

เซ็นเซอร์โค้งงอจากคาร์บอนนาโนทิวป์และการประยุกต์ใช้งาน

Flex Sensors Based on Carbon Nanotube Films and Their Application



จिरพงษ์ กลิ่นหอม

JIRAPONG KLINHOM

ธนาชาติ เรือนอินทร์

THANACHART RUANIN

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

เซ็นเซอร์โค้งงอจากคาร์บอนนาโนทิวป์และการประยุกต์ใช้งาน

Flex Sensors Based on Carbon Nanotube Films and Their Application



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2561

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เซ็นเซอร์โค้งงอจากคาร์บอนนาโนทิวบ์และการประยุกต์ใช้งาน

Flex Sensors Based on Carbon Nanotube Films and Their Application

ผู้จัดทำ นายจิรพงษ์ กลิ่นหอม รหัสประจำตัว 58010184

นายธนชาติ เรือนอินทร์ รหัสประจำตัว 58010492

ปริญญาโทนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรัชย์ ชัยสิทธิ์ศักดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เซ็นเซอร์โค้งงอจากคาร์บอนนาโนทิวป์และการประยุกต์ใช้งาน
นักศึกษา นายจิรพงษ์ กลิ่นหอม รหัสประจำตัว 58010184
นายธนชาติ เรือนอินทร์ รหัสประจำตัว 58010492
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2561
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรัชย์ ชัยสิทธิ์ศักดิ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาการสังเคราะห์ท่อคาร์บอน (Carbon nanotube, CNT) ด้วยวิธีเทอร์โมลิวต์จากแอลกอฮอล์และมีแหล่งกำเนิดคาร์บอนจาก ferrocene และนำไปประยุกต์ใช้งานในการสร้างเป็น Flexible Sensor โดยได้เปลี่ยนตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อคุณสมบัติ Flex Sensor ได้แก่ ความเข้มข้น ferrocene (0.25-1.0 %) การสังเคราะห์ใช้เวลา 10 ถึง 15 นาที การทรีทเมนต์กระแสไฟฟ้า (100, 300, 500 มิลลิแอมแปร์) การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่อุณหภูมิต่างกัน (40, 50, 60 องศาเซลเซียส) ส่วนประสิทธิภาพการตรวจจับของเซ็นเซอร์สังเคราะห์จากท่อคาร์บอนที่ได้ทำการศึกษา จากวิธีสร้างเซ็นเซอร์ทั้ง 3 แบบ (วิธีปกติ วิธี Fragmentized และวิธี Fragmentized ร่วมกับ Silicone เพียงด้านเดียว) ถูกสร้างขึ้นและวิเคราะห์เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน นอกจากนี้พบว่าซิลิโคน (Polydimethylsiloxane) สามารถใช้เพื่อปกป้องเซ็นเซอร์ของเราจากความชื้นจากภายนอกและฝุ่น เหมาะสมสำหรับการห่อหุ้ม CNT ที่นำมาใช้เป็นเซ็นเซอร์ โดยส่วนการสังเคราะห์ CNTs ที่ความเข้มข้น ferrocene ต่ำนั้นมีความเสถียรที่ดี เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานตามเวลาที่ลดลงแต่ก็มีช่วงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อองศาการงอต่ำ ในทางกลับกันเซ็นเซอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยใช้ความเข้มข้นของ ferrocene สูงจะให้เสถียรภาพที่ไม่ดีเมื่อเวลาผ่านไป แต่มีช่วงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อองศาการงอที่สูง นอกจากนี้ยังพบว่าเสถียรภาพของเซ็นเซอร์สามารถปรับปรุงได้โดยการใช้กระแสไฟฟ้า ส่วนเซ็นเซอร์ที่สังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น ferrocene ต่ำกว่า 1% ความเสถียรของเซ็นเซอร์จะมีมากขึ้นหลังจากใช้กระแสไฟฟ้า 100 ถึง 500 มิลลิแอมแปร์ เป็นเวลา 30 นาที ยิ่งไปกว่านั้น การเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อองศาการโค้งงอของเซ็นเซอร์สามารถปรับปรุงได้โดยใช้วิธี Fragmentized ส่วน เซ็นเซอร์ที่สร้างโดยใช้วิธี Fragmentized (สังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น ferrocene 0.25% เป็นเวลา 5 นาที) มีค่าความต้านทานเริ่มต้นที่ 350 กิโลโอห์ม และความต้านทานเปลี่ยนแปลง 200 กิโลโอห์ม ในขณะที่โค้งงอทำมุม 110 องศา ผลที่ได้คือ ค่าความต้านทานต่อองศาการงอของ

เซ็นเซอร์นั้นดีขึ้น มีค่าการเปลี่ยนค่าความต้านทานต่อค่าองศาการงอของเซ็นเซอร์ (0.545% ต่อองศาการโค้งงอ) ซึ่งมากกว่าเซ็นเซอร์ที่วางจำหน่ายโดยทั่วไป อย่างไรก็ตามวิธี Fragmentized จะส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนแก่เซ็นเซอร์มากขึ้น และในการนำไปใช้งานได้นำ sensor เจื่อนไขการสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น ferrocene 0.5% เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้วิธี Fragmentized 2 ครั้ง มาใช้สร้างอุปกรณ์ตรวจจับองศาการโค้งงอที่บริเวณข้อศอกและนิ้วมือ โดยจะแสดงผลจำนวนครั้งในแต่ละองศาที่โค้งงอจากเซ็นเซอร์ผ่านทางแอปพลิเคชันมือถือแอนดรอยด์



Thesis Title	Flex Sensors Based on Carbon Nanotube Films and Their Application
Student	Jirapong Klinhom student ID : 58010184 Thanachart Ruanin student ID : 58010492
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Sutichai Chaisitsak

ABSTRACT

This project presents the fabrication of resistive flex sensors or bend sensors based on carbon nanotubes (CNTs). The CNT films were synthesized from alcohol using a mist chemical vapor deposition (CVD) method. The effect of various parameters, such as concentration of ferrocene (0.25~1.0 wt.%), synthesis time (10, 15 minutes), electric current treatment (100, 300, 500 mA) and operating temperatures (40, 50, 60 Celsius), on the sensing performance of CNT-based sensors was studied. The three different sensors using a normal method, a fragmentization method and a fragmentization method with one-sided silicone were fabricated and analyzed to measure the resistance changes. We found that Silicone (Polydimethylsiloxane) can be used to protect our sensors from external moisture and dust, making it suitable for packaging CNT-based flex sensors. The sensors fabricated using low ferrocene concentration was good stability due to its slight change in resistance with time, but the change of sensor resistance with bending angle was low. On the other hand, the sensors fabricated using high ferrocene concentration provided poor stability with time, while the change of sensor resistance with bending angle was high. We also found that the stability of the sensors can be improved by electric current treatment. For the sensors fabricated under 1% ferrocene, the stability of the sensor improved after applying an electrical current (100-500 mA) for a long time (30 minutes). Moreover, the bend sensitivity (change in resistance per degree bend) of the sensor can be improved by using fragmentization method. For the sensor fabricated

