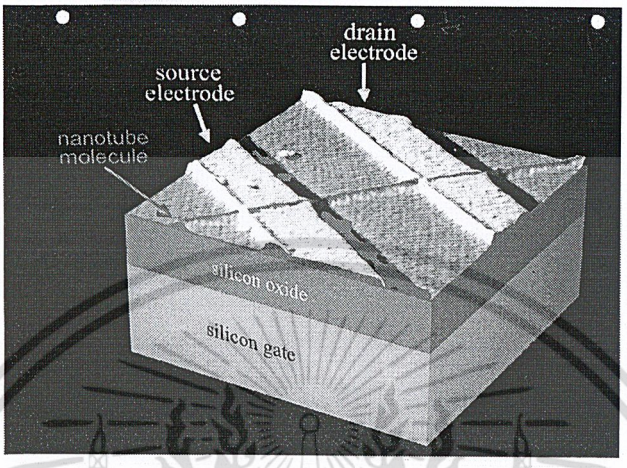
เนื่องจากคาร์บอนนาโนทิวบ์(CNTs)มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กับความยาวน้อยมากๆ(ค่าRespect-ratio สูง) ทั้งยังสามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีทำให้CNTs มีเสถียรภาพที่ดีและทำให้CNTs สามารถจ่ายอิเล็กตรอนได้โดยใช้แรงขับดันไฟฟ้าต่ำจึงเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ในอุปกรณ์เช่น จอแสดงผล หลอดไฟฟ้าประหยัดพลังงาน แหล่งกำเนิด X-ray ขนาดเล็กและ แหล่งกำเนิดไมโครเวปขนาดเล็ก เป็นต้น

4.3 ประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากโครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวบ์เทียบเท่ากับ 1 มิติจึงทำให้มีการนำไฟฟ้าแบบ Ballistic คือไม่มีการกระจัดกระจายของอิเล็กตรอนตลอดความยาวของทิวบ์ ทำให้คาร์บอนนาโนทิวบ์เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเหมาะที่จะใช้ ในวงจรนาโนอิเล็กทรอนิกส์ และนอกจากนี้คาร์บอนนาโนทิวบ์ยังมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำได้อีกด้วย โดยเมื่อไม่นานมานี้ บริษัท ไอบีเอ็ม และกลุ่มของ Prof Dekker ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างทรานซิสเตอร์ และลอจิกเกตจากซิงเกิลวอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนนาโนทิวบ์เป็นครั้งแรกของโลก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในคอมพิวเตอร์ในอนาคตได้ ทำให้ลดขนาดของอุปกรณ์และปริมาณในการกินกระแสไฟฟ้าลงได้



รูปที่ 4.1 ใช้คาร์บอนนาโนทิวบ์ในการสร้างทรานซิสเตอร์

4.4 นำไปสร้างเป็นนาโนโพรบ (Probe) และเซนเซอร์

เนื่องจากคาร์บอนนาโนทิวบ์ มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร มีความยืดหยุ่นสูง จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นโพรบของเครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างของสาร ในระดับอะตอม เช่น Scanning Probe Microscope (SPM) , Atomic Force Microscopy (AFM) และประดิษฐ์เป็นนาโนคีม (Nano-Tweetzers) และยังสามารถดัดแปลง โดยนำ Functional group ต่างๆ เช่น –COOH มายึดติดที่ปลายทิวบ์เพื่อนำไปใช้ในด้านชีววิทยาและการแพทย์ได้ นอกจากนี้คาร์บอนนาโนทิวบ์ยังสามรถนำมาสร้างเป็นเซนเซอร์ทางเคมีได้ อีกด้วย เช่นทำเป็นเซนเซอร์ก๊าซเช่น NO_2,NH_3,O_2 ได้ โดยตรวจสอบจากค่าความต้านทานของทิวบ์ที่เปลี่ยนไปเป็นต้น

4.5 ใช้ในการกักเก็บพลังงาน

เนื่องจากคาร์บอนนาโนทิวบ์มีลักษณะโครงสร้างเป็นท่อกลวง มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กในระดับนาโนเมตรและมีพื้นผิวที่มาก ทำให้เป็นที่สนใจที่จะนำมาใช้ในการเก็บไฮโดรเจน(H) ซึ่งเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงและไม่เป็นพิษกับสิงแวดล้อม โดยมีนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Dillon แสดงผลการคำนวณว่า SWCNTs จะสามารถกักเก็บไฮโดรเจนได้มากขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของทิวบ์มากขึ้นและมีความเป็นไปได้ที่จะเก็บไฮโดรเจนได้ได้ถึง 6.5% โดยน้ำหนักซึ่งเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลอง

การสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ด้วยวิธี HF-CVD ที่ความดันบรรยากาศ

5.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ให้ได้จำนวนมากๆ ด้วยวิธีที่ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด
2. เพื่อศึกษากระบวนการการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์

5.2 อุปกรณ์และสารเคมี

1. ท่อแก้วที่ใช้เป็นห้องทำปฏิกิริยา(Chamber)
2. แอลกอฮอล์(Ethanol)
4. Cobalt acetate 0.027 g
5. Iron (II) acetate 0.018 g
6. ถังเก็บก๊าซไนโตรเจน (N_2)
7. ลวดทังสเตน
8. แผ่นซิลิคอนขนาดประมาณ 10x10 mm.
9. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสูง
10. เครื่องวัดอัตราการไหล(Flow meter)
11. เทอร์โมคับเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

