

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

เนื่องจากการทดลองปลูกท่อนาโนคาร์บอน ได้นั้นต้องมีสภาวะที่เหมาะสมจึงจะทำให้เกิดได้จึงต้องอาศัยเอกสารอ้างอิงจากรายงานการทดลองที่ตีพิมพ์จากต่างประเทศ ที่ยืนยันว่าสามารถปลูกคาร์บอนได้ มาทำการทดลองโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือที่มีอยู่ให้เหมาะสมกับการทดลองพบว่าวิธีการปลูกท่อนาโนคาร์บอน โดยใช้เทคนิคการตกสะสมไอเคมีสามารถทำได้

แล้วพบว่าอัตราส่วนของอัตราการไหลของก๊าซมีผลต่อการเกิดท่อนาโนคาร์บอนดังนั้นจึงต้องหาอัตราการไหลของก๊าซที่ใช้ในการปลูกท่อนาโนคาร์บอน ดังนี้

4.1 การหาอัตราการไหลของก๊าซ

4.1.1 ผลการหาอัตราการไหลของก๊าซ

จากการปรับระดับของเหลวในหลอดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ จะได้ความแตกต่างของระดับความสูง(ΔH , ซม.) ของเหลวในหลอดรูปตัวยู ซึ่งอัตราการไหล(Q, มล.ต่อวินาที) ของก๊าซอะเซทิลีน และ อาร์กอน ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตาราง 4.1 ผลการหาอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีน

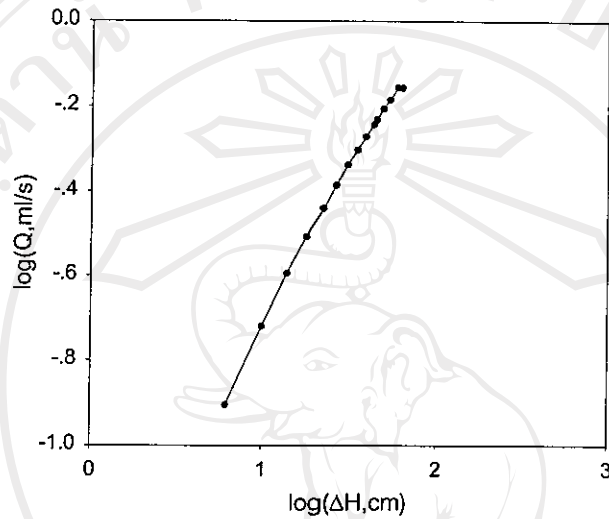
ครั้งที่	ΔH (cm)	$t_{\text{เฉลี่ย}}$ (s)	Q (ml./s)	$\log(\Delta H, \text{cm})$	$\log(Q, \text{ml./s})$
1	62.5	28.670	0.6976	1.7956	-0.1564
2	57.7	28.682	0.6973	1.7612	-0.1566
3	51.9	30.626	0.6530	1.7152	-0.1851
4	47.6	32.122	0.6226	1.6772	-0.2058
5	43.7	34.044	0.5874	1.6405	-0.2310
6	42.1	34.982	0.5717	1.6243	-0.2428
7	37.9	37.372	0.5352	1.5786	-0.2715

8	34.1	40.158	0.4980	1.5328	-0.3027
9	30.1	43.520	0.4596	1.4786	-0.3377
10	26.1	48.708	0.4106	1.4166	-0.3866
11	22.1	55.254	0.3620	1.3444	-0.4413
12	18.1	64.432	0.3104	1.2577	-0.5081
13	14.0	78.676	0.2542	1.1461	-0.5948
14	10.0	104.960	0.1905	1.0000	-0.7200
15	6.2	161.010	0.1242	0.7924	-0.9058

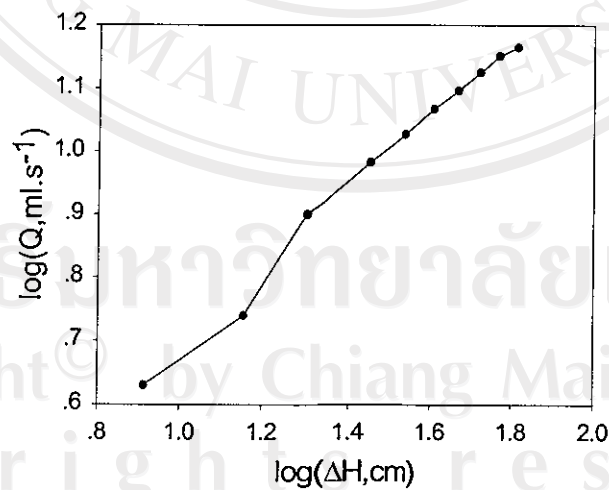
ตาราง 4.2 ผลการหาอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

ครั้งที่	ΔH (cm)	$t_{\text{เฉลี่ย}}$ (s)	Q(ml./s)	$\log(\Delta H, \text{cm})$	$\log(Q, \text{ml./s})$
1	65.0	3.422	14.6113	1.8129	1.1647
2	58.7	3.530	14.1643	1.7686	1.1512
3	52.7	3.748	13.3405	1.7218	1.1252
4	46.5	4.008	12.4751	1.6675	1.0960
5	40.5	4.284	11.6713	1.6075	1.0671
6	34.4	4.700	10.6383	1.5366	1.0269
7	28.2	5.208	9.6006	1.4502	0.9823
8	20.3	6.300	7.9365	1.3075	0.8996
9	14.3	9.110	5.4885	1.1553	0.7395
10	8.2	11.714	4.2684	0.9138	0.6303

เมื่อนำผลการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\text{Log}(Q, \text{ml/s})$ กับ $\text{Log}(\Delta H, \text{cm})$ ซึ่งได้กราฟเส้นตรง ดังรูป 4.1 และ 4.2



รูป 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\text{Log}(Q, \text{ml/s})$ กับ $\text{Log}(\Delta H, \text{cm})$ ของก้าชอะเซทิลีน



รูป 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\text{Log}(Q, \text{ml/s})$ กับ $\text{Log}(\Delta H, \text{cm})$ ของก้าซอาร์กอน

จากกราฟสามารถเขียนสมการเส้นตรงได้ดังสมการ 3.1

$$\text{Log}Q = s\text{Log}\Delta H + c \quad (3.1)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของก๊าซ (ml/s)