using fragmented CNT films (synthesized under 0.25% ferrocene for 5 minutes) with an Initial resistance of 350 kOhms, the resistance changed by 200 kOhm at bending angle of 110° was obtained, resulting in improved bend sensitivity. The sensitivity value of our sensors (0.545 %/°bend) is higher than market value. However, the obtained result showed that the fragmentation technique could further increase the error tolerance of the sensors. Finally, the implementation of a fabricated sensors (synthesized at 0.5% ferrocene for 10 minutes, fragmented 2 times) as elbow and finger tracking devices was also presented. The device created can display the measurement results (the number of times the sensor is bent) via the Android mobile application.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการเซ็นเซอร์โค้งงอจากคาร์บอนนาโนทิวป์และการประยุกต์ใช้งาน สำเร็จได้จากการช่วยเหลือและคำแนะนำการให้คำปรึกษาของ รองศาสตราจารย์ ดร. สุธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยช่วยเหลือให้ความรู้ให้คำแนะนำต่างๆ ช่วยแก้ไขปัญหามาให้สำเร็จลุล่วงรวมถึง นาย ชัยนรินทร์ ศิริวรรณางกุลและนายโชคอนันต์กิ่งรุ่งเพชรรุ่นพี่ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำมาโดยตลอดผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณอย่างสูง



จิรพงษ์ กลิ่นหอม
ธนชาติ เรือนอินทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 ประวัติการค้นพบ.....	3
2.2 ลักษณะของคาร์บอนนาโนทิวป์.....	4
2.2.1 คาร์บอนนาโนทิวป์ผนังชั้นเดียว (Single-walled nanotubes : SWNTs).....	5
2.2.2 คาร์บอนนาโนทิวป์ผนังหลายชั้น (Multiple-walled nanotubes : MWNTs).....	5
2.3 โครงสร้างทางวัสดุของคาร์บอนนาโนทิวป์และคุณสมบัติ.....	6
2.4 กลไกการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวป์.....	8
2.4.1 Base Growth.....	8
2.4.2 Tip Growth	8
2.5 การประยุกต์ใช้งาน.....	9
2.6 การสังเคราะห์ CNTs ด้วยวิธี CVD.....	13
2.7 Flexible sensor.....	12
2.8 วงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge).....	13
บทที่ 3 วิธีการทดลอง: ขั้นตอนการสังเคราะห์ CNTs ด้วยวิธี CVD เงื่อนไขการทดลอง และวิธีการ	

สร้างเซ็นเซอร์	18
3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ CNTs ด้วยวิธี CVD และวิธีการทดลอง.....	18
3.1.1 เตรียมสารละลาย.....	18
3.1.2 ติดตั้งFilter.....	18
3.1.3 ทำความสะอาดอุปกรณ์ในส่วนพันละออง.....	19
3.1.4 เชื่อมต่อหลอดทดลองที่มีสารละลายเตรียมทำการทดลอง.....	19
3.1.5 เตรียมเครื่องCVD.....	20
3.1.6 ขั้นตอนการสังเคราะห์.....	22
3.2 ขั้นตอนการสร้าง Sensor.....	22
3.2.1 ขั้นตอนการสร้าง Sensor แบบ silicone.....	23
3.2.2 ขั้นตอนการสร้าง Sensor(Fragmentized) แบบ PDMS.....	23
3.2.3 ขั้นตอนการสร้าง Sensor (fragmentized)+ silicone ด้านเดียว.....	24
3.3) เงื่อนไขการทดลอง.....	24
3.4 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว.....	26
3.4.1 ขั้นตอนการนำอุปกรณ์ไปทดสอบ.....	27
3.4.2 การออกแบบวงจร.....	27
3.5 Diagram แสดงการทำงานของ applications.....	29
3.6 Applications ส่วนคำสั่งและส่วนแสดงผล.....	30
3.7 Diagram แสดงการทำงานของ Program.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	31
4.1 ทดสอบทริทเม้นท์ด้วยกระแสไฟฟ้า.....	31
4.1.1 ทิวป์ที่ปลูกที่ 0.25% ferrocene 15 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้าที่ขนาด ต่างๆ.....	31
4.1.2 ทิวป์ที่ปลูกที่ 0.5% ferrocene 15 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้าที่ขนาด ต่างๆ.....	32
4.1.3 ทิวป์ที่ปลูกที่ 1% ferrocene 15 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้าที่ขนาด ต่างๆ.....	33
4.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่อโค้งงอเซ็นเซอร์.....	34

4.2.1 ทิวป์ที่ปลูกที่ 0.25% ferrocene.....	34
4.2.2 ทิวป์ที่ปลูกที่ 0.5% ferrocene	35
4.2.3 ทิวป์ที่ปลูกที่ 1% ferrocene	36
4.3 กราฟระหว่างความยาวคลื่นแสงกับความโปร่งแสง.....	38
4.4 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเซ็นเซอร์	39
4.4.1 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเซ็นเซอร์ silicon.....	39
4.4.2 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน CNTs on filter.....	41
4.5 ผลของแรงดันไฟฟ้าที่องค์การองต่างๆ	43
4.6 ผลการทำงานของอุปกรณ์ติดตามการงอกที่หัวเข้าโดยใช้ข้อมูลผลของแรงดันไฟฟ้าที่องค์การองต่างๆ	44
4.7 การทดสอบเมื่อใส่ใช้งานจริงและส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชัน.....	45
4.7.1 ทดสอบครั้งที่ 1 งอแขนอยู่กับที่ 8 ครั้ง (ใช้เวลา10 วินาที).....	46
4.7.2 ทดสอบครั้งที่ 2 โค้งงอตามนิ้วมือ (งอค้างที่แต่ละองศาใช้เวลา10 วินาที ทดลอง3ครั้ง).....	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Fullereneแบบต่างๆ.....	3
2.2 Carbon Nanotube.....	4
2.3 การม้วนตัวของคาร์บอนนาโนทิวป์.....	4
2.4 คาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังเดี่ยว.....	5
2.5 คาร์บอนนาโนทิวป์แบบหลายผนัง.....	6
2.6 Unit Vector และทิศทางการหมุน.....	7
2.7 มุมและพิกัดต่างๆ.....	7
2.8 กลไกการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวป์ (a) แบบ Base Growth และ (b) แบบ Tip Growth	9
2.9 ลักษณะ Single-molecule Transistor.....	11
2.10 เซมิคัลเซินเซอร์ที่ใช้คาร์บอนนาโนทิวป์ สำหรับตรวจวัดก๊าซ หรือสารโมเลกุลอื่น.....	11
2.11 เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสจับกับหมู่ Carboxyl ที่ปลายเปิดของคาร์บอนนาโนทิวป์.....	12
2.12 ภาพจาก AFM ของเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสที่ตรึงอยู่บน SWNTs.....	13
2.13 แผนผังอย่างง่ายของระบบCVD.....	14
2.14 การปลูกCNTsด้วยวิธีCVD.....	14
2.15 วงจรวีทส์โตนบริดจ์.....	16
2.16 INA128 วงจรขยายวงจขยายอินสตรูเมนต์ (Instrumentation amplifier).....	16
3.1 เอทานอล , Ferrocene และ เครื่องอัลตราโซนิก.....	18
3.2 Filter.....	19
3.3 ขั้นตอนการทำความสะอาด และอุปกรณ์ต่างๆ.....	19
3.4 อะตอมไมเซอร์(เครื่องทำหมอก) ทดสอบการทำหมอก.....	20
3.5 ด้านบนของเครื่อง CVD ต่อหลอดทดลองกับเครื่อง CVD.....	20
3.6 หมายเลขกำกับจุดต่างๆ.....	21
3.7 เครื่องหล่อเย็น และส่วนควบคุมอุณหภูมิภายในเตา.....	21
3.8 LabVIEW สำหรับควบคุมการไหลของgas.....	21
3.9 การสร้าง Sensor แบบ non fragmentized.....	22