5.3 ขั้นตอนการทดลอง

5.3.1 การเตรียมสารตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ด้วยวิธี CVD เป็นอย่างมาก โดยในการทดลองนี้ได้ใช้ Iron (II) acetate และ Cobalt acetate เป็นโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะทำการเคลือบโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นฟิล์มบางๆอยู่บนผิวหน้าของฐานรองซึ่งเป็นแผ่นซิลิกอนขนาด ประมาณ 10 x 10 mm ด้วยวิธี spin-coating technique

เริ่มจากนำ Iron (II) acetate:0.018g,Cobalt acetate:0.027g ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ไปทำให้ละลายเข้ากันในแอลกอฮอล์(Ethanol)ปริมาณ10mlด้วยเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา30นาที โดยสารละลายของโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้นี้จะถูกนำไปเคลือบบนฐานรองซิลิกอน ที่มีขนาดประมาณ 10 ×10 mm โดยการ spin coater ที่ความเร็ว 2000 rpm เป็นเวลา 20 วินาที ทำให้เราได้ฟิล์มบางของโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาที่เคลือบอยู่บนฐานรองซิลิกอน (Sample) และในขั้นตอนสุดท้าย Sampleเหล่านี้จะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C เป็นเวลาประมาณ 18- 20 ชั่วโมง เพื่อทำให้ความชื้นระเหยออกไปจาก Sample

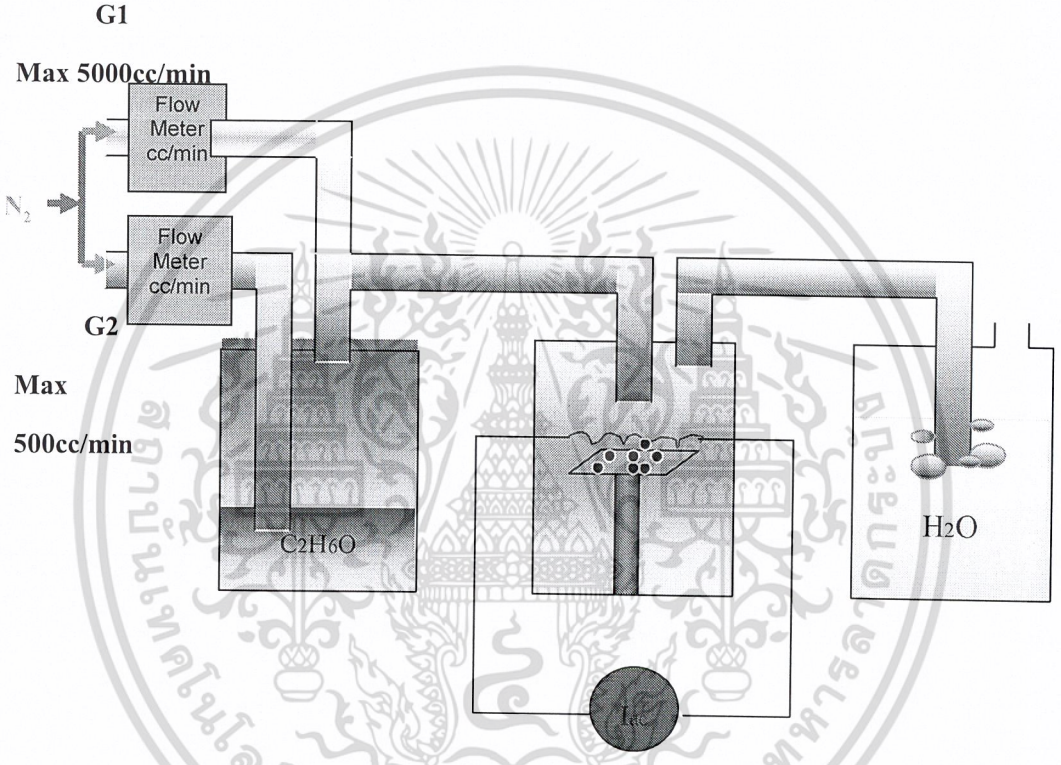
5.3.2 การสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์

รูปที่ 5.1 เป็นภาพแสดงโครงสร้างของระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ด้วยวิธี Hot-filament enhance CVD (HF-CVD) ที่ความดันบรรยากาศ ประกอบด้วย ท่อแก้ว (Chamber) ซึ่งภายในใช้ในการเกิดปฏิกิริยา , แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสูง , ลวดทังเสตน ซึ่งใช้เป็นลวดความร้อน (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 mm ความยาวประมาณ 30 mm) , แอลกอฮอล์(Ethanol)ใช้เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน(Carbon source) , ที่วางฐานรอง , เครื่องวัดอัตราการไหล (flow meter) , น้ำ ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกเข้ามารบกวนภายในระบบและช่วยถ่ายเทอากาศจากภายในระบบออกสู่ภายนอก , ก๊าซไนโตรเจน(N_2)ใช้เป็นก๊าซนำพา(Carrier gas) ช่วยเร่งการระเหยแอลกอฮอล์

โดยก่อนที่จะทำการทดลองจะต้องทำการไล่อากาศภายในChamber เสียก่อน เพื่อไม่ให้เกิดการออกซิไดซ์ในขณะทำการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.2 โดยการให้ก๊าซไนโตรเจนไหลผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลG1 เข้าไปใน Chamber ด้วยอัตราการไหล 5000 cc / นาที แต่ปิดเครื่องวัดอัตราการไหล G2 ไม่ให้ก๊าซไนโตรเจนไหลผ่าน โดยในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 15 นาที จากนั้นให้ความร้อนกับลวดความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 450°C เพื่อให้ความชื้นระเหยออกไปจากตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 3 นาที ขั้นตอนต่อไป แสดงในรูปที่ 5.3 เป็นการเริ่มทดลองกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ โดยเริ่มต้นด้วยการปิดเครื่องวัดอัตราการไหล G1 และเปิดเครื่องวัดอัตราการไหล G2 ให้ไนโตรเจนไหลผ่านเข้าไปในภาชนะใส่แอลกอฮอล์ เพื่อเร่งให้แอลกอฮอล์ระเหยเข้าไปใน Chamber หลังจากนั้นเราจะให้ความร้อนกับลวดความร้อน

