สารบาญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ค
บทคัดย่อภาษาไทย ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ
สารบาญตาราง ซ
สารบาญภาพ ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง 2
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3
1.4 แผนดำเนินการ ขอบเขต และวิธีการวิจัย 4
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา เชิงทฤษฎีและ/หรือเชิงประยุกต์ 4

บทที่ 2 ทฤษฎี 5
2.1 รูปแบบโครงสร้างของคาร์บอน 5
2.2 เส้นใยนาโนคาร์บอน (Carbon Nanofibers, CNFs) 8
2.3 โครงสร้างท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotubes structure) 10
2.4 การเตรียมโลหะคะตะลิสต์ 15
2.5 การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน (Synthesis of carbon nanotubes) 17
2.6 คุณสมบัติของท่อนาโนคาร์บอน (Properties of carbon nanotubes) 22
2.7 การประยุกต์ใช้ท่อนาโนคาร์บอน (Applications) 26
2.8 การปลดปล่อยอิเล็กตรอน (Field Emission) 31

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 39
3.1 การเตรียมโลหะคะตะลิสต์โดยวิธีการ spark sputtering 39
3.2 การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนโดยวิธีการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน 43

3.3 การทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอน
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้ (Field Emission) 46
3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(Scanning Electron Microscope, SEM) 48
3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
(Transmission Electron Microscope, TEM) 49
3.6 เครื่องรามาน สเปกโทรมิเตอร์ (Raman Spectrometer) : T 64000 50

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 52
4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค และองค์ประกอบทางเคมี
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน 52
4.2 ผลการทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอน (Field Emission)
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ ได้โดยวิธีการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน 131
4.3 ผลการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้
โดยวิธีการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน ด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy 133
4.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM 164

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 169
5.1 สรุปผลการทดลอง 169
5.2 ข้อเสนอแนะ 171

เอกสารอ้างอิง 172
ภาคผนวก ก 176
ภาคผนวก ข 181
ภาคผนวก ค 190
ภาคผนวก ง 191
ประวัติผู้เขียน 192

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 เงื่อนไขในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิ	59
4.2 เงื่อนไขในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน และเส้นในนาโนคาร์บอน โดยเปลี่ยนแปลงคะตะลิสต์	75
4.3 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-10-10-750	77
4.4 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-10-10-750	80
4.5 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-10-10-750	82
4.6 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-10-10-750	85
4.7 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-10-10-750	87
4.8 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Co-100-10-10-750	90
4.9 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-10-10-750	92
4.10 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-10-10-750	95
4.11 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-10-10-750	97
4.12 สรุปการวิเคราะห์ลักษณะของเส้น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย จากการนำเส้นใยนาโนคาร์บอน และท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้ จากการใช้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:10 ไปวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค	91

4.13 เงื่อนไขในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน และเส้นในนาโนคาร์บอน
โดยการเปลี่ยนแปลงคะตะลิสต์ เมื่อใช้อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอน
ต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:5 ml/min 92
4.14 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-5-5-750 94
4.15 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-750 97
4.16 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-5-5-750 99
4.17 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-5-5-750 101
4.18 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-5-5-750 104
4.19 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้เงื่อนไข Fe-Co-100-5-5-750 106
4.20 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-5-5-750 109
4.21 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-5-5-750 111
4.22 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณแบบพื้นที่ของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-5-5-750 114
4.23 สรุปการวิเคราะห์ลักษณะของเส้น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย
จากการนำเส้นใยนาโนคาร์บอน และท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้
จากการใช้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:5
ไปวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค 115
4.24 เงื่อนไขในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน และเส้นในนาโนคาร์บอน
โดยเปลี่ยนแปลงคะตะลิสต์ เมื่อใช้อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอน
ต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:3 ml/min 116

4.25 สรุปการวิเคราะห์ลักษณะของเส้น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
จากการนำเส้นใยนาโนคาร์บอน และท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้
จากการใช้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:3
ไปวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค 130
4.26 แสดงค่า Wavenumber, I_D ,I_G และ I_D/I_G จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องรามาน
ซึ่งใช้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:10 143
4.27 แสดงค่า Wavenumber, I_D ,I_G และ I_D/I_G ของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องรามาน
ซึ่งใช้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:5 153
4.28 แสดงค่า Wavenumber, I_D ,I_G และ I_D/I_G ของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องรามาน
ซึ่งใช้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:3 163
4.29 ผลการวิเคราะห์ Ring diffraction patterns ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่บิดเป็นเกลียว
จากรูป 4.172 (ข) 165