3.10	สร้าง Sensor แบบ fragmented.....	23
3.11	ทดสอบให้กระแสไฟฟ้ากับวัดความต้านทานที่เปลี่ยนไป.....	23
3.12	ทดสอบการโค้งงอของเซ็นเซอร์กับวัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไป.....	25
3.13	ทดสอบวัดผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน.....	25
3.14	ลำดับการทดลองผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน.....	25
3.15	ติดตั้ง Sensor ไว้ตามอุปกรณ์สวมใส่ตามส่วนของร่างกายและการทำงาน.....	26
3.16	วงจรที่ออกแบบ.....	27
3.17	อุปกรณ์ที่สร้าง	27
4.1	ผลของการทรีทเม้นท์ทิวป์ที่ปลุกที่เงื่อนไข 0.25% ferrocene 15 นาที.....	31
4.2	ผลของการทรีทเม้นท์ทิวป์ที่ปลุกที่เงื่อนไข 0.5% ferrocene 15 นาที.....	32
4.3	ผลของการทรีทเม้นท์ทิวป์ที่ปลุกที่เงื่อนไข 1% ferrocene 15 นาที.....	33
4.4	ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงต่อองศาการงอที่เงื่อนไขทิวป์ปลุกที่ 0.25% ferrocene.....	35
4.5	ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงต่อองศาการงอที่เงื่อนไขทิวป์ปลุกที่ 0.5% ferrocene.....	36
4.6	ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงต่อองศาการงอที่เงื่อนไขทิวป์ปลุกที่ 1% ferrocene.....	38
4.7	เซ็นเซอร์ที่ทดสอบความโปร่งแสง.....	38
4.8	กราฟระหว่างความยาวคลื่นแสงกับความโปร่งแสงของเซ็นเซอร์.....	39
4.9	ผลการเปลี่ยนแปลงความต้านตามเวลาของทานเซ็นเซอร์ silicone ที่การเพิ่มไปที่อุณหภูมิต่างๆวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงจากเส้นแนวโน้มหลังจากเวลาผ่านไป 1000s.....	40
4.10	ผลการเปลี่ยนแปลงความต้านตามเวลาของทานเซ็นเซอร์ silicone ที่การลดไปที่อุณหภูมิต่างๆวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงจากเส้นแนวโน้มหลังจากเวลาผ่านไป 1000s.....	40
4.11	ผลการเปลี่ยนแปลงความต้านตามเวลาของ CNTs on filter ที่การเพิ่มไปที่อุณหภูมิต่างๆวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงจากเส้นแนวโน้มหลังจากเวลาผ่านไป 1000s.....	41
4.12	ผลการเปลี่ยนแปลงความต้านตามเวลาของ CNTs on filter ที่การลดไปที่อุณหภูมิต่างๆวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงจากเส้นแนวโน้มหลังจากเวลาผ่านไป 1000s.....	42
4.13	ขณะทดลองวัดแรงดันเอาท์พุทกับการงอที่องศาต่างๆ.....	43

4.14 ผลการร่งผ่านการโทรศัพท์มือถือขณะที่จอเซ็นเซอร์ด้วยเครื่องงอ.....	44
4.15 หน้าจอการแสดงผลการทดสอบ.....	45
4.16 ทำทางการเคลื่อนไหวทดสอบงอขา (a) ขณะยึดแขนตรง (b) ขณะงอแขน เล็กน้อย (c) ขณะงอแขนตั้งฉาก (d) ผลการทดสอบ.....	46
4.17 การทดสอบและผลการทดสอบครั้งที่ 2 โค้งงอตามนิ้วมือ (a)งอ40องศา ทดลอง 3 ครั้ง ครั้งละ10วินาที (b)งอ50องศา องศา ทดลอง 3ครั้ง ครั้งละ10วินาที (c)งอ60 องศา องศา ทดลอง 3ครั้ง ครั้งละ10วินาที.....	48



บทที่ 1

บทนำ

1.1) ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทสำคัญทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและวิศวกรรม มากยิ่งขึ้น การพัฒนาเทคโนโลยีในระดับนาโนจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและกำลังได้รับความสนใจ และหนึ่งในนั้นคือ ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube, CNTs) ที่มีรูปร่างคล้ายท่อกลวงของโครงสร้าง ร่องแหดหายขนาดเล็ก สร้างมาจากคาร์บอนโดยเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อดังกล่าวอยู่ในระดับนาโน เมตร (ประมาณ 1 ถึง 15 นาโนเมตร) และมีความยาวถึงประมาณ 10 ไมโครเมตร ท่อนาโนคาร์บอน จึงเป็นวัสดุที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางหลายพันเท่า ส่งผลให้มีคุณสมบัติที่แข็งแรง กว่าเหล็กกล้า แต่ในขณะเดียวกันก็มีความยืดหยุ่นและน้ำหนักเบา สมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญอย่างมาก ของท่อนาโนคาร์บอนคือมีทั้งที่เป็นตัวนำไฟฟ้าและกึ่งตัวนำไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถนำความร้อน ที่ดีอีกด้วย จึงมีความเหมาะสมในการนำท่อนาโนคาร์บอนไปใช้ประโยชน์ในงานในประเภทอื่นๆเช่น การทำชิพในเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำสายเคเบิลอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์วัดระดับสารเคมี เป็นต้น

เซ็นเซอร์โค้งงอ (Flex sensor, Angle sensor) เป็นเซ็นเซอร์ที่ตอบสนองต่อแรงภายนอก ที่มากระทำด้วยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าหรือความต้านทานไฟฟ้า เซ็นเซอร์นี้ถูกใช้เป็น เซ็นเซอร์สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้สำหรับวัดการเคลื่อนไหวเพื่อประยุกต์ใช้ ใช้งานอย่าง หลากหลายไม่จำกัดเฉพาะการทดลองและการวิจัยเท่านั้นแต่ยังถูกนำมาใช้ในการวัดและการควบคุม ทาง เช่นใช้ในอุตสาหกรรม ใช้ในวิดีโอเกม ใช้กับอุปกรณ์การแพทย์ มีวัสดุหลากหลายที่สามารถใช้ เป็นเซ็นเซอร์โค้งงอได้แต่อย่างไรก็ตามวัสดุเหล่านั้นมีข้อจำกัดในการใช้งานและการพัฒนาเซ็นเซอร์ โค้งงอที่ทำจากโครงสร้างธรรมดาทั่วไปที่จะให้ผลที่มีคุณภาพดีจะทำได้ยากโดยเซ็นเซอร์ทั่วไปมีช่วง การเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต (Dynamic) ที่แคบ มีความแข็งและเปราะมีความยืดหยุ่นต่ำการไม่ สามารถให้การตอบสนองที่ดี