ΔH คือ ความแตกต่างระหว่างระดับของเหลวในหลอดด้วย (cm)

s คือ ความชันของกราฟ

c คือ ค่าคงที่

เมื่อนำมาหาอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและก๊าซอาร์กอนจะได้สมการดังนี้

$$\text{ก๊าซอะเซทิลีน} \quad \text{Log} Q = 0.7525\text{Log}\Delta H - 1.4681 \quad (4.1)$$

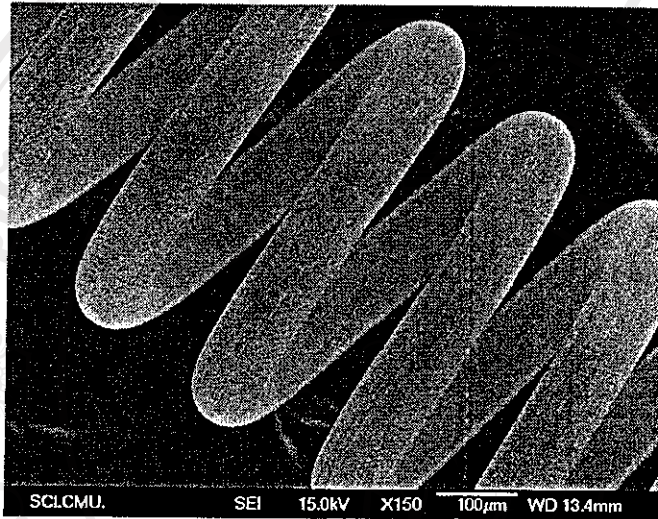
$$\text{ก๊าซอาร์กอน} \quad \text{Log} Q = 0.6173\text{Log}\Delta H + 0.066 \quad (4.2)$$

4.1.2 วิเคราะห์ผลการหาอัตราการไหลของก๊าซ

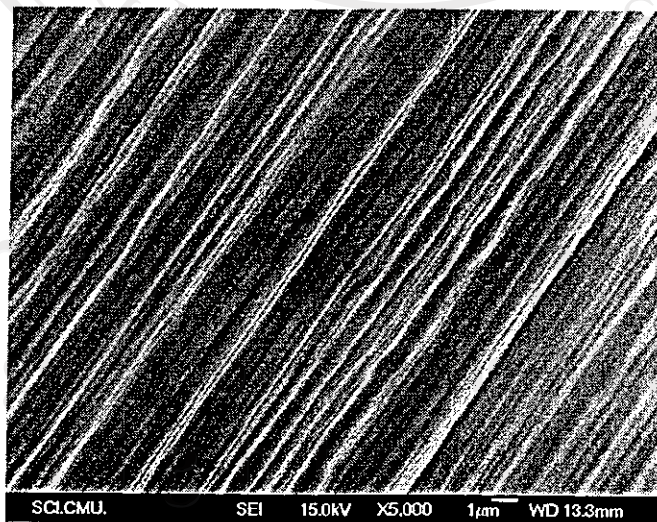
จากการทดลองพบว่า อัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของของเหลว (ΔH) ในหลอดรูปด้วย หากระดับความต่างของของเหลวมีมาก อัตราการไหลของก๊าซจะมีปริมาณมาก หากระดับความต่างของของเหลวน้อย ก็จะทำให้อัตราการไหลของก๊าซมีปริมาณน้อยด้วย จากการวัดอัตราการไหลก๊าซอะเซทิลีน และ อาร์กอน สามารถควบคุมให้อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.6 และ 4.2 ถึง 14.6 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งช่วงอัตราการไหลของก๊าซ ครอบคลุมอัตราการไหลของก๊าซที่ใช้ทดลองคือ ก๊าซอาร์กอน 10 มล.ต่อวินาที และก๊าซอะเซทิลีน 0.1 และ 0.2 มล.ต่อวินาที

4.2 ผลการวิเคราะห์ลวดทั้งสแตนก่อนทำการทดลองปลุกท่อานาโนคาร์บอน

นำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ก่อนนำไปทดลองปลุกท่อานาโนคาร์บอน โดยเร่งอิเล็กตรอนด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ถ่ายภาพดังรูป 4.3



รูป 4.3 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 150 เท่าแสดงลวดทั้งสแตนที่นำมาทดลอง

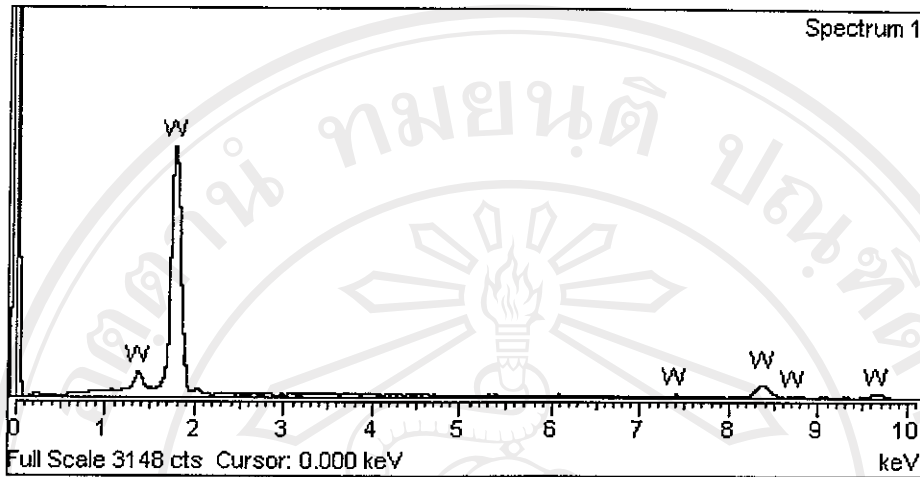


รูป 4.4 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5000 เท่าแสดงพื้นผิวของลวดทั้งสแตน

๖๒๐.๑๙๓

เลขหมู่.....๖๒๔๕๓

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูป 4.5 แสดงกราฟที่วิเคราะห์โดย EDX ของลวดทั้งสแตนที่ยังไม่ทดลอง