สารบาญภาพ

รูป **หน้า**

2.1 โครงสร้างของเพชร 6
2.2 โครงสร้างของแกรไฟต์ 6
2.3 โครงสร้างของโมเลกุล C_{60} 7
2.4 โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน 8
2.5 แบบจำลองการสร้างตัวของเส้นในนาโนคาร์บอน 9
2.6 รูปแบบโครงสร้างท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียว (SWNTs) 10
2.7 การม้วนของแผ่นแกรไฟต์ในทิศทางที่ต่างกัน 11
2.8 ดัชนีบ่งบอกรูปแบบการจัดเรียงตัวของอะตอมบนท่อนาโนคาร์บอน 11
2.9 แสดง MWNTs ซึ่งมีผนัง 3 ชั้น 13
2.10 ตัวอย่างภาพท่อนาโนคาร์บอนที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องผ่าน (TEM) 13
2.11 ภาพจำลองขั้นตอนการเติบโตของท่อนาโนคาร์บอนแบบ Root Growth
และแบบ Tip Growth 14
2.12 ภาพจำลองอันตรกิริยาระหว่างฐานรองกับอนุภาคโลหะคะตะลิสต์ 15
2.13 แผนภาพการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนโดยวิธีอาร์คดิสชาร์จ 18
2.14 แผนภาพการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนโดยวิธีระเหยด้วยแสงเลเซอร์ 18
2.15 แผนภาพการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน
โดยเทคนิคการตกสะสมไอเคมีด้วยพลาสมา 19
2.16 แผนภาพการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน
โดยเทคนิคการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน 20
2.17 แผนภาพการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน
โดยเทคนิคการตกสะสมไอเคมีโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 20
2.18 แผนภาพการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนโดยเทคนิคการแบ่งเฟสในการปลูก 21
2.19 แผนภาพการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยเทคนิคการตกสะสมไอเคมี
โดยใช้แสงเลเซอร์เป็นแหล่งความร้อน 22
2.20 แสดงการใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) หาค่าโมดูลัสของยัง 23

2.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของท่อนาโนคาร์บอน
กับวัสดุต่าง ๆ (สเกลของกราฟเป็นสเกล log) 24
2.22 แสดงลักษณะการเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนทำให้สมบัติต่างกันไป 25
2.23 การปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากปลายของท่อนาโนคาร์บอน 25
2.24 แสดงการนำท่อนาโนคาร์บอนไปประยุกต์ใช้ 27
2.25 แสดงแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ท่อนาโนคาร์บอนเป็นขั้วแคโทด 28
2.26 แสดงแผนผังต้นแบบเครื่องให้อิเล็กตรอนแบบฟิลด์อิมิสชัน
ที่ใช้ท่อนาโนคาร์บอน 28
2.27 แสดงต้นแบบเครื่องให้อิเล็กตรอนแบบฟิลด์อิมิสชันที่ใช้ท่อนาโนคาร์บอน
ของบริษัท Samsung 29
2.28 โพรบวัดท่อนาโนคาร์บอนของกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม
ภาพถ่ายจากเครื่อง SEM 30
2.29 ตัวอย่างแร็กเก็ตที่มีท่อนาโนคาร์บอนเป็นวัสดุผสม 30
2.30 แผนภาพแสดงกลไกสำหรับกระบวนการปลดปล่อยอิเล็กตรอน 31
2.31 แสดงการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของไดโอดที่อยู่ในสุญญากาศ 33
2.32 แผนภาพแสดงการปลดปล่อยอิเล็กตรอน 34
2.33 แสดงผลของแก๊สที่มีต่อการปลดปล่อยอิเล็กตรอน 37
2.34 โครงสร้างการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของ CNTs 38
2.35 โครงสร้างของอุปกรณ์การปลดปล่อยอิเล็กตรอน 39
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการทดลอง 40
3.2 เครื่องอัลตร้าโซนิก 41
3.3 แสดงเครื่องมือสำหรับเตรียมโลหะคะตะลิสต์ด้วยเทคนิคการสปาร์ค 41
3.4 อุปกรณ์ของชุดการฉาบผิวโลหะด้วยการสปาร์ค (spark sputtering) 42
3.5 รูปจำลองเตาเผาในงานวิจัยนี้ที่ใช้สำหรับสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน
โดยกระบวนการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน 43
3.6 ชุดอุปกรณ์การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน
โดยกระบวนการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน 44
3.7 ขั้นตอนการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน
โดยวิธีการตกสะสมไอสารเคมีด้วยความร้อน 45

3.8 แผนภาพแสดงการจัดวงจรไฟฟ้า และชุดอุปกรณ์
สำหรับทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอน 47
3.9 ชุดอุปกรณ์สำหรับทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอน 48
3.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 49
3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน 50
3.12 เครื่องมือ Raman Spectrometer : T 64000 51
4.1 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-600 53
4.2 กราฟแสดงการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-600 54
4.3 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-650 55
4.4 กราฟการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-650 55
4.5 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-700 56
4.6 กราฟการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-700 57
4.7 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-750 58
4.8 กราฟการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-750 58
4.9 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-800 59
4.10 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-750 60
4.11 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-10-750 61
4.12 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-10-750 61

4.13 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-750 63
4.14 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-10-5-750 64
4.15 กราฟการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-10-5-750 64
4.16 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-10-750 66
4.17 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-10-10-750 67
4.18 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-10-10-750 67
4.19 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า
แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก
เงื่อนไข Ni-Ni-100-10-10-750 69
4.20 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-10-10-750 70
4.21 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-10-10-750 71
4.22 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า
แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนได้ที่สังเคราะห์จาก
เงื่อนไข Ni-Fe-100-10-10-750 72
4.23 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-10-10-750 72
4.24 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-10-10-750 73

4.25 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนได้จาก เงื่อนไขใน Ni-Co-100-10-10-750 74
4.26 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-10-10-750 74
4.27 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-10-10-750 75
4.28 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก เงื่อนไข Fe-Fe-100-10-10-750 76
4.29 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-10-10-750 77
4.30 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-10-10-750 78
4.31 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก เงื่อนไข Fe-Ni-100-10-10-750 79
4.32 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-10-10-750 79
4.33 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-10-10-750 80
4.34 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก เงื่อนไข Fe-Co-100-10-10-750 81
4.35 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Co-100-10-10-750 82

4.36 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Co-100-10-10-750 83
4.37 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า
แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก
เงื่อนไข Co-Co-100-5-5-750 84
4.38 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-10-10-750 84
4.39 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-10-10-750 85
4.40 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า
แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก
เงื่อนไข Co-Ni-100-10-10-750 86
4.41 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-10-10-750 87
4.42 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-10-10-750 88
4.43 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า
แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก
เงื่อนไข Co-Fe-100-10-10-750 89
4.44 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-10-10-750 89
4.45 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-10-10-750 90
4.46 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า
แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก
เงื่อนไข Ni-Ni-100-5-5-750 93

4.47 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-5-5-750 93
4.48 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-5-5-750 94
4.49 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า
แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก
เงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-750 95
4.50 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-750 96
4.51 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-750 97
4.52 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า
แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนได้ที่สังเคราะห์ได้จาก
เงื่อนไข Ni-Co-100-5-5-750 98
4.53 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-5-5-750 98
4.54 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-5-5-750 99
4.55 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า
แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก
เงื่อนไข Fe-Fe-100-5-5-750 100
4.56 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-5-5-750 100
4.57 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-5-5-750 101

4.58 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก เงื่อนไข Fe-Ni-100-5-5-750 102
4.59 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-5-5-750 103
4.60 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-5-5-750 104
4.61 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก เงื่อนไข Fe-Co-100-5-5-750 105
4.62 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Co-100-5-5-750 105
4.63 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Co-100-5-5-750 106
4.64 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก เงื่อนไข Co-Co-100-5-5-750 107
4.65 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-5-5-750 108
4.66 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-5-5-750 109
4.67 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จาก เงื่อนไข Co-Ni-100-5-5-750 110
4.68 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-5-5-750 110