คาร์บอนนาโนทิวป์ (CNTs) เป็นหนึ่งในวัสดุใหม่ที่จะเอาชนะข้อจำกัดเหล่านี้ เมื่อนำมา สร้างร่วมกับโครงสร้างที่เหมาะสมจะทำให้ได้คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพเป็นเซ็นเซอร์โค้งงอ ที่มีคุณภาพสูงกว่าท้องตลาด (Sensitivity สูงกว่า) และมีความยืดหยุ่นสูง มีความโปร่งแสง ซึ่งจะทำให้สามารถใช้งานได้หลากหลายกว้างมากขึ้น ผู้จัดทำจึงศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวป์ ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการสังเคราะห์และปรับปรุงเซ็นเซอร์โค้งงอจากคาร์บอนนาโนทิวป์ให้มี ประสิทธิภาพสูงสุดและนอกจากนี้ ผู้จัดทำยังได้นำเซ็นเซอร์โค้งงอจากฟิล์มคาร์บอนนาโนทิวป์ มา ประยุกต์โดยการจะนำมาเป็นเซ็นเซอร์ในการวัดองศาการเคลื่อนไหว เนื่องจากการเดินเป็นท่า เคลื่อนไหวที่มากที่สุดในประจำวัน ผู้คนบางกลุ่มอาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับท่าทางการเดิน และวิ่ง ซึ่ง

เป็นในส่วนหนึ่งของการออกกำลังกายและการใช้ชีวิต และเพื่อให้ทราบถึงการเคลื่อนด้วยท่าทางที่ถูกต้อง เพื่อนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้มาแสดงผลผ่านโทรศัพท์มือถือ และนำไปปรับปรุงท่าทางการเดินหรือพัฒนาการเคลื่อนไหวร่างกายในส่วนอื่นต่อไป

1.2) วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาวิธีการสังเคราะห์คาร์บอนทิวป์ด้วยวิธี Chemical vapor deposition (CVD)
2. สร้าง วิเคราะห์และปรับปรุง Flexible Sensor จากฟิล์มคาร์บอนนาโนทิวป์
3. นำ Flexible Sensor จากฟิล์มคาร์บอนนาโนทิวป์มาประยุกต์ใช้งาน

1.3) ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาคุณสมบัติการสังเคราะห์ของ คาร์บอนนาโนทิวป์ เพื่อหาเงื่อนไขในการพัฒนาเซ็นเซอร์จากคาร์บอนนาโนทิวป์ โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือ ความเข้มข้น Ferrocene (0.2-1.0 %), เวลา(10-90นาที) , การทรีทเม้นท์กระแสไฟฟ้า (100 300 500 mA) การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่อุณหภูมิต่างกัน (40,50,60 Celsius) วิธีการสร้างเซ็นเซอร์3แบบ(วิธีปกติ วิธีFragmentized และวิธีfragmentized+PDMSด้านเดียว)
2. วิเคราะห์และปรับปรุงเซ็นเซอร์ด้วยตัวแปรและวิธีต่างๆข้างต้นที่ส่งผลให้ได้เซ็นเซอร์ที่เสถียรและตอบสนองเร็วมีความยืดหยุ่นและโปร่งแสง
3. ใช้โปรแกรม MIT appinverter เพื่อสร้าง Applications แสดงผลการเคลื่อนไหวของร่างกายผ่านการตรวจจับของเซ็นเซอร์

1.4) ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เซ็นเซอร์โค้งงอจากคาร์บอนนาโนทิวป์ที่มีประสิทธิภาพสามารถใช้งานได้
2. ได้ศึกษาและเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลกระทบและคุณสมบัติของ CNTs ดีขึ้นเพื่อเป็นการต่อยอดงานวิจัยต่อไปในอนาคต
3. นำมาประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์ตรวจจับลักษณะการเคลื่อนไหวบริเวณที่ร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะโค้งงอไม่ว่าจะเป็นการใช้การโค้งงอข้อศอกการขยับนิ้วมือเพื่อใช้ในงานด้านสุขภาพหรือvirtual motionต่อไปและประมวลผลส่งมาแสดงจำนวนองศาที่โค้งงอผ่านทาง Applications ทางโทรศัพท์ระบบปฏิบัติการ android

บทที่ 2

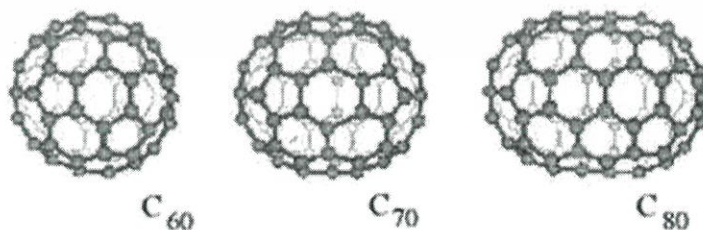
หลักการและทฤษฎี

คาร์บอนเป็นธาตุที่พบมากที่สุดในสิ่งมีชีวิตคาร์บอนมีความพิเศษเนื่องจากเกิดพันธะได้หลายรูป แบบ อาทิ พันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม โดยที่คาร์บอนมีสี่โคออดิเนชัน กล่าวคือมีอิเล็กตรอนวงนอกหรือวาเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่สี่ตัว เป็นธาตุที่มีขนาดเล็กที่สุดในหมู่เดียวกัน คาร์บอนที่ถูกนำมาใช้ในหลายรูปลักษณะ เช่น ไลต์ดินสอ วัสดุ กรอง วัสดุหล่อลื่นวัสดุแยกสารในคอลัมน์ของเครื่องโครมาโทกราฟี สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในงานโลหะหรือเพชรที่ทรงคุณค่าและอีกมากมาย[27]

คาร์บอนนาโนทิวป์คือวัสดุชนิดใหม่ที่ถูกค้นพบเมื่อประมาณ 40 ปีก่อนเป็นที่สนใจอย่างมากแก่นักวิจัยในปัจจุบัน ซึ่งมีคุณสมบัติที่น่าสนใจหลายประการเช่นคุณสมบัติการนำไฟฟ้า ความแข็งแรงดึงไฟเบอร์ เป็นเซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน โซล่าเซลล์ หรือกระทั่งอุปกรณ์การแพทย์ และยังคงอยู่ในช่วงเวลาแห่งการค้นคว้าที่ยังมีโอกาสอีกมากให้ศึกษาคุณสมบัติที่เก็บซ่อนอยู่เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

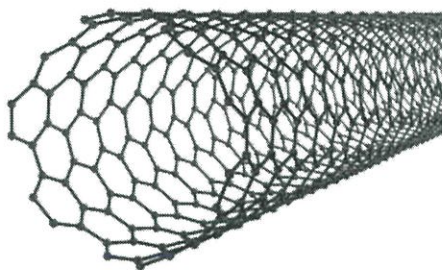
2.1) ประวัติการค้นพบ.[36]