ตาราง 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของลวดทั้งสแตน

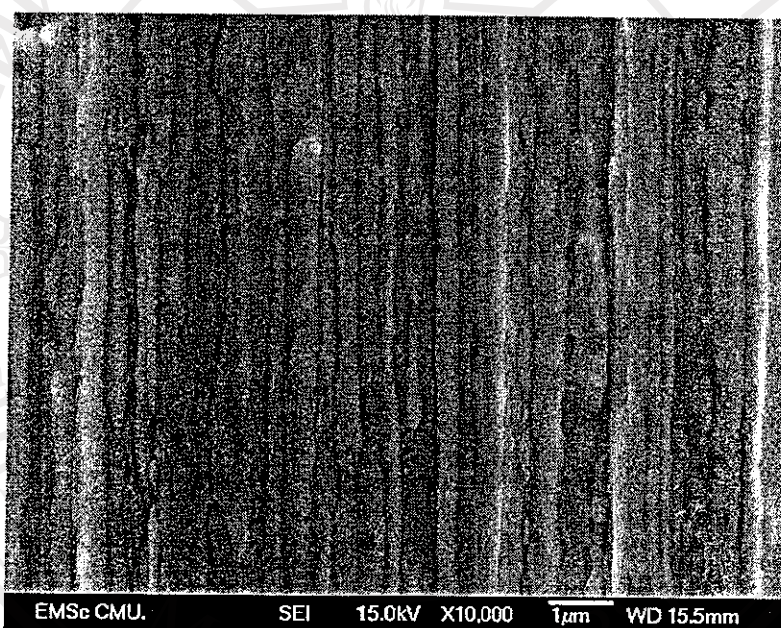
Element	Weight%	Atomic%
W M	100.00	100.00
Totals	100.00	

จากภาพถ่าย SEM (โดยเร่งอิเล็กตรอนด้วยความต่างศักย์ 15 กิโลโวลต์) พบว่าลวดทั้งสแตนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 ไมโครเมตรพื้นผิวมีลักษณะขรุขระ

จากการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณด้วย EDX พบว่า ลวดทั้งสแตนที่นำมาทดลองเป็นลวดทั้งสแตนบริสุทธิ์ และจากภาพถ่ายกำลังขยายสูงจะพบว่าพื้นผิวของลวดทั้งสแตนจะไม่เรียบ มีลักษณะเป็นลอนนูนเป็นแนวยาวตามความยาวของเส้นลวดซึ่งจะนำลวดตัวอย่างนี้ไปทำการทดลองปลูกท่อนาโนคาร์บอนต่อไป

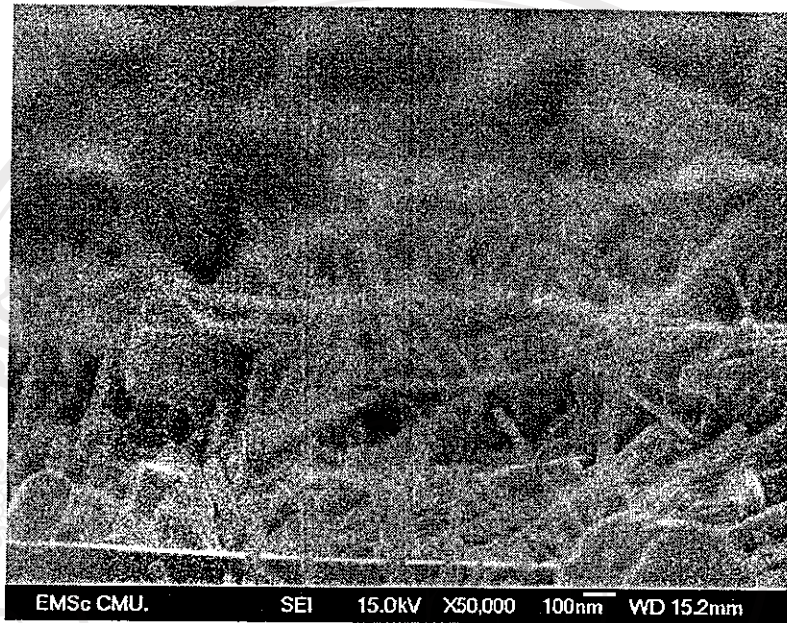
4.3 ผลการทดลอง และวิเคราะห์การทดลองปลูกท่อนาโนคาร์บอน โดยเทคนิควิธีการตกสะสมไอเคมี(CVD)

4.3.1 ภาพถ่าย SEM ของลวดทั้งสแตนเลสที่ทดลองปลูก ท่อนาโนคาร์บอนโดยควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.2 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ โดยจะเปรียบเทียบการปลูกที่อุณหภูมิ 700 เคลวิน, 800 เคลวิน และ 900 เคลวิน ตามลำดับ



รูป 4.6 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 10,000 เท่าแสดงพื้นผิวของลวดทั้งสแตนเลสที่นำไปทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 700 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.2 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ

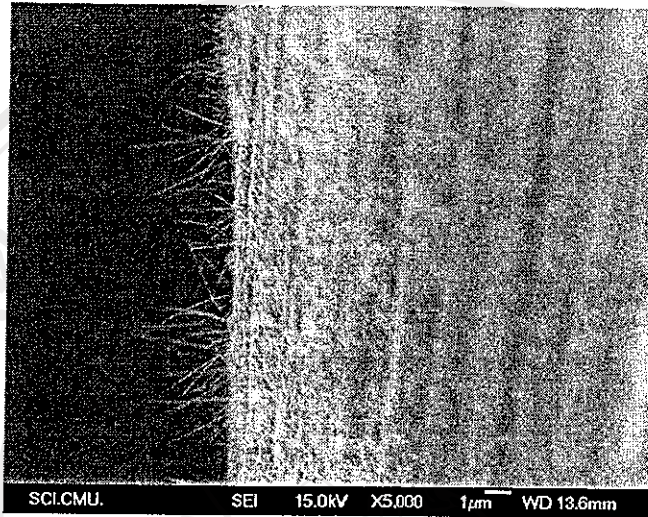
จากรูป 4.6 พบว่าลวดทั้งสแตนเลสที่นำไปทดลองปลูก CNTs ที่ อุณหภูมิ 700 เคลวิน และควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.2 และ 10 มล.ต่อวินาที ใช้เวลา 5 นาที ไม่ปรากฏการเกิดท่อนาโนคาร์บอนขึ้นเลย ซึ่งอาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ไม่เหมาะสมต่อการเกิด



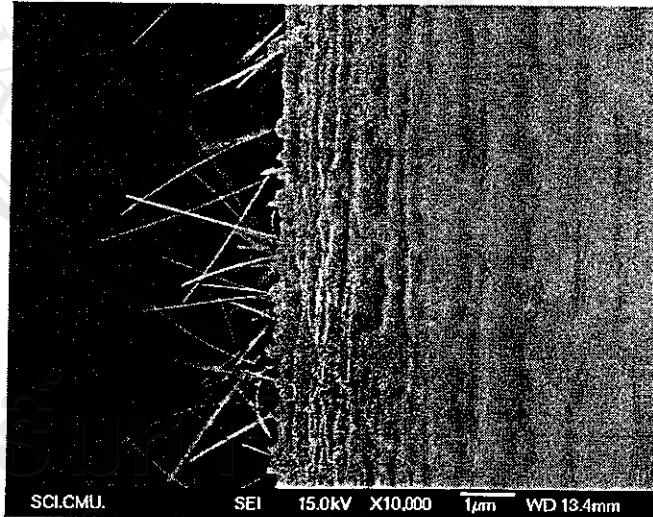
รูป 4.7 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่าแสดงพื้นผิวของลวดทั้งสแตน
ที่นำไปทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 800 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทีลีนและ
อาร์กอน เป็น 0.2 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ

จากรูป 4.7 พบว่าลวดทั้งสแตนที่นำไปทดลองปลูก CNTs ที่ อุณหภูมิ 800 เคลวินและ
ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอะเซทีลีนและอาร์กอน เป็น 0.2 และ 10 มล.ต่อวินาที ใช้เวลา 5 นาที
สามารถทำให้เกิดท่อนาโนคาร์บอนขึ้นได้ ซึ่งขนาดของท่อนาโนคาร์บอนที่ปรากฏ มีขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลางประมาณ 20 นาโนเมตร ถึง 110 นาโนเมตร มีความยาวประมาณ 1 ไมโครเมตร

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

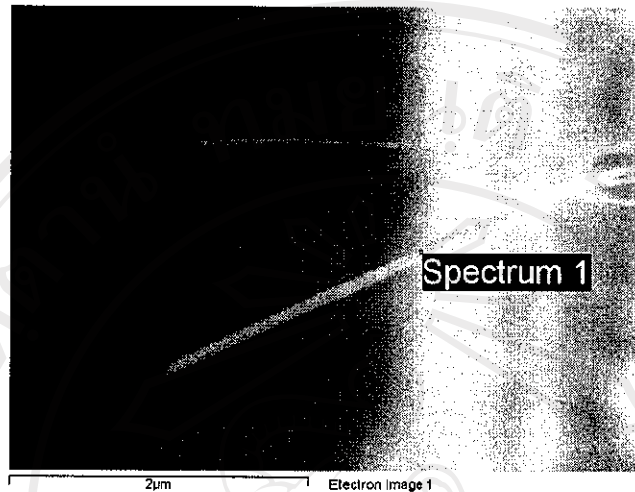


(ก)

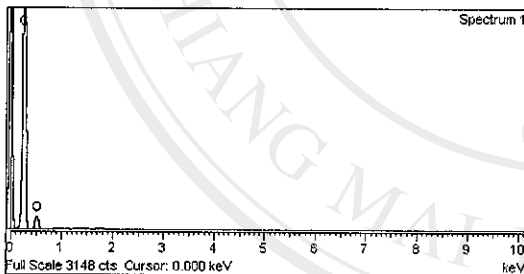


(ข)

รูป 4.8 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 10,000 เท่าแสดงพื้นผิวของลวดทั้งสแตนที่นำไปทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 900 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.2 และ 10 มล.ต่อ วินาที (ก) กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูป 4.9 ภาพ SEM ของตำแหน่งจุดที่วิเคราะห์ EDX ของท่อนาโนคาร์บอน



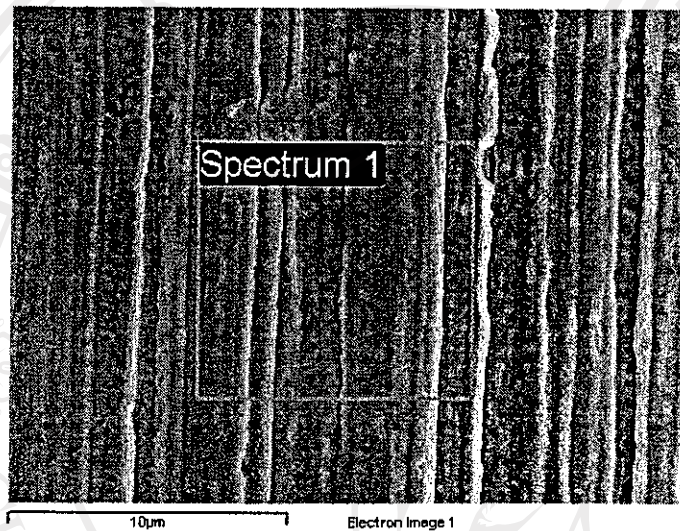
Element	Weight%	Atomic%
C K	84.40	87.82
O K	15.60	12.18
Totals	100.00	

รูป 4.10 กราฟที่วิเคราะห์โดย EDX ของท่อนาโนคาร์บอน

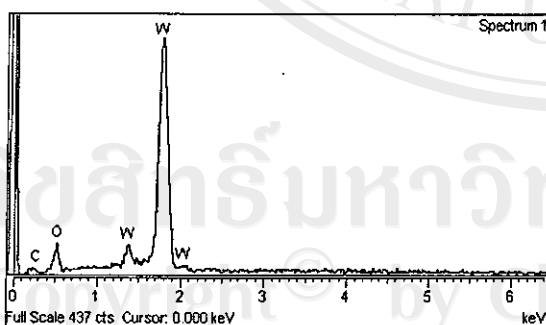
ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของท่อนาโนคาร์บอน

จากภาพถ่าย SEM ของลวดทั้งสแตนที่ทดลองปลูก ท่อนาโนคาร์บอนพบว่าลวดทั้งสแตนที่นำไปทดลองปลูก CNTs ที่ อุณหภูมิ 900 เคลวินและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอะเซทีลีนและอาร์กอน เป็น 0.2 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ สามารถทำให้เกิดท่อนาโนคาร์บอนขึ้นได้ ซึ่งขนาดของท่อนาโนคาร์บอนที่ปรากฏ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 ถึง 118 นาโนเมตร มีความยาวประมาณ 5 ไมโครเมตร

4.3.1 ภาพถ่าย SEM ของลวดทั้งสแตนที่ทดลองปลูก ท่อนาโนคาร์บอนโดยควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ โดยจะเปรียบเทียบการปลูกที่อุณหภูมิ 700 เคลวิน , 800 เคลวิน และ 900 เคลวิน ตามลำดับ



รูป 4.11 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่าแสดงพื้นผิวของลวดทั้งสแตนที่นำไปทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 700 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ

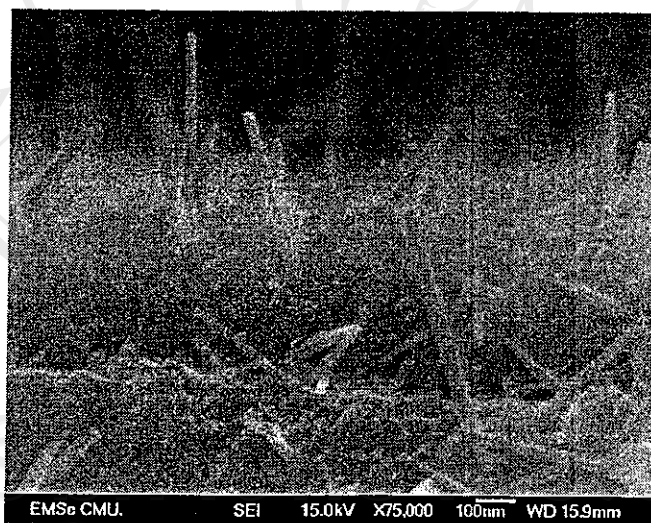


Element	Weight %	Atomic %
C K	0.74	5.06
O K	10.67	55.12
W M	88.59	39.82
Totals	100.00	

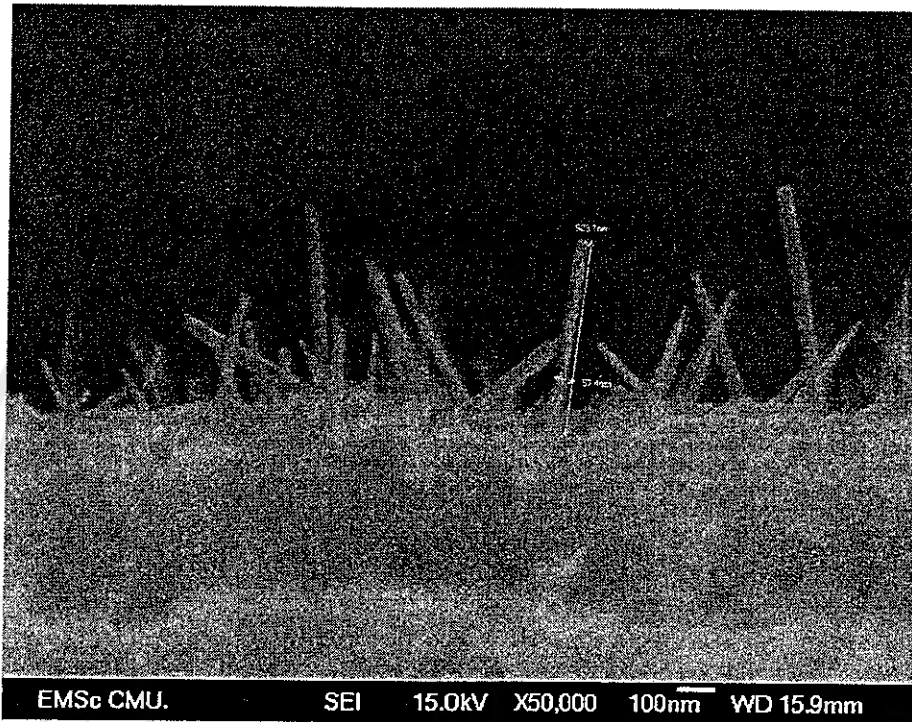
รูป 4.12 กราฟที่วิเคราะห์โดย EDX พื้นผิวลวดทั้งสแตนที่ทดลองที่ 700 เคลวิน ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของพื้นผิวลวดทั้งสแตนที่ทดลองที่ 700 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ



รูป 4.13 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 10,000 เท่าแสดงพื้นผิวของลวดทั้งสแตนที่นำไปทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 800 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ



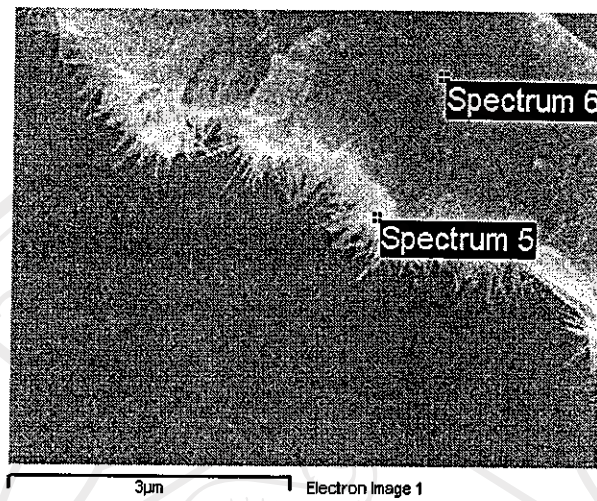
รูป 4.14 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 75,000 เท่าแสดงพื้นผิวของลวดทั้งสแตนที่นำไปทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 900 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ



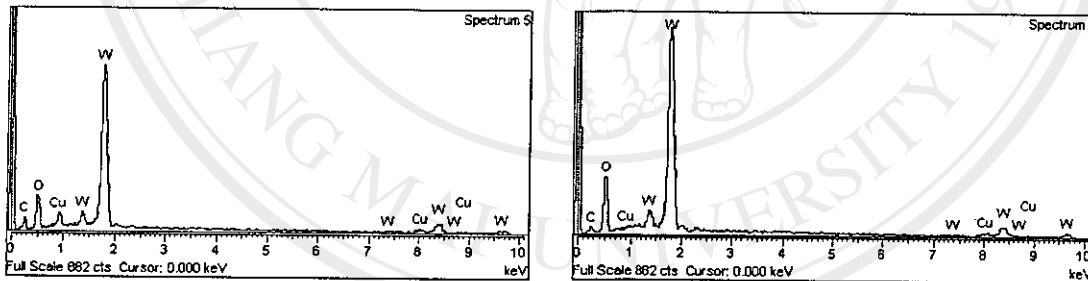
รูป 4.15 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่าแสดงพื้นผิวของลวดทั้งสแตนที่นำไปทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 900 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ โดยแสดงขนาดและความยาวของท่อนาโนคาร์บอน

ซึ่งจากรูป 4.15 พบว่าท่อนาโนคาร์บอนที่ปลูกบนพื้นผิวของลวดทั้งสแตนที่นำไปทำการทดลองที่อุณหภูมิ 900 เคลวิน ที่อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 นาโนเมตร และ ความยาวประมาณ 530 นาโนเมตร

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.16 ภาพถ่ายของตำแหน่งที่วิเคราะห์ด้วย EDX ของเส้นใยที่พื้นผิวของลวดทังสเตนที่นำไปทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 900 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ



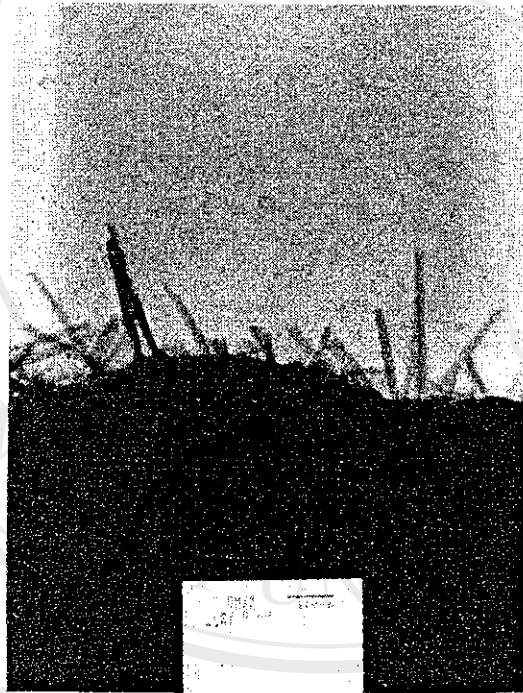
รูป 4.17 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบธาตุเชิงปริมาณของพื้นผิวลวดทังสเตนกับท่อนานาโนคาร์บอนที่ทำการทดลองอุณหภูมิ 900 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับโดย

(ก) ที่ตำแหน่งบนท่อนานาโนคาร์บอน

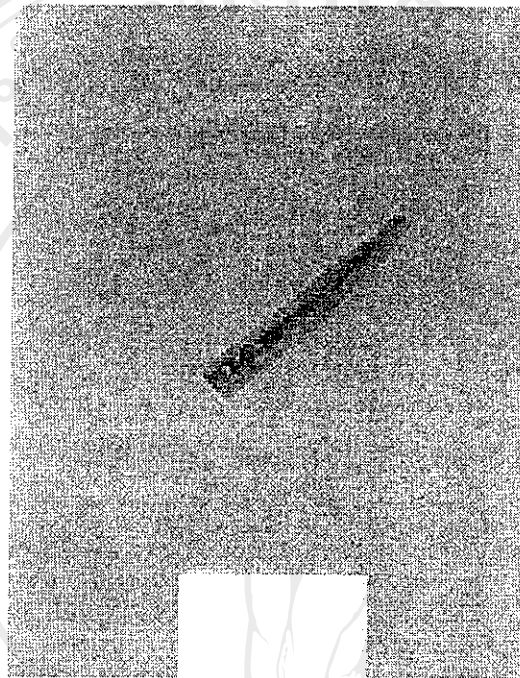
(ข) ที่ตำแหน่งบนลวดทังสเตน

ซึ่งจากภาพกราฟวิเคราะห์เปรียบเทียบธาตุเชิงปริมาณของพื้นผิวลวดทังสเตนกับท่อนานาโนคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 900 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับนั้น พบว่าปริมาณธาตุคาร์บอนที่พบบนท่อนานาโนมีมากกว่าบนผิวทังสเตน

แต่ที่พบธาตุทั้งสแตนบนท่อนาโนคาร์บอนด้วย อาจเป็นเพราะขนาดของท่อนาโนคาร์บอนมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับโพรบหัววัด(ขนาดประมาณ 1 ไมโครเมตร) ของเครื่องวัดการกระจายพลังงานรังสีเอกซ์(EDX) จึงทำให้การวิเคราะห์ผลที่ได้มีธาตุทั้งสแตนจากผิวลวดติดมาด้วย และที่พบธาตุทองแดงปรากฏอยู่ด้วยในรูปที่ 4.17 เพราะ ชิ้นงานที่นำไปวิเคราะห์นั้นวางอยู่บนกริดทองแดง ซึ่งจะนำกริดที่มีท่อนาโนคาร์บอนอยู่บนนี้ไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำผ่าน (TEM) ต่อไป

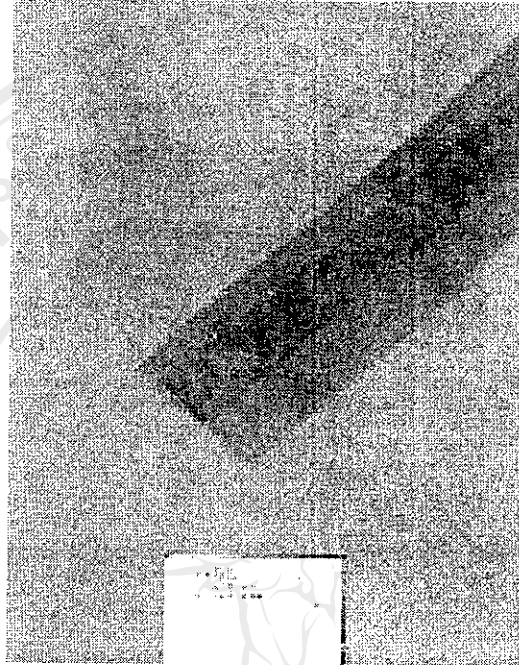


รูป 4.18 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM โดยใช้ความต่างศักย์เร่งอิเล็กตรอน 200 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 60,000 เท่า แสดงพื้นผิวของลวดทั้งสแตนที่นำไปทดลองปลูกท่อนาโนคาร์บอนที่ อุณหภูมิ 900 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที



รูป 4.19 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM โดยใช้ความต่างศักย์เร่งอิเล็กตรอน 200 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 120,000 เท่า แสดงพื้นผิวของลวดทังสเตนที่นำไปทดลองปลูกท่อนาโนคาร์บอนที่ อุณหภูมิ 900 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อ วินาที ตามลำดับ

โดยรูป 4.19 นี้เกิดจากการขูดพื้นผิวของทังสเตนที่ทำการปลูกท่อนาโนคาร์บอนลงบน กริดทองแดงที่มีเทปคาร์บอนรองรับอยู่ด้วยล่าง แล้วนำกริดทองแดงนั้นมาส่องกล้อง TEM ซึ่ง ขนาด สเกลที่ปรากฏในภาพมีขนาด 50 นาโนเมตร



รูป 4.20 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM โดยใช้ความต่างศักย์เร่งอิเล็กตรอน 200 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 500,000 เท่า แสดงพื้นผิวของลวดทังสเตนที่นำไปทดลองปลูกท่อนาโนคาร์บอนที่ อุณหภูมิ 900 เคลวิน และอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที

จากรูป 4.20 โดยพบว่ามีลักษณะเป็นท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 15 นาโนเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 30 นาโนเมตร ซึ่งจากภาพถ่าย SEM และ TEM ของลวดทังสเตนที่ทดลองปลูกท่อนาโนคาร์บอนโดยควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.1 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ โดยจะเปรียบเทียบการปลูกที่อุณหภูมิ 700 เคลวิน, 800 เคลวิน และ 900 เคลวิน ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิ 700 เคลวิน ไม่ปรากฏการเกิดท่อนาโนคาร์บอนขึ้นเลย จะพบการเกิดท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 800 ถึง 900 เคลวิน โดยที่อุณหภูมิ 900 เคลวิน จะเกิดท่อนาโนคาร์บอนกระจายบนพื้นผิวของลวดทังสเตนได้ดีกว่า ซึ่งเหมาะกับการนำไปทดสอบ การปลดปล่อยอิเล็กตรอนด้วยสนามไฟฟ้า ต่อไป

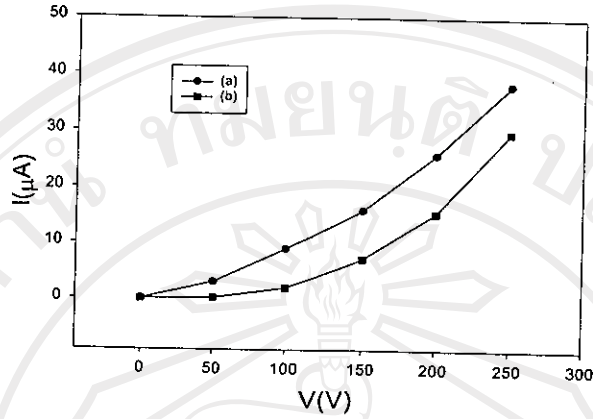
4.4 การทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอนแบบฟิลด์อิมิชชัน (Field emission)

จากการวิเคราะห์ลวดทั้งสแตนที่นำไปทดลองปลุกท่อนาโนคาร์บอนด้วย เครื่อง SEM ซึ่งสามารถยืนยันว่าเกิดท่อนาโนคาร์บอนจริง แล้วจึงนำลวดที่ปลุกท่อนาโนคาร์บอนนั้นมาทำการทดสอบการปล่อยอิเล็กตรอน โดยจะต้องวงจรการทดสอบดังรูปที่ 3.11

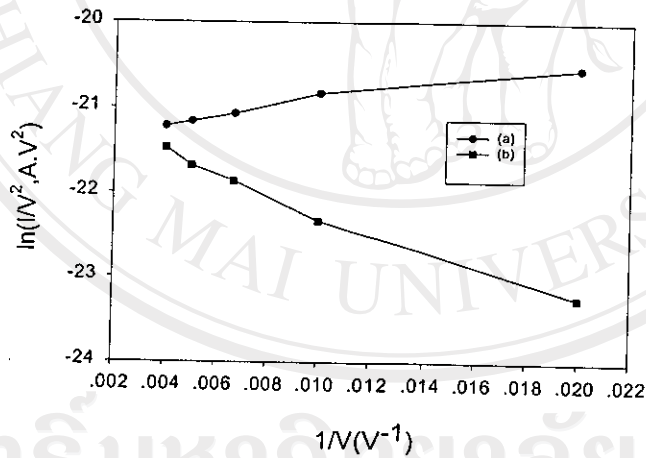
ซึ่งลวดทั้งสแตนที่นำมาทดลองวัดเปรียบเทียบการปลดปล่อยอิเล็กตรอนนี้ เป็นลวดทั้งสแตนที่ยังไม่ทำการทดลองปลุกท่อนาโนคาร์บอนกับที่ทำการทดลองปลุกท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 900 เคลวิน และ อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนและอาร์กอน เป็น 0.2 และ 10 มล.ต่อวินาที ตามลำดับ โดยมีผลการทดลองดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 แสดงค่าต่างๆของกระแสอิเล็กตรอนที่ได้เมื่อค่าความต่างศักย์ที่ใช้กับลวดทั้งสแตนตั้งแต่ 50-500 โวลต์ ที่ความดัน 5×10^{-6} มล.ปรอท ของลวดทั้งสแตนที่ยังไม่ปลุกท่อนาโนคาร์บอนกับที่ปลุกท่อนาโนคาร์บอนโดยระหว่างระหว่างขั้วแคโทดกับแอโนดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร

Volt(V)	w I(μ A)	w_cntI(μ A)
	(a)	(b)
0	0	0
50	3.0	0.2
100	9.0	2
150	15.9	7.2
200	25.8	15.4
250	38.1	29.7



รูป 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I (μA) กับ V (V) ของลวดทั้งสแตน (a) ไม่ปลุกท่อนาโนคาร์บอน (b) ปลุกท่อนาโนคาร์บอน

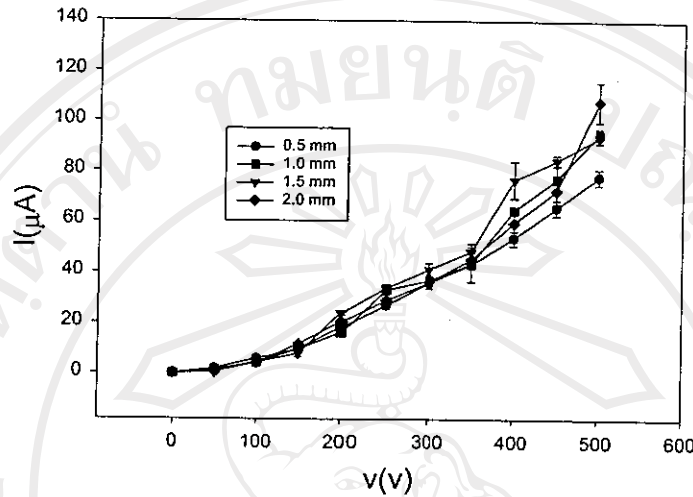


รูป 4.22 กราฟ Fowler-Nordheim แสดงการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของลวดทั้งสแตน (a) ไม่ปลุกท่อนาโนคาร์บอน (b) ปลุกท่อนาโนคาร์บอน

กราฟ Fowler-Nordheim แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(I/V^2)$ กับ $1/V$ ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง

ตาราง 4.7 แสดงค่าต่างๆของกระแสอิเล็กตรอนที่ได้เมื่อค่าความต่างศักย์ที่ใช้กับหลอด
ทังสเตนตั้งแต่ 50-500 โวลต์ ที่ความดัน 5×10^{-6} มล.ปรอท ของหลอดทังสเตนที่ปลุกท่อนานาโน
คาร์บอนโดยปรับระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดกับแอโนดเป็น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

volt	current(μ A)0.5mm	current(μ A)1mm	current(μ A)1.5mm	current(μ A)2mm
0	0	0	0	0
50	1.81	0.85	0.78	0.70
100	5.81	2.99	4.31	4.42
150	9.61	6.41	8.04	11.89
200	18.0	13.4	24.0	20.56
250	26.69	17.20	33.77	28.96
300	35.61	21.15	41.16	36.22
350	42.99	30.57	48.23	45.18
400	53.2	46.23	76.73	59.62
450	65.34	58.95	84.55	72.49
500	77.69	75.39	93.79	108.29

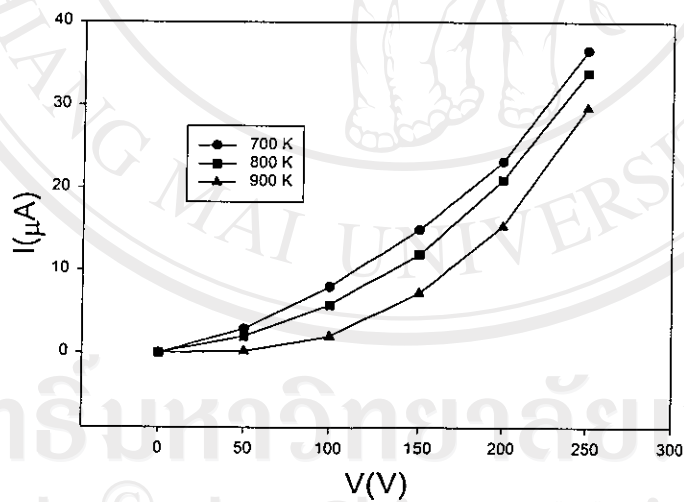


รูป 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $I(\mu\text{A})$ กับ $V(\text{V})$ ของหลอดทั้งสี่ชนิดที่ปลูกท่อไอโนคาร์บอนแล้วนำมาทดสอบปรับระยะห่างระหว่างขั้วแคโทดกับแอโนดเป็น 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

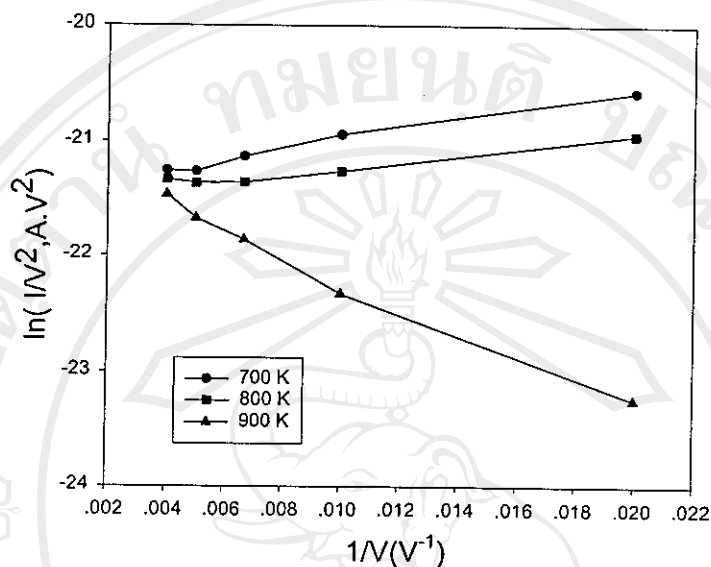
ซึ่งจากกราฟรูป 4.23 จะพบว่าเมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดกับแอโนด ค่าของกระแสอิเล็กตรอนที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้นตาม และการค่าความคลาดเคลื่อนที่ปรากฏในกราฟก็แสดงผลว่าค่าระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสองที่มีค่าน้อยๆ ไม่น่าจะมีผลต่อค่ากระแสอิเล็กตรอนที่วัดได้ แต่ค่ากระแสอิเล็กตรอนที่ได้ น่าจะขึ้นอยู่กับปริมาณของท่อไอโนคาร์บอนที่เกิดบนผิวของหลอดทั้งสี่ชนิด ซึ่งถ้ามีปริมาณการเกิดท่อไอโนคาร์บอนมากก็น่าจะเกิดการปล่อยอิเล็กตรอนได้ในปริมาณสูงกว่า

ตาราง 4.8 แสดงค่าต่างๆของกระแสอิเล็กตรอนที่ได้เมื่อค่าความต่างศักย์ที่ใช้กับหลอดทั้งสแตนตั้งแต่ 50-300 โวลต์ ที่ความดัน 5×10^{-6} มล.ปรอท ของหลอดทั้งสแตนที่ปลูกท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 700 เคลวิน 800 เคลวิน และ 900 เคลวิน ตามลำดับ

volt(V)	I(μ A)700K	I(μ A) 800K	I(μ A)900k
0	0	0	0
50	2.9	2	0.2
100	8	5.8	2
150	14.9	11.9	7.2
200	23.2	21	15.4
250	36.6	33.9	29.7



รูป 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าต่างๆของกระแสอิเล็กตรอนที่ได้เมื่อค่าความต่างศักย์ที่ใช้กับหลอดทั้งสแตนตั้งแต่ 50 ถึง 300 โวลต์ ที่ความดัน 5×10^{-6} มล.ปรอท ของหลอดทั้งสแตนที่ปลูกท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 700 เคลวิน 800 เคลวิน และ 900 เคลวิน ตามลำดับ



รูป 4.25 กราฟ Fowler-Nordheim แสดงการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของลวดทั้งสแตนที่ อุณหภูมิ 700 เคลวิน 800 เคลวิน และ 900 เคลวิน ตามลำดับ

ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์พบว่าปริมาณของกระแสอิเล็กตรอนที่ได้ที่อุณหภูมิ 700 เคลวิน 800 เคลวิน และ 900 เคลวิน มากและน้อย ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณออกไซด์ที่เกิดบนผิว ทั้งสแตนมีปริมาณมากเกินไป ทำให้การนำไฟฟ้าเกิดขึ้นไม่ดีจึงส่งผลให้ปริมาณอิเล็กตรอนที่หลุด ออกมาน้อย แต่ผลที่ได้ก็เป็นไปตามทฤษฎีของ Fowler-Nordheim ที่การปลดปล่อยอิเล็กตรอนแบบ ฟิลด์อิมิสชัน กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง