

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 แนวคิดและทฤษฎีหลัก.....	7
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	13
3.1 การออกแบบจิ๊กสำหรับติดตั้งแคนทิลเวอร์.....	13
3.2 การเลือกเชื่อมกล่องจุลทรรศน์แรงอะตอมที่ใช้แล้ว.....	14
3.3 การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์จากโลหะอะตอมิกที่เตรียมด้วยวิธีชุบด้วยไฟฟ้า.....	14
3.3.1 การศึกษาเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการเคลือบนิกเกิลด้วยวิธีการชุบด้วยไฟฟ้า.....	15
3.3.2 การศึกษาเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนปลายเข็มกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยความร้อน.....	16
3.4 การวิเคราะห์.....	20
3.4.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	20
3.4.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	20
3.4.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปี.....	20
3.4.4 การทดสอบประสิทธิภาพการสแกนภาพของเข็มกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมที่ใช้แล้วที่ปรับปรุงด้วยท่อนาโนคาร์บอน.....	21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล.....	23
4.1 เชื่อมกล่องจุลทรรศน์แรงอะตอมที่ใช้แล้วสำหรับการทดลอง.....	23
4.2 เชื่อมกล่องจุลทรรศน์แรงอะตอมที่ใช้แล้วที่ปรับปรุงด้วยท่อนาโนคาร์บอนท่อนาโนคาร์บอนบน.....	24
4.2.1 เงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการเคลือบนิกเกิลด้วยวิธีการชุบด้วยไฟฟ้า.....	24
4.2.2 เงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนปลายเชื่อมกล่องจุลทรรศน์ แรงอะตอมด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยความร้อน.....	25
4.2.3 ผลวิเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์บนเชื่อมกล่องจุลทรรศน์แรงอะตอมใช้แล้ว ด้วยเทคนิคกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	29
4.2.4 ผลวิเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์บนเชื่อมกล่องจุลทรรศน์แรงอะตอมใช้แล้ว ด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปี.....	30
4.3 ภาพสแกนของกล่องจุลทรรศน์แรงอะตอมโดยใช้เชื่อมกล่องจุลทรรศน์แรงอะตอมที่ปรับปรุงด้วย ท่อนาโนคาร์บอน.....	31
4.3.1 ตัวอย่างมาตรฐานสำหรับกล่องจุลทรรศน์แรงอะตอม.....	31
4.3.2 การเปรียบเทียบภาพสแกนของเข็มแต่ละชนิด.....	32
4.3.3 ความทนทานของเข็มที่ปรับปรุงด้วยท่อนาโนคาร์บอน.....	36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	37
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	37
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	37
บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	38
บรรณานุกรม.....	39
ภาคผนวก ก สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย	41
ประวัติคณะผู้วิจัย	43

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบเทคนิคการทำเข็ม AFM-CNT	4
3.1 เงื่อนไขวิธีการชุบด้วยไฟฟ้าสำหรับศึกษาปัจจัยระยะห่างระหว่างขั้ว (เงื่อนไขการชุบด้วยไฟฟ้า E1)	15
3.2 เงื่อนไขวิธีการชุบด้วยไฟฟ้าสำหรับศึกษาปัจจัยเวลา (เงื่อนไขการชุบด้วยไฟฟ้า E2)	16
3.3 เงื่อนไข CVD สำหรับศึกษาปัจจัยระยะห่างระหว่างขั้ว (เงื่อนไข CVD C1)	17
3.4 เงื่อนไข CVD สำหรับศึกษาปัจจัยเวลาการชุบด้วยไฟฟ้า (เงื่อนไข CVD C2)	18
3.5 เงื่อนไข CVD สำหรับศึกษาปัจจัยอัตราการไหลของไอเอทานอล (เงื่อนไข CVD C3)	18
3.6 เงื่อนไข CVD สำหรับศึกษาปัจจัยอุณหภูมิ (เงื่อนไข CVD C4)	18
3.7 เงื่อนไข CVD สำหรับศึกษาปัจจัยตำแหน่งการวางแกนทิลเลอร์ (เงื่อนไข CVD C5)	19
3.8 เงื่อนไขวิธีการชุบด้วยไฟฟ้าสำหรับศึกษาเงื่อนไข CVD ที่ดีที่สุด (เงื่อนไขการชุบด้วยไฟฟ้า E3)	19
3.9 ตารางสรุปเงื่อนไขของการชุบด้วยไฟฟ้าและเงื่อนไข CVD	19
3.10 เงื่อนไขการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FESEM	20
3.11 เงื่อนไขการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HRTEM	20
3.12 เงื่อนไขการวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโคปี	21
3.13 เงื่อนไขของแกนทิลเลอร์ AFM มาตรฐาน	21
3.14 เงื่อนไขการสแกนภาพ	22
4.1 เงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการเคลือบนิกเกิลด้วยวิธีการชุบด้วยไฟฟ้า	27
4.2 เงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการสังเคราะห์ CNT ด้วยวิธี CVD บนเข็ม AFM ใช้แล้ว	27
4.3 รายละเอียดของตัวอย่างมาตรฐาน	32
4.4 ค่าเฉลี่ยของความสูง ระยะห่างระหว่างหลุม และมุมของภาพ AFM ที่วัดจากเข็มแต่ละชนิด	34
4.5 ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความสูง ระยะห่างระหว่างหลุม และมุมของภาพ AFM ที่วัดจากเข็มแต่ละชนิดเทียบกับค่ามาตรฐานของตัวอย่าง	34
4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความสูง ระยะห่างระหว่างหลุม และมุมของภาพ AFM ที่วัดจากเข็มแต่ละชนิดเทียบกับค่ามาตรฐานของตัวอย่าง	35

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 กลไกการทำงานของ AFM	1
1.2 ตัวอย่างของเข็ม AFM ที่ทำจาก Si.....	2
1.3 ผลของขนาดของปลายเข็มต่อคุณภาพของภาพที่ได้	2
1.4 ผลของรูปร่างปลายเข็มต่อคุณภาพของภาพที่ได้	3
1.5 ภาพเคাঁร้งของการนำ CNT มาใช้เป็นเข็ม AFM	3
2.1 กลไกการสังเคราะห์ CNT.....	7
2.2 CNT ที่ยื่นออกจากปลายปิรามิด	7
2.3 การสะสมของประจุไฟฟ้าลบที่ปลายเข็ม AFM.....	8
2.4 Lateral resolution กรณี (a) $r > R$ และ (b) $r < R$	9
2.5 เข็ม AFM-CNT ที่เตรียมด้วยเทคนิคการติดกาว	10
2.6 การเตรียมเข็ม AFM-CNT ภายใน SEM	11
2.7 การเตรียมเข็ม AFM-CNT ด้วยวิธีสังเคราะห์โดยตรง	12
3.1 ภาพร่างด้านข้างของจิ๊กสำหรับติดตั้งแคนทิลเวอร์.....	13
3.2 ภาพร่างด้านบนของจิ๊กสำหรับติดตั้งแคนทิลเวอร์.....	14
3.3 ภาพร่างการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการชุบด้วยไฟฟ้า	15
3.4 ภาพร่างของระบบ CVD.....	16
3.5 โปรไฟล์ของเวลาและอุณหภูมิในกระบวนการ CVD	17
3.6 ภาพร่างของตำแหน่งการวางแคนทิลเวอร์ในท่อควอซ	19
4.1 ภาพ FESEM ตัวอย่างของเข็ม AFM ที่ใช้แล้ว.....	23
4.2 ภาพ FESEM ของ CNT หลังจากการสังเคราะห์ที่เงื่อนไขระยะห่างระหว่างขั้วที่ต่างกัน	24
4.3 ภาพ FESEM ของ CNT หลังจากการสังเคราะห์ที่เงื่อนไขเวลาการชุบด้วยไฟฟ้าที่ต่างกัน.....	24
4.4 ภาพ FESEM ของ CNT หลังจากการสังเคราะห์ที่เงื่อนไขอัตราการไหลของไอเอทานอลที่ต่างกัน	25
4.5 ภาพ FESEM ของ CNT หลังจากการสังเคราะห์ที่เงื่อนไขอุณหภูมิของกระบวนการ CVD ที่ต่างกัน (a) 750 และ (b) 850 องศาเซลเซียส	26
4.6 ภาพ FESEM ของ CNT หลังจากการสังเคราะห์ที่เงื่อนไขตำแหน่งการวางแคนทิลเวอร์ที่ต่างกัน (a) ซ้าย, (b) กลาง และ ขวา ของท่อควอซ	26
4.7 ภาพ FESEM ของ เข็ม AFM ใช้แล้วที่ปรับปรุงด้วย CNT ที่กำลังขยายแตกต่างกัน.....	27
4.8 ตัวอย่างภาพ FESEM ของเข็ม AFM ใช้แล้วเข็มอื่นๆ ที่ปรับปรุงด้วย CNT.....	28
4.9 ภาพ FESEM เปรียบเทียบ (a) เข็ม AFM ที่ใช้แล้ว (b) เข็ม AFM ใหม่ และ (c) เข็ม AFM ใช้แล้วที่ปรับปรุงด้วย CNT.....	28
4.10 ภาพ HRTEM ของ CNT หลังกระบวนการ CVD บนแคนทิลเวอร์ใช้แล้ว.....	29
4.11 รามานสเปกตรัมของ CNT ที่สังเคราะห์บนแคนทิลเวอร์ใช้งานแล้ว.....	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12 ภาพ FESEM ของตัวอย่างมาตรฐาน	31
4.13 โลโนโปรไฟล์ของความสูง ระยะห่างระหว่างช่อง และมุมของตัวอย่างมาตรฐาน	31
4.14 ภาพ AFM 2D และ 3D ของตัวอย่างมาตรฐานโดยใช้ เข็มเก่า เข็มใหม่ และเข็มที่ปรับปรุงด้วย CNT.....	33
4.15 โลโนโปรไฟล์ของภาพ AFM ที่ได้จาก (a) เข็มเก่า (b) เข็มใหม่ และ (c) เข็มที่ปรับปรุงด้วย CNT	34
4.16 กราฟแท่งเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความสูง ระยะห่างระหว่าง หลุม และมุมของภาพ AFM ที่วัดจากเข็มแต่ละชนิดเทียบกับค่ามาตรฐานของตัวอย่าง.....	35
4.17 ภาพ FESEM ของเข็มที่ปรับปรุงด้วย CNT (a) ก่อนและ (b) หลังการสแกนภาพ	36