ในปี ค.ศ. 1976 Morinobu Endo ได้ค้นพบวิธีการสังเคราะห์เส้นใยคาร์บอนที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรหลังจากนั้น ในปี ค.ศ. 1985 นักวิทยาศาสตร์รางวัลโนเบล 3 ท่านได้แก่ Richard Smalley, Harold Kroto และ Robert Curl (ได้รับรางวัล Nobel สาขาเคมี ในปี ค.ศ. 1996) ได้ค้นพบโครงสร้างของคาร์บอนที่มีขนาดเล็กและเรียกมันว่า Fullerene ซึ่งมีรูปร่างหลายแบบ เช่น ทรงกลม (Bucky balls) และท่อ (Nanotubes) เป็นต้น ในปี ค.ศ. 1991 นักฟิสิกส์ชาวญี่ปุ่น Sumio Iijima ได้ตรวจสอบการทดลองของ Kratschmer-Huffman ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ TEM สังเกตเห็นโครงสร้างเส้นกลวงหนาจากฝุ่นผงคาร์บอน ซึ่งในภายหลังในปี 1991 เขาได้สรุปว่าสิ่งที่พบมีลักษณะเป็นดังโครงสร้าง Buckminsterfullerene ที่มีลักษณะแบ่งครึ่งและยืดยาว[24,40]



รูปที่ 2.1 Fullereneแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

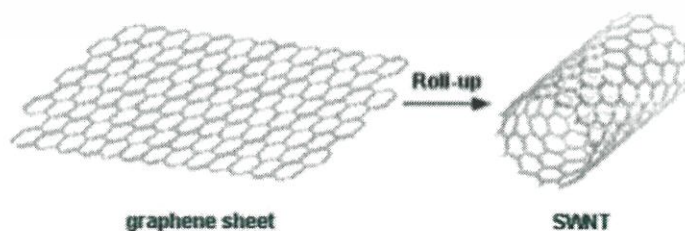


รูปที่ 2.2 Carbon Nanotube

2.2) ลักษณะของคาร์บอนนาโนทิวป์.[36]

คาร์บอนนาโนทิวป์นั้นประกอบขึ้นจากธาตุคาร์บอน เช่นเดียวกับ เพชร กราไฟท์ เถ้าถ่าน และฟูลเลอเรนซ์ หรือ C_{60} (รูปที่2.1a) แต่จะมีโครงสร้างการจัดเรียงอะตอมที่แตกต่างกัน กล่าวคือ เพชรมีโครงสร้างของอะตอมคาร์บอนล้อมรอบอะตอมอื่นอยู่ 4 ตัว เกิดเป็นโครงสร้างโครงตาข่ายสามมิติจากการเชื่อมต่อของพันธะโควาเลนต์ของคาร์บอนจึงทำให้เพชรมีความแข็งแกร่งและ คงทนมาก ขณะที่กราฟไฟท์มีอะตอมคาร์บอนล้อมรอบอะตอมอื่นอยู่เพียง 3 ตัว พันธะโควาเลนต์ ของคาร์บอนเชื่อมต่อกันเป็นรูปหกเหลี่ยมคล้ายกับรังผึ้งหรือตาข่าย เรียงกันเป็นแผ่นในระนาบเดียวกัน เรียกว่าแผ่นกราฟีนและมีพันธะเชื่อมต่อรหว่างระนาบเป็นชั้นๆ พันธะของคาร์บอนใน ระนาบเดียวกันของแผ่นกราฟีนนั้นแข็งแกร่งมาก แต่พันธะระหว่างระนาบไม่แข็งแรงมากนัก และเลื่อนไหลได้ ส่วนเถ้าถ่านจากการเผาไหม้จะมีโครงสร้างคล้ายกราฟไฟท์ แต่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบหรือที่เรียกว่า “คาร์บอนอสัณฐาน หรือ Amorphous carbon” และ Fullerene หรือ C_{60} มีโครงสร้างของคาร์บอนที่จัดเรียงตัวเป็นทรงกลมคล้ายลูกฟุตบอล ซึ่งต่างจากคาร์บอนนา โนทิวป์ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นท่อกลวงที่เกิดจากการม้วนของแผ่นกราฟีน

ลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวป์ กล่าวอย่างง่าย ๆ คือ แผ่นกราฟีนม้วนปิดเป็น ท่อทรงกระบอก (รูปที่2.2) ซึ่งคาร์บอนนาโนทิวป์ นั้นเป็นโมเลกุลที่มีรูปร่างคล้ายท่อกลวงของ โครงสร้างร่างแหตาข่ายขนาดเล็ก สร้างมาจากคาร์บอน เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อดังกล่าวอยู่ใน ระดับนาโนเมตร (ประมาณ 1 ถึง 15 นาโนเมตร) และมีความยาวตั้งแต่ระดับนาโนเมตร จนถึง ระดับ เซนติเมตร คาร์บอนนาโนทิวป์ จึงเป็นวัสดุที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง หลายล้านเท่า



รูปที่ 2.3 การม้วนตัวของคาร์บอนนาโนทิวป์

ท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ อาจแบ่งออกเป็นสองชนิดหลักๆ ตาม จำนวนชั้นของผนังท่อคือ ถ้าท่อมีผนังชั้นเดียวจะเรียกว่า ท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังชั้นเดียว (Single-Walled Nanotubes : SWNTs) ส่วนท่อที่มีผนังหลายชั้นจะเรียกว่า ท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังหลายชั้น (Multiple-Walled Nanotubes : MWNTs) ส่วนใหญ่ขนาดของท่อที่สังเคราะห์ได้พบว่ามีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ ตั้งแต่ 0.4 นาโนเมตรไปจนถึงหลายร้อยนาโนเมตร และมีความยาวตั้งแต่ระดับนาโน เมตรไป จนถึงหลายเซนติเมตร และเป็นที่น่าสนใจว่าในกรณี ท่อนาโนคาร์บอนแบบมีผนังหลาย ชั้นนั้น ระยะห่างระหว่างแต่ละชั้นจะเท่ากับ 0.34 นาโนเมตร ซึ่งระยะนี้มีค่าประมาณระยะห่าง ระหว่างชั้นของกราฟไฟท์

2.2.1 คาร์บอนนาโนทิวป์ผนังชั้นเดียว (Single-walled nanotubes : SWNTs)

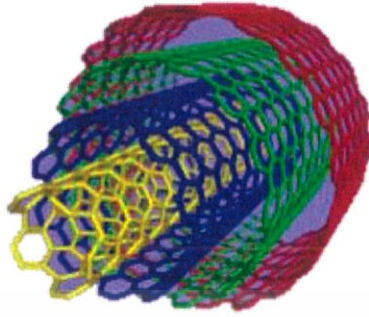
จะมีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกับแผ่นกราฟไฟท์ที่ม้วนตัวเกิดเป็นท่อทรงกระบอกกลวง ท่อคาร์บอนนาโนทิวป์จึงมีผนังของอะตอมคาร์บอน ที่จัดเรียงพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอม เป็นวงแหวนหกเหลี่ยมที่ปลายของท่ออาจจะปิดด้วยวงแหวนห้าเหลี่ยมของคาร์บอน ที่มี โครงสร้างคล้ายครึ่งหนึ่งของฟูลเลอร์เร็นซ์ หรืออาจจะเปิดก็ได้ดังรูปที่ 2.2.1