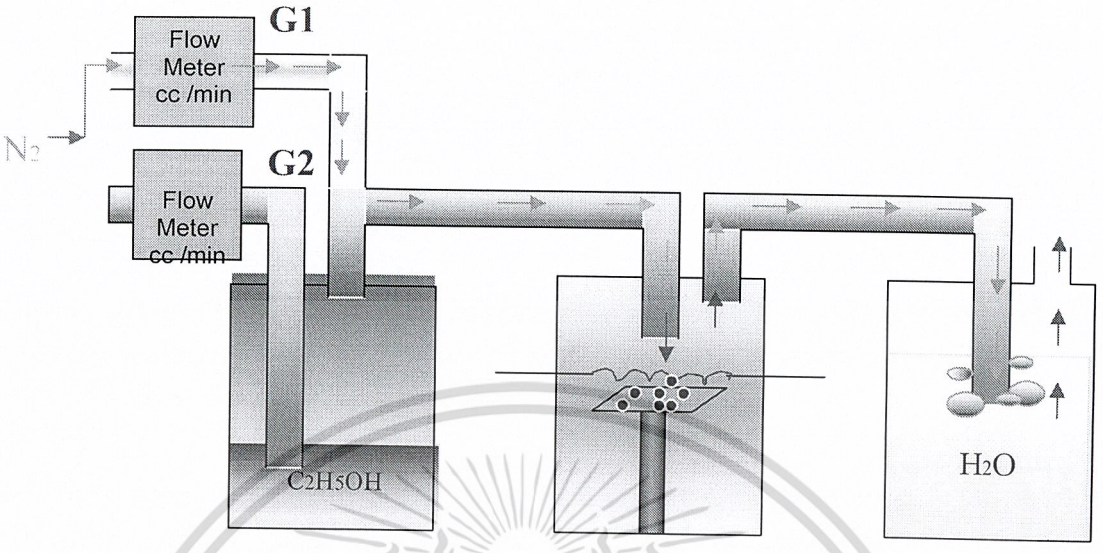
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61431

โดยใช้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสูง ซึ่งมีค่าประมาณ 30 A เพื่อเริ่มกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นจึงหยุดให้ความร้อนและปิดเครื่องวัดอัตราการไหล G2 แต่เปิดเครื่องวัดอัตราการไหล G1 ให้ก๊าซไนโตรเจนไหลผ่าน Chamber ที่อัตราการไหล 5000 cc/นาที อีกประมาณ 2-3 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายใน Chamber ค่อยๆลดลง