4.69 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-5-5-750 111
4.70 (ก) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-5-5-750 112
4.71 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-5-5-750 113
4.72 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย EDS-SEM (ก) ภาพที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ (ข) แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-5-5-750 114
4.73 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-3-3-750 117
4.74 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-3-3-750 117
4.75 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-3-3-750 118
4.76 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-3-3-750 119
4.77 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-3-3-750 120
4.78 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-3-3-750 120
4.79 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-3-3-750 121
4.80 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-3-3-750 122
4.81 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-3-3-750 123

4.82 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-3-3-750 123
4.83 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Co-100-3-3-750 124
4.84 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Co-100-3-3-750 125
4.85 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-3-3-750 126
4.86 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-3-3-750 126
4.87 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-3-3-750 127
4.88 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-3-3-750 128
4.89 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 50,000 เท่า แสดงลักษณะรูปร่าง
ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-3-3-750 129
4.90 กราฟแสดงการกระจายของขนาดท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-3-3-750 129
4.91 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า (V/μm)
กับความหนาแน่นกระแส (A/cm^2) ของผลิตภัณฑ์ทุกเงื่อนไข 131
4.92 เปรียบเทียบกราฟ Fowler-Nordheim ทุกเงื่อนไข 132
4.93 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-10-10-750 134
4.94 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-10-10-750 135
4.95 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-10-10-750 136
4.96 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-10-10-750 137

4.97 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-10-10-750 138
4.98 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Co-100-10-10-750 139
4.99 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-10-10-750 140
4.100 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-10-10-750 141
4.101 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-10-10-750 142
4.102 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-5-5-750 144
4.103 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-750 145
4.104 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-5-5-750 146
4.105 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-5-5-750 147
4.106 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-5-5-750 148
4.107 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Co-100-5-5-750 149
4.108 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-5-5-750 150
4.109 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-5-5-750 151
4.110 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-5-5-750 152
4.111 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Ni-100-3-3-750 154

4.112 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Fe-100-3-3-750 155
4.113 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Ni-Co-100-3-3-750 156
4.114 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Fe-100-3-3-750 157
4.115 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Ni-100-3-3-750 158
4.116 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Fe-Co-100-3-3-750 159
4.117 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Co-100-3-3-750 160
4.118 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Ni-100-3-3-750 161
4.119 กราฟการตรวจสอบ วิเคราะห์คุณภาพของท่อนาโนคาร์บอน
ที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไข Co-Fe-100-3-3-750 162
4.120 (ก) ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่บิดเป็นเกลียว ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า
(ข) ภาพถ่าย Ring diffraction patterns ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่บิดเป็นเกลียว
(เงื่อนไข Ni-Ni-100-10-10-750) 164
4.121 (ก) ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่บิดเป็นเกลียวบริเวณปลายเส้น
ที่กำลังขยาย 200,000 เท่า (เงื่อนไข Ni-Ni-100-10-10-750)
(ข) ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่บิดเป็นเกลียวบริเวณปลายเส้น
ที่กำลังขยาย 400,000 เท่า (เงื่อนไข Ni-Ni-100-10-10-750) 165
4.122 (ก) ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่เป็นเส้นเรียบ ที่กำลังขยาย150,000 เท่า
(ข) ภาพถ่าย TEM ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่เป็นเส้นเรียบที่กำลังขยาย 200,000 เท่า 166
4.123 (ก) ภาพถ่าย TEM ของท่อนาโนคาร์บอนปลายเปิดที่กำลังขยาย 400,000 เท่า
(ข) ภาพถ่าย TEM ของท่อนาโนคาร์บอนปลายปิดที่กำลังขยาย 250,000 เท่า 167
4.124 (ก) ภาพถ่าย TEM ของท่อนาโนคาร์บอนที่กำลังขยาย 250,000 เท่า
(ข) ภาพถ่าย TEM ของท่อนาโนคาร์บอนที่กำลังขยาย 400,000 เท่า
(เงื่อนไข Ni-Ni-100-3-3-750) 168