รูปที่ 2.4 คาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังเดี่ยว

2.2.2 คาร์บอนนาโนทิวป์ผนังหลายชั้น (Multiple-walled nanotubes : MWNTs)

ผนังของท่อมีลักษณะซ้อนกันคล้ายกับการซ้อนท่อเล็กในท่อใหญ่โดยมีจุดศูนย์กลางภาคตัดขวางของท่อเป็นจุดเดียวกันและมีระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 0.34 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 คาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังหลายชั้น

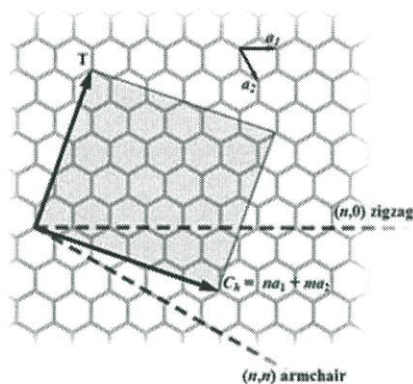
2.3) โครงสร้างทางวัสดุของคาร์บอนนาโนทิวป์และคุณสมบัติ.[36]

ในด้านของคุณสมบัตินั้น CNT มีศักยภาพหลากหลายดังเช่นความนำไฟฟ้าซึ่งมีคุณสมบัติอยู่ระหว่างโลหะและเซมิคอนดักเตอร์ซึ่งมีความซับซ้อนอย่างมากขึ้นอยู่กับโครงสร้างของตัว CNT ที่เป็นวงเรียกว่า Rope ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงฉับพลันตามโครงสร้างของ Rope ท่อนาโนคาร์บอนเป็นวัสดุระดับนาโนที่มีความยาวโดดเด่นออกไปในหนึ่งมิติ (1D Nanomaterial) อะตอมในโครงสร้างอยู่ที่ผิวทั้งหมด ทำให้มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสูงเนื่องจากอะตอมที่ผิว สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวได้ทุกอะตอมมีการจัดเรียงตัวหลายแบบขึ้นกับทิศทางของการม้วนแผ่นแกรฟีนซึ่งอธิบายด้วยแฟกเตอร์ของการเป็นเกลียว (chiral factor: c) ตามสมการที่ 2.3 แบ่งออกได้เป็นท่อนาโนคาร์บอน แบบอาร์มแชร์ (armchair) ไครอล (chiral) และซิกแซก (zigzag) [27]

$$\vec{C} = n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2 \quad (2.3)$$

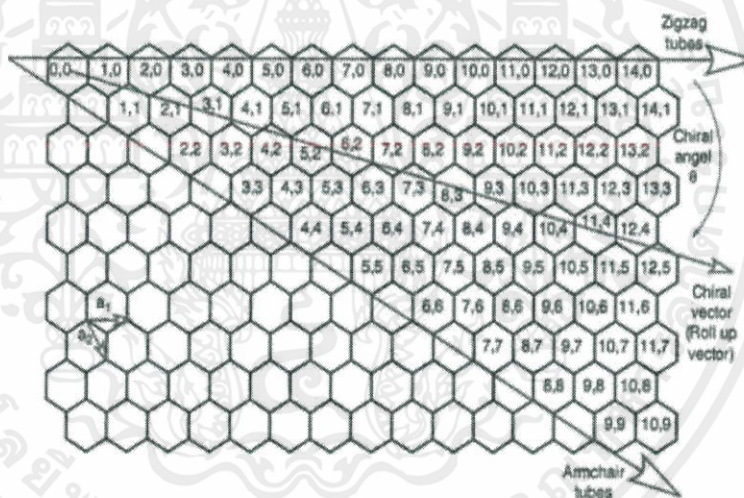
โดยที่ \vec{a}_1 และ \vec{a}_2 เป็นเวกเตอร์หน่วยเซลล์ของแกรฟีนโดยที่ n และ m เป็นเลขจำนวนเต็มซึ่งถ้ามีตัวเลขมากๆ จะทำให้ได้ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางใหญ่ตามด้วยเวกเตอร์ a_1 และ a_2 มีขนาดเท่ากันคือ 0.246 nm ทำมุมต่อกัน 60 องศา สมการที่ 1.2 สามารถเขียนอย่างย่อคือ (n,m) การม้วน C เป็นเส้นรอบวงโดยให้ตำแหน่งปลายลูกศร (n,m) ซ้อนทับกับตำแหน่งเริ่มต้น $(0,0)$ พอดี จะได้ลักษณะท่อ 3 แบบ คือ

- (1) Zigzag $(n,0)$ เมื่อ $\theta = 0$
- (2) Chiral (n,m) เมื่อ $0 > \theta < 30$
- (3) Armchair (n,n) เมื่อ $\theta = 30$



รูปที่ 2.6 Unit Vector และทิศทางกรงหมุน[30]

ถ้าหาก $(n-m)$ ทหารด้วย 3 ลงตัว ได้ท่อที่นำไฟฟ้าแบบโลหะ (Metallic type) แต่ถ้าเหลือเศษ 1 หรือ 2 ได้ท่อที่นำไฟฟ้าแบบกึ่งตัวนำ (Semiconducting type) ดังนั้นในจำนวน $1/3$ ของโครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะนำไฟฟ้าได้ดีแบบโลหะ และที่เหลืออีก $2/3$ นำไฟฟ้าแบบกึ่งตัวนำ หากพิจารณาเฉพาะโครงสร้างแบบ Armchair หรือเฉพาะกรณีที่ $n=m$ จะได้ท่อทุกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนำไฟฟ้าแบบโลหะ[29]



รูปที่ 2.7 มุมและพิกัดต่างๆ

โดยทั่วไป Ropeจะมีคุณสมบัติความต้านทาน 10^{-4} $\Omega\text{-cm}$ ที่ 27°C ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์ที่นำไฟฟ้าได้ดีที่สุด ส่วนความหนาแน่นของกระแสอยู่ระหว่าง $10^7\text{-}10^{13}$ A/cm^2 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดทางทฤษฎี มีคุณสมบัติด้านความบกพร่องของโครงสร้างก็สามารถนำมาเป็นคุณสมบัติในการสร้าง ทรานซิสเตอร์เรกติไฟอิงไดโอด และไม่นานนี้ได้มีการนำไปใช้เป็นตัวปล่อยสัญญาณที่มีความถี่ถึง 10 GHz คุณสมบัติด้านความแข็งแรงและความยืดหยุ่นนั้นความแข็งแรงของ CNT แข็งยิ่งกว่าเหล็กและยังทนต่อแรงกระทำภายนอก และที่ปลายของCNTมีคุณสมบัติกลับคืนสู่รูปเดิมได้เมื่อได้รับแรงจากภายนอก จึงเหมาะแก่การใช้ทำ Probe microscope ด้านคุณสมบัตินำความร้อนนั้นCNT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นหนึ่งในวัสดุที่ดีที่สุดตัวหนึ่งด้วยการจับตัวของโครงสร้างพันธะระหว่าง C-C ดังเช่น กราฟไฟต์ทำให้มีความแข็งแรงทนต่อแรงกระทำทางความเค้นและแทบไม่ขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิ งานวิจัยใหม่ยืนยันถึงศักยภาพทางกลของ โพลีเมอร์ที่มีCNTจะมีศักยภาพสูงกว่าโพลีเมอร์ทั่วไป คุณสมบัติทางแสงมีการใช้งานในระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4-40 nm แต่ความยาวอาจสามารถไปได้ถึง 55.5 cm อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางคือ 132,000,000:1 ซึ่งไม่เหมือนวัสดุชนิดใดๆ แต่ยังอยู่ในการทดลองเพื่อนำมาใช้งานติดปัญหาการเลือกแถบความถี่การดูดซับการตรวจจับและปล่อยแสง เพื่อใช้งานเป็น Photo detector LEDs เป็นต้น