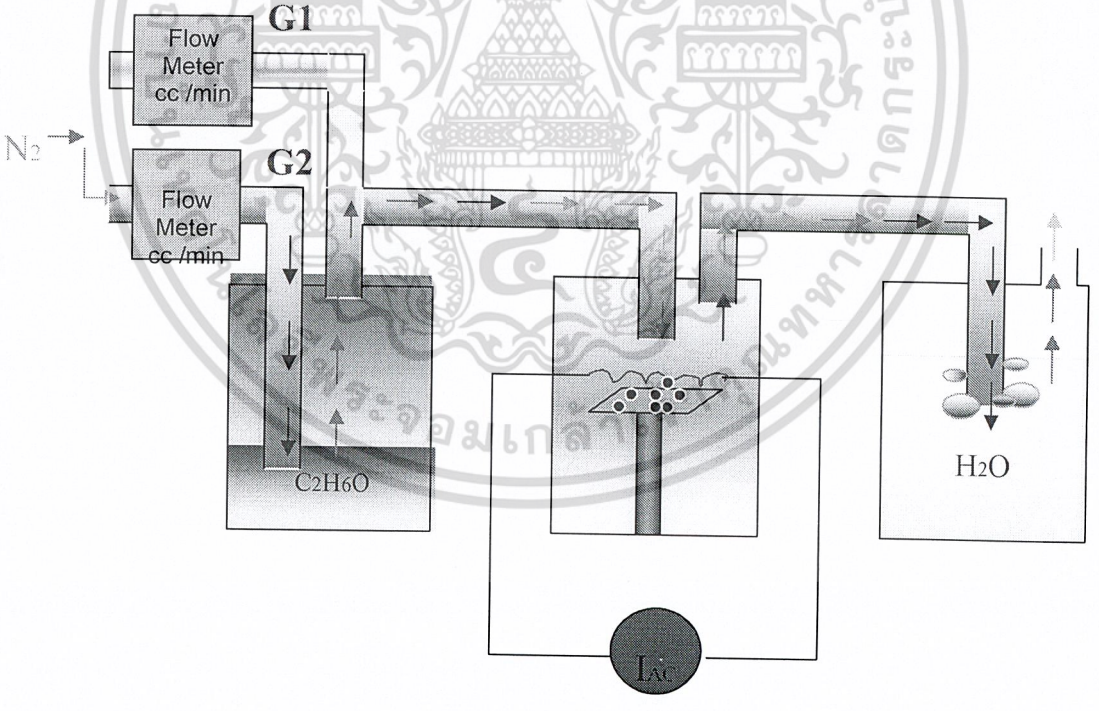


รูปที่ 5.1 โครงสร้างของระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

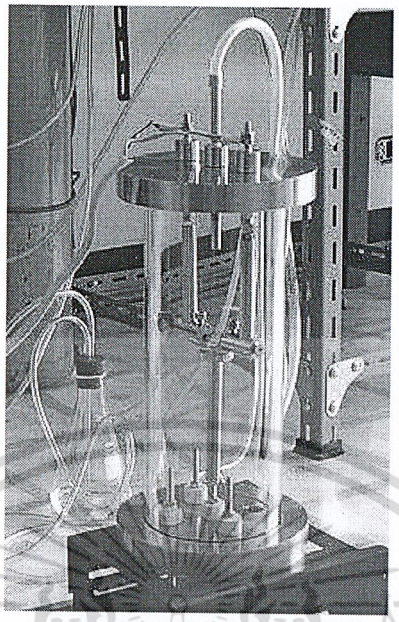


รูปที่ 5.2 การไล่อากาศออกจากระบบ



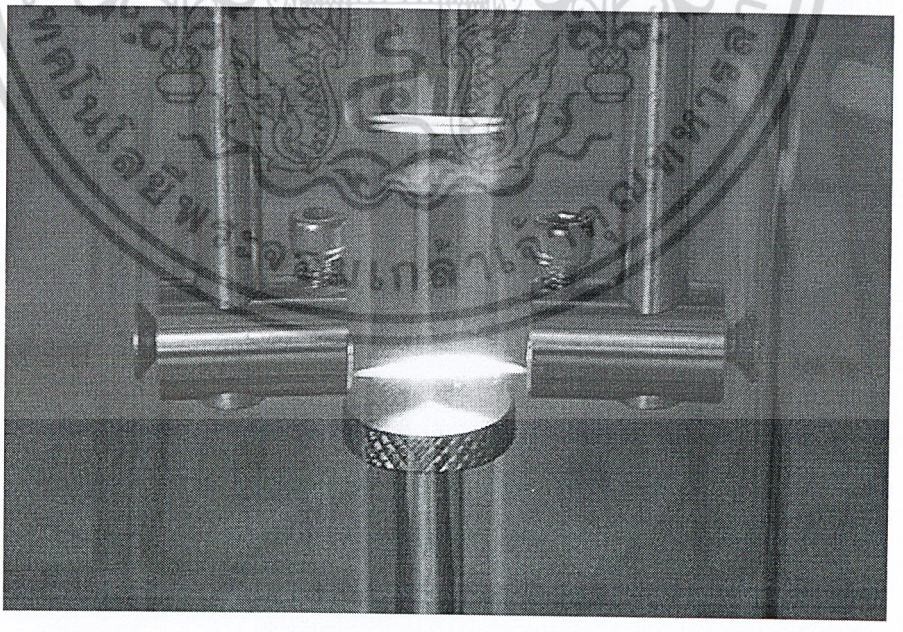
รูปที่ 5.3 กระบวนการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ภาพถ่าย Chamber ที่ใช้ในการทดลอง

อุณหภูมิของฐานรองที่ถูกทำให้ร้อนเนื่องจากขดลวดความร้อนสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการปรับระยะห่างระหว่างฐานรองกับขดลวดความร้อนดังแสดงในรูปที่ 5.5



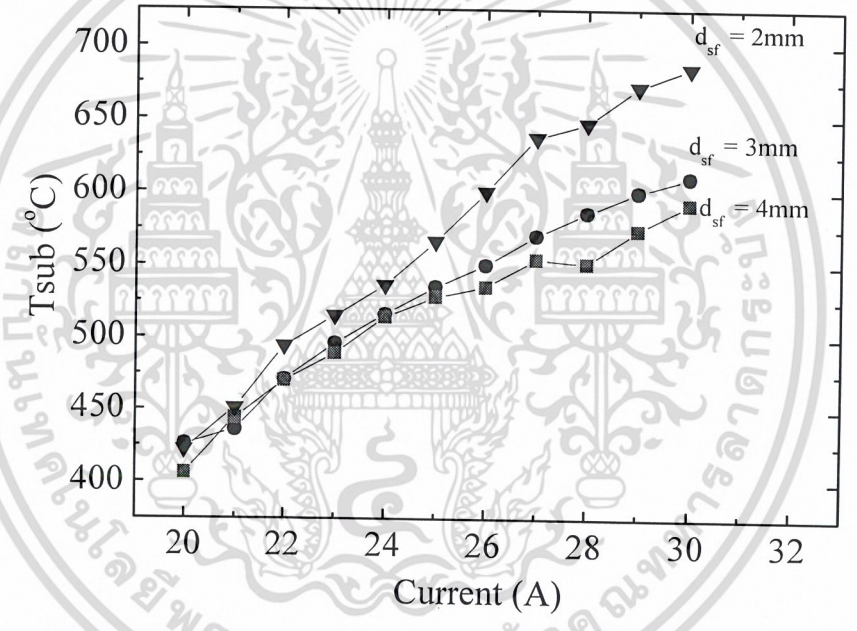
รูปที่ 5.5 ภาพถ่ายแสดงการทำการทดลองขณะให้ความร้อนแก่ขดลวดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดลอง

5.4.1 อุณหภูมิของฐานรอง

ในส่วนนี้จะเป็นผลการทดลอง จากการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่ฐานรอง โดยทำการกำหนดระยะห่างระหว่างฐานรองกับลวดความร้อนเป็น 2 mm , 3 mm และ 4 mm ตามลำดับ แล้วทำการปรับเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าของแหล่งจายกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับลวดความร้อน จากนั้นอ่านค่าอุณหภูมิที่ฐานรองจากเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งใช้ในการวัดอุณหภูมิที่ฐานรอง โดยที่ค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 30 A วัดอุณหภูมิที่ลวดความร้อนด้วย optical pyrometer ได้อุณหภูมิประมาณ 1800 °C และได้นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้มาสร้างเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่5.6 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ฐานรอง

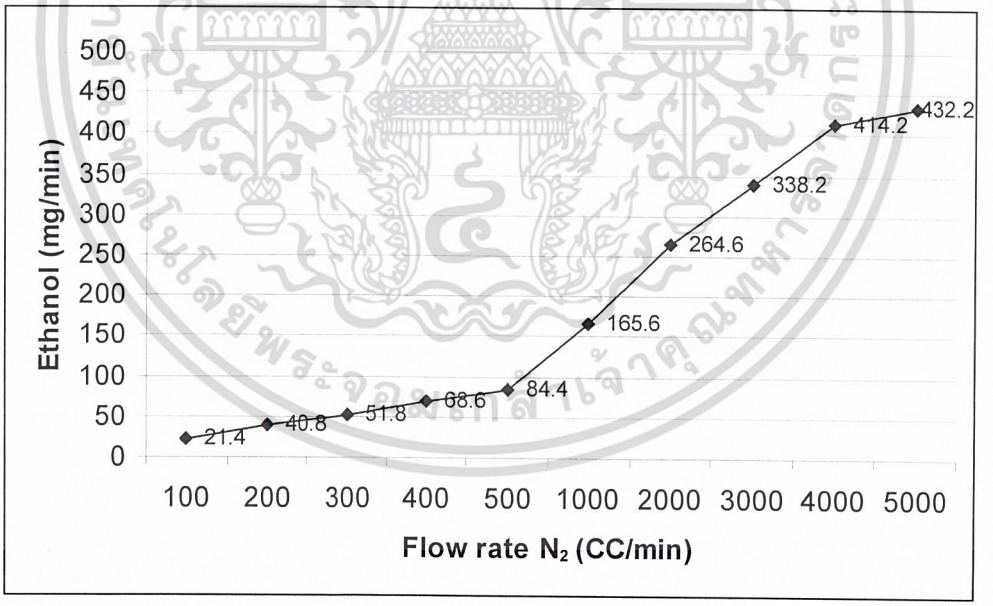
จากกราฟแสดงอุณหภูมิที่ฐานรอง จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ฐานรองจะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับลวดความร้อนและระยะห่างระหว่างฐานรองกับลวดความร้อน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเราสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ฐานรองได้ด้วยการปรับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับลวดความร้อน และการกำหนดระยะห่างระหว่างฐานรองกับลวดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 อัตราการไหลของแอลกอฮอล์

อัตราการไหลของแอลกอฮอล์ซึ่งถูกก๊าซไนโตรเจนเข้าไปเร่งการระเหย ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญเพราะว่าถ้าอัตราการไหลของแอลกอฮอล์เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความหนาแน่นของแอลกอฮอล์ภายใน Chamber มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งมีผลต่อการเกิดคาร์บอนนาโนทิวบ์ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ และเนื่องจากปริมาณของแอลกอฮอล์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากๆ ซึ่งเป็นการยุ่งยากที่จะหาอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ในหน่วยของ CC ต่อนาที ดังนั้นจึงได้ทำการหาอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ในหน่วยของ กรัม(g) ต่อนาที โดยทำการชั่งน้ำหนักของแอลกอฮอล์ก่อนแล้วจากนั้นจึงเริ่มปล่อยให้ไนโตรเจนไหลผ่านแอลกอฮอล์ผ่านเข้าไปใน Chamber ด้วยอัตราการไหล 100 - 5000 cc / นาทีเป็นเวลา 5 นาที ซึ่งเท่ากับเวลาในการทดลองจริง จากนั้นจึงนำแอลกอฮอล์มาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของแอลกอฮอล์ระหว่างก่อนทดลองกับหลังทดลอง แล้วจึงนำผลที่ได้มาหาอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ในเวลา 1 นาที

และผลการทดลองที่ได้สามารถแสดงดังรูปที่ 5.7 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ในเวลา 1 นาที (mg / min) ที่อัตราการไหลของไนโตรเจนค่าต่างๆ



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ที่อัตราการไหลของN_2ค่าต่างๆ

จากกราฟจะเห็นว่าปริมาณแอลกอฮอล์จะมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของไนโตรเจน(N_2) ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุมอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ได้โดยการควบคุมอัตราการไหลของไนโตรเจน และสามารถหาอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ได้จาก

[ปริมาณแอลกอฮอล์ก่อนทดลอง – ปริมาณแอลกอฮอล์หลังทดลอง] / [เวลาที่ใช้ทดลอง]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

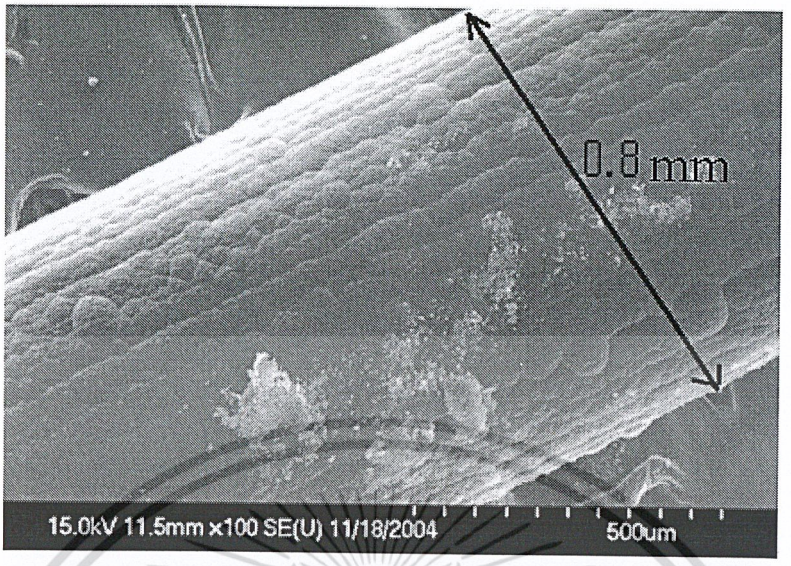
โดยในช่วงแรกๆของการทดลองสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์นั้น ได้ทำการเลือกใช้อัตราการไหลของไนโตรเจน(N_2)อยู่ในช่วง1000-5000cc/นาที เพื่อเร่งให้อัตราการไหลของแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายคาร์บอนมีค่าสูงๆ และได้ผลการทดลองคือ ไม่มีคาร์บอนนาโนทิวบ์เกิดขึ้น แต่มีผลทำให้ลวดความร้อนที่ผ่านการทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้นจากเดิมที่มีขนาด0.5mm กลายเป็น 0.8 mm ดังแสดงในรูปที่ 5.8

รูปที่ 5.8 ภาพถ่ายลวดความร้อน(ทังสเตน) ก่อนและหลังการทดลอง

รูปบนสุด : ลวดความร้อนที่ยังไม่ได้ใช้งาน (ก่อนการทดลอง)
รูปกลาง : ลวดความร้อนผ่านการทดลองที่อัตราการไหลของไนโตรเจน 3000 cc/นาที
รูปล่างสุด : ลวดความร้อนผ่านการทดลองที่อัตราการไหลของไนโตรเจน 2500 cc/นาที

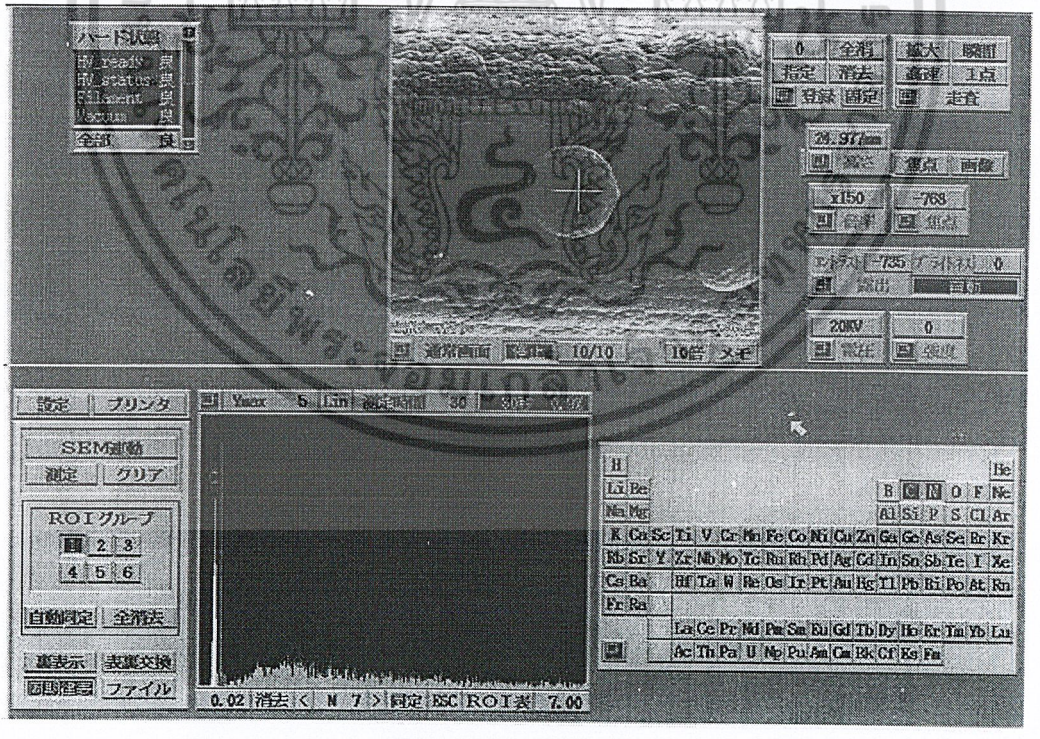
โดยในรูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างลวดความร้อนที่ยังไม่ได้ใช้งานกับลวดความร้อนที่ผ่านการทดลองสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ โดยใช้อัตราการไหลของไนโตรเจน 2500cc/นาทีและ3000cc/นาที จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าลวดความร้อนที่ผ่านการทดลองสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์โดยใช้อัตราการไหลของไนโตรเจน2500cc/นาทีและ 3000cc/นาที มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากมีบางสิ่งที่มีสีดำมาเกาะอยู่รอบๆลวดความร้อน และได้แสดงภาพขยายของลวดความร้อนในรูปที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 ภาพขยายของลวดความร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

ดังนั้นจึงได้นำลวดความร้อนดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยวิธี EDX เพื่อให้ทราบว่าสิ่งที่เกาะอยู่โดยรอบลวดความร้อนนั้นคืออะไรซึ่งแสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 ภาพแสดงการวิเคราะห์ด้วย EDX กับลวดความร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