2.4) กลไกการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวป์^[27]

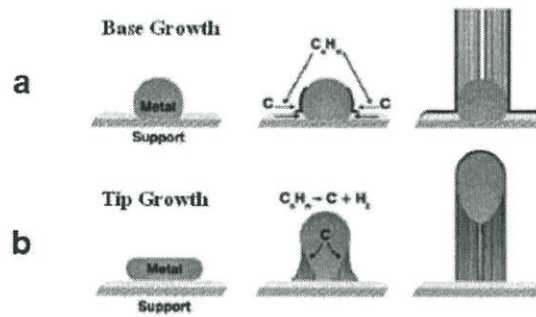
กลไกการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวป์นั้น ยังไม่สามารถสรุปได้เป็นที่แน่ชัด และยังคง เป็นหัวข้อให้ถกเถียงกันในปัจจุบัน ซึ่งกลไกการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์ อาจจะถูกเปิดเผยขึ้นใน ระหว่างที่คาร์บอนนาโนทิวป์ก่อตัวขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกลไกการเกิดอาจแบ่งได้ 2 ลักษณะตาม ลักษณะการก่อตัวเป็นคาร์บอนนาโนทิวป์คือ กลไกการเกิดแบบ Base Growth และกลไกการเกิด แบบ Tip Growth ซึ่งจะมีความแตกต่างกันโดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.4.1 Base Growth

จะเป็นการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์ ในลักษณะที่อะตอมคาร์บอนทำปฏิกิริยากับโลหะ ตัวเร่งปฏิกิริยาลอยขึ้นด้านบนของโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาก่อตัวเป็นคาร์บอนนาโนทิวป์ โดยในอุณหภูมิที่สูงพอเหมาะจะทำให้อะตอมคาร์บอนแตกตัวออกมาจากแหล่งกำเนิดคาร์บอน และ อุณหภูมิที่สูงพอนี้ จะทำให้โลหะตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในสถานะของเหลว อะตอมคาร์บอนที่แตกตัว ออกมาจากแหล่งกำเนิดคาร์บอนก็จะไปทำปฏิกิริยากับโลหะตัวปฏิกิริยา และเนื่องจากอุณหภูมิ ด้านล่างของโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีอุณหภูมิสูงกว่าด้านบน ทา ให้อะตอมคาร์บอนที่เข้าไปทำปฏิกิริยาลอยขึ้นด้านบน ก่อเป็นคาร์บอนนาโนทิวป์ ดังรูปที่ 2.4a

2.4.2 Tip Growth

เป็นการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์ ในลักษณะที่อะตอมคาร์บอนทำปฏิกิริยากับโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาก่อตัวเป็นคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ด้านล่างของโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้มีโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ปลายท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ โดยในอุณหภูมิที่สูงพอเหมาะจะทำให้อะตอมคาร์บอน แตกตัวออกมาจากแหล่งกำเนิดคาร์บอน และที่อุณหภูมิสูงนี้จะทำให้โลหะตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ใน สถานะของเหลว อะตอมคาร์บอนที่แตกตัวออกมาจากแหล่ง กำเนิดคาร์บอนก็จะไปทำปฏิกิริยากับ โลหะตัวปฏิกิริยา และเนื่องจากอุณหภูมิของโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาจะสูงกว่าด้านล่างทำให้อะตอม คาร์บอนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาตกลงมาด้านล่างของโลหะตัวเร่ง ก่อเป็น คาร์บอนนาโนทิวป์ ดังรูปที่ 2.4b



รูปที่ 2.8 กลไกการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวป์ (a) แบบ Base Growth และ (b) แบบ Tip Growth

2.5) การประยุกต์ใช้งาน.^{[16],[36]}

มีการใช้งานการผสมวัสดุทั้งหลายเข้ากับ CNT จำนวนมากและมีการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ เช่น จักรยาน Swiss bicycle พวกอุปกรณ์กีฬาทั้งหลาย Tennis racket ตัวเครื่องรถจักรยานยนต์ เป็นต้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจาก คุณสมบัติเด่นหลายประการด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น เป็นได้ทั้งตัวนำและกึ่งตัวนำ มีความแข็งแรงสูง เบา และมีความยืดหยุ่นที่ดี สามารถจับยึด โมเลกุลและดูดซับก๊าซได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาคาร์บอนนาโนทิวป์ไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆในสาขาของนาโนเทคโนโลยี ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1) ใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุอื่นๆ

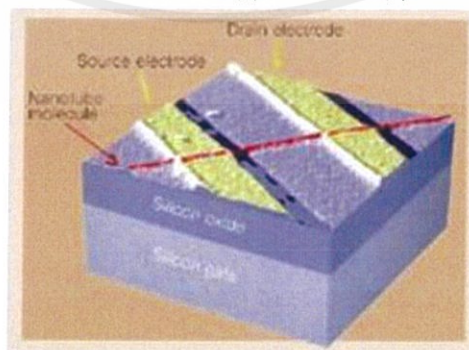
การนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในวัสดุผสมหรือวัสดุคอมโพสิต เพราะด้วยคุณสมบัติที่มันมีน้ำหนักเบา ราคาถูก และมีความยืดหยุ่นสูงซึ่งจะไม่แตกหักง่าย อีกทั้งยังสามารถหดโค้งงอได้เหมือนสปริง เมื่อออกแรงกดแล้วสามารถคืนรูปสู่สภาพเดิมได้ทำให้ได้วัสดุคอมโพสิต ที่มีคุณสมบัติพิเศษคือจะแข็งแรงกว่าพวกไฟเบอร์ทั้งหลายเท่าที่เคยมีมา จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างมาก เช่น เป็นส่วนประกอบในรถยนต์ เครื่องบิน สิ่งปลูกสร้างต่างๆ หรือแม้กระทั่งใช้ทำเส้นใยเกราะกันกระสุน เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังสามารถเอาไปใช้ทำเป็นหลอดทดลองขนาดนาโนเพื่อเก็บของเหลวบางอย่าง หรือทำเป็นเส้นใยคาร์บอนนาโนทิวป์ (Nan ceramic fibers) ได้ NASA สามารถสังเคราะห์คอมโพสิตของ SWNT-polyimide ที่สามารถเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพทั้งความแข็งแรง การทนอุณหภูมิ และการนำไฟฟ้า ซึ่งทั้งหมดนี้มีความสำคัญมาก สำหรับวัสดุประกอบเครื่องบินและยานอวกาศ กล่าวอย่างง่ายคือ คาร์บอนนาโนทิวป์ สามารถช่วยเสริมความแข็งแรง (reinforce) ของวัสดุเดิมให้มากยิ่งขึ้น น้ำหนักเบา และสามารถสร้างได้หลายรูปแบบได้แก่ ฟิล์มบาง ไฟเบอร์ โฟม สารเคลือบ และ ผง เป็นต้น

2) ประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน

เนื่องจากคาร์บอนนาโนทิวบ์มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกับความยาวน้อยมากๆ (ค่า Respect-ratio สูง) ทั้งยังสามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีทำให้คาร์บอนนาโนทิวบ์ มีเสถียรภาพที่ดีและทำให้คาร์บอนนาโนทิวบ์ สามารถจ่ายอิเล็กตรอนได้โดยใช้แรงขับเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ จึงเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน นักวิจัยชาวญี่ปุ่นชื่อยาฮาชิ ซาโตะ (Yahachi Saito) สามารถประดิษฐ์จอภาพแบบรังสีแคโทด ที่ใช้ในจอทีวี หรือจอ คอมพิวเตอร์ โดยใช้คาร์บอนนาโนทิวบ์แทนโลหะในส่วนที่เป็น ขั้วในตัวหลอดสำหรับจ่ายลำอิเล็กตรอนด้วยคุณสมบัติที่เหนือกว่าคือมันให้ความสม่ำเสมอให้ปริมาณที่เพียงพอ และมีอายุการใช้งานของการจ่ายอิเล็กตรอนนานกว่า นอกจากนั้นแล้วยังไม่จำเป็นต้องใช้ในสุญญากาศและยังเป็นการประหยัด พลังงาน เนื่องจากมันสามารถจ่ายอิเล็กตรอนได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่จำเป็นต้องเผาไส้หลอดให้ แดง อย่างกรณีการใช้ โลหะ ซึ่งตัวอย่างนี้อาจจะกำลังพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการค้าชิ้นแรก ของญี่ปุ่นที่ได้มาการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากคาร์บอนนาโนทิวบ์

3) ประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

จากไมโครอิเล็กทรอนิกส์ในระดับหนึ่งไมโครเมตร ถ้าก้าวต่อไปเป็นนาโนอิเล็กทรอนิกส์ นั่นคือต้องลดขนาด Component ลง 10 ถึง 1000 เท่าจากเดิม ดังนั้นกระบวนการที่ค้น ของ อิเล็กทรอนิกส์ component ขนาด นาโนทั้งทรานซิสเตอร์ ไดโอด รีเลย์ และลอจิกเกตต้องเปลี่ยนใหม่ เช่น ทรานซิสเตอร์จากเดิมระดับไมครอนที่เป็นซิลิคอนเคมีคอนดักเตอร์ ต้องหันมา ใช้ โครงสร้างโมเลกุลอินทรีย์ (Organic molecules) หรือนินทรีย์ (Inorganic) ในระดับนาโนมีการใช้ คาร์บอนนาโนทิวบ์ เป็นช่อง (Channel) อิเล็กตรอนผ่านระหว่าง source-drain เป็น อิเล็กโทรด สำหรับ Field-effect transistor (FET) (รูปที่ 2.5.3) โดยสามารถควบคุมการเปิด-ปิด สวิตช์ ด้วย voltage gate ตามปกติ แต่สิ่งที่แตกต่างจากซิลิคอนFETs ทั่วไปคือ ขนาด และการนำไฟฟ้าผ่าน คาร์บอนนาโนทิวบ์ นี้สูงมากกว่าถึง 1 ล้านเท่าด้วยกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าและให้ Clock speed ใน ระดับสูงกว่าถึง 1 Tera Hz รวมถึงการสร้างลอจิกเกตด้วย CNTs-FET โดยมีการโต้ปด้วย สาร เพื่อที่จะเติมหรือเอาอิเล็กตรอนออกทำให้ได้ N-Typeหรือ P-Type เกิดขึ้น



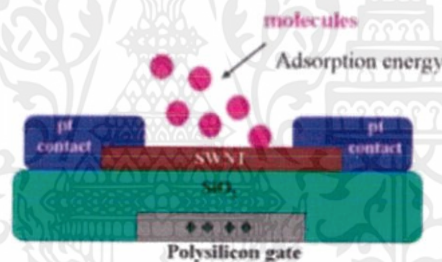
รูปที่ 2.9 ลักษณะ Single-molecule Transistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้จะสามารถสร้างอุปกรณ์เหล่านั้นได้ในระดับนาโนแต่สิ่งที่ท้าทายกว่าคือการเชื่อมต่อ (Wire) อุปกรณ์เหล่านี้เข้าด้วยกัน เพื่อจะปฏิบัติการเชิงคณิตศาสตร์หรือลอจิกได้ จึงเกิดแนวคิดที่ต้องทำให้คาร์บอนนาโนทิวป์เป็นทั้งตัวเชื่อมและเป็นอุปกรณ์ในทีเดียว อย่างไรก็ตาม สิ่งนี้ยังไม่รวมถึงในระดับโครงสร้างของระบบวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์หรือระบบการทำงานอิสระอื่นๆ

4) นำไปสร้างเป็นนาโนโพรบ (Probe) และเซ็นเซอร์

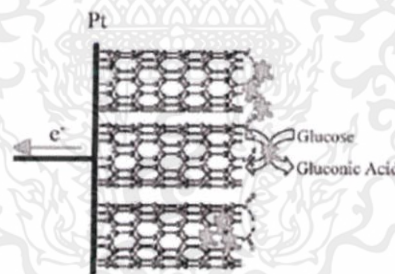
การที่คาร์บอนนาโนทิวป์ สามารถทำให้อยู่ในรูปของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) และ ในขณะเดียวกันสารกึ่งตัวนำตอบสนองต่อสารพวกอัลคาไลน์ ฮาโลเจน และ ก๊าซต่างๆได้ โดยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อเป็น Semiconducting CNTs จะ สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงความต้านทานได้ดีขึ้นอย่างมาก ทำให้เซ็นเซอร์ที่ใช้คาร์บอนนาโนทิวป์ นี้มีความไวมากขึ้น ซึ่งก็มีการพัฒนาเป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัด Cytochrome , Methane , Krypton และ โมเลกุลของ Alkylamine แบบสารกึ่งตัวนำ เป็นต้น ลักษณะภาพของไดอะแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



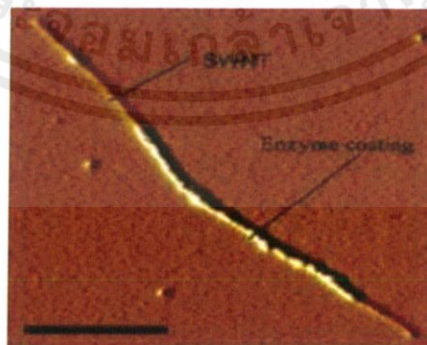
รูปที่ 2.10 เซมิคัลเซ็นเซอร์ที่ใช้คาร์บอนนาโนทิวป์ สำหรับตรวจวัดก๊าซ หรือสารโมเลกุลอื่