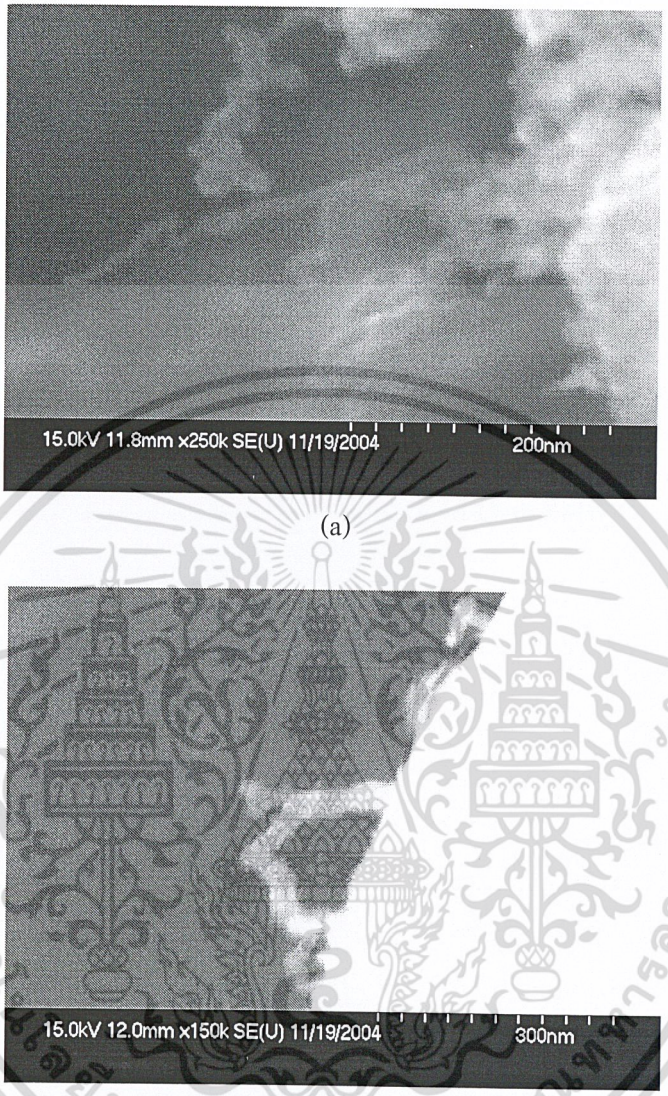
จากรูปที่ 5.10 ซึ่งเป็นภาพแสดงการวิเคราะห์ลวดความร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และจากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าสิ่งที่มีลักษณะสีดำที่มาเกาะรอบลวดความร้อนก็คือคาร์บอนนั่นเอง

ดังนั้น จากผลการทดลองที่ได้ ทำให้ทราบว่าเราไม่สามารถกำหนดอัตราการไหลของไนโตรเจนที่เข้าไปเร่งการระเหยของแอลกอฮอล์ให้มีค่าสูงเกินไปได้ เพราะจะทำให้คาร์บอนที่แตกตัวออกจากแอลกอฮอล์ ไปเกาะที่ลวดความร้อน เป็นผลให้ไม่เกิดคาร์บอนนาโนทิวบ์บนฐานรอง ดังนั้น ในการทดลองสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ในระยะต่อมา จึงทำการลดอัตราการไหลของไนโตรเจนที่เข้าไปเร่งการระเหยของแอลกอฮอล์และจากการทดลองสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ พบว่า อัตราการไหลของไนโตรเจนควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 200 cc/นาที ถึง 400 cc/นาที เพราะถ้าให้อัตราการไหลของไนโตรเจนน้อยกว่าช่วงนี้ จะพบว่าอัตราการไหลของแอลกอฮอล์มีค่าน้อยเกินไป ซึ่งหมายถึง มีแหล่งกำเนิดคาร์บอนน้อยเกินไป ทำให้คาร์บอนนาโนทิวบ์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ในทางกลับกันหากปรับให้อัตราการไหลของไนโตรเจนสูงเกินกว่าช่วง 200 cc/นาที ถึง400 cc /นาที จะทำให้อัตราการไหลของแอลกอฮอล์ที่เข้าไปใน Chamber มากเกินไป ผลคือ คาร์บอนจะแตกตัวไปเกาะบนลวดความร้อน จึงไม่เกิดคาร์บอนนาโนทิวบ์ดังที่กล่าวมาแล้ว

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมด ทำให้เราทราบว่าในการทดลองสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ต้องกำหนดอัตราการไหลของไนโตรเจนที่เข้าไปเร่งการระเหยของแอลกอฮอล์ ให้มีค่าอยู่ในช่วง 200 cc/นาที ถึง 400 cc/นาที เพื่อไม่ให้แอลกอฮอล์ที่ระเหยเข้าไปใน Chamber มีปริมาณมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวบ์

ดังนั้น เมื่อทราบอัตราการไหลของไนโตรเจนที่เข้าไปเร่งการระเหยของแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมแล้ว จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่ฐานรองที่เหมาะสมต่อการเกิดคาร์บอนนาโนทิวบ์ โดยใช้อัตราการไหลของไนโตรเจนในช่วง 200 cc/นาที ถึง400 cc/นาทีและอุณหภูมิที่ฐานรองค่าต่างๆ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองทำให้ทราบว่าอุณหภูมิที่ฐานรองที่เหมาะสมต่อการเกิดคาร์บอนนาโนทิวบ์จะอยู่ในช่วง 500-700°C โดยได้แสดงภาพถ่าย SEM (Scanning Electron Microscope) ของSample ที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ 5.11-รูปที่ 5.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

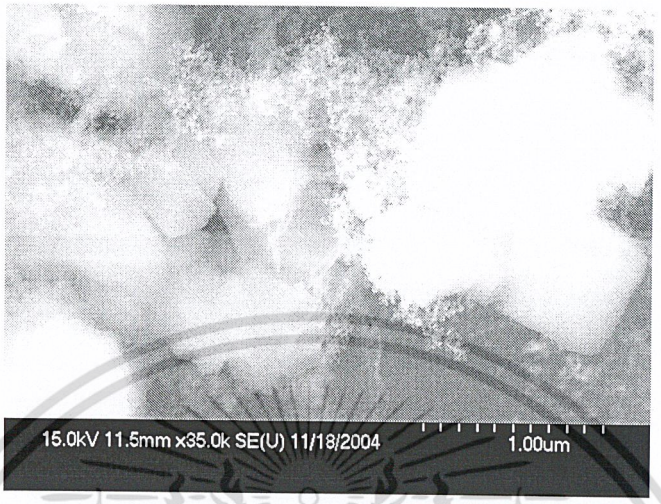


รูปที่ 5.11 (a) ภาพถ่าย SEM ของ sample A (b) ภาพถ่าย SEM ของ sample A ที่บริเวณอื่น

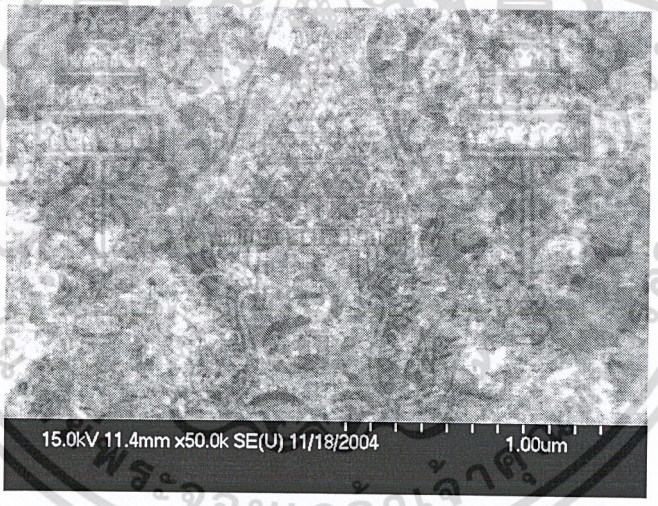
รูปที่5.11(a) เป็นถาพถ่ายของ Sample ที่ทดลองที่อัตราการไหลของไนโตรเจน 200-400cc/นาที อุณหภูมิที่ฐานรองอยู่ในช่วง 500-700°C โดยจากรูปจะเห็นว่ามีเส้นของคาร์บอนนาโนทิวบ์เกิดขึ้นบน Sample แต่คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่เกิดยังมีจำนวนน้อยและมีความบริสุทธิ์น้อย เนื่องจากมี nano particle มาเกาะติดอยู่

รูปที่5.11 (b) เป็นภาพถ่ายที่ขยายให้เห็นเส้นของคาร์บอนนาโนทิวบ์ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยจากรูปจะเห็นว่าเส้นของคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์และมีความผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 5.12 (a) ภาพถ่าย SEM ของ sample B (b) ภาพถ่าย SEM ของ sample B ที่บริเวณอื่น

รูปที่ 4.12(a) เป็น ภาพถ่าย Sample ทดลองที่ อัตราการไหลของของไนโตรเจน 200-400 cc /min อุณหภูมิที่ฐานรองมากกว่า700°C โดยจากรูปจะเห็นว่าเกิดเป็นผลึกที่คล้ายกับผลึกเพชร และมี carbon nano particle ปะปนอยู่โดยรอบ แต่ไม่มีคาร์บอนนาโนทิวบ์เกิดขึ้น

รูปที่5.12 (b) เป็นภาพที่ถ่ายบน Sample เดียวกันกับรูป 4.11(a) แต่คนละตำแหน่ง จากรูปจะเห็นว่ามี carbon nano particle อยู่มากมาย แต่ว่าไม่มีคาร์บอนนาโนทิวบ์เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้นำเสนอการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ด้วยวิธีการที่ง่ายและ ราคาไม่แพง โดยใช้วิธี hot-filament chemical vapor deposition (HF-CVD) ซึ่งทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ (1 atm) โดยใช้แอลกอฮอล์ (Ethanol)เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน ใช้ไนโตรเจน เป็นก๊าซนำพา(carrier gas) และใช้ขดลวดทังเสตนเป็นลวดความร้อน โดยจากผลการทดลอง อุณหภูมิของฐานรองและอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างยิ่งในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ โดยเราสามารถสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ได้ที่อุณหภูมิของฐานรองอยู่ในช่วงระหว่าง 500 -700 °C และอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ที่อยู่ในช่วง 200-400 cc/min แต่คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่สังเคราะห์ได้ยังมีคุณภาพต่ำเนื่องจากพบว่าคาร์บอนนาโนทิวบ์จะมีสิ่งเจือปนไม่สะอาด เพราะcarbon nano particle มาเกาะติดอยู่ด้วย แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองที่ได้นำเสนอนี้ก็ทำให้ทราบว่าสามารถสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ได้ที่ความดันบรรยากาศซึ่งหากมีการพัฒนาต่อไปก็อาจสามารถสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Paul L Mceuen, Physics World, issue 1/6/2003, page 31- 36

[2] M. J. Yacaman, M. M. Yoshida, L. Rendon and J. Santiesteban, Appl. Phys. Lett. 62 (1993) 657.

[3] A. Okamoto, T. Kawakubo, T. Hiraoka, T. Okazaki, T. Sugai and H. Shinohara, AIP Conf. Proc. 633 (2002) 194.

[4] S. Maruyama, R. Kojima, Y. Miyauchi, S. Chiashi and M. Kohno, Chem. Phys. Lett. 360 (2002) 229.

[5] S. Chaisitsak, A. Yamada and M. Konagai, Diamond and Related Materials 13, 2004, 438-444.

[6] T. Guo, P. Nikolaev, A. Thess, D. T. Colbert and R. E. Smalley, Chem. Phys. Lett. 243 (1995) 49.

[7] S. Iijima, Nature (London) 354 (1991) 56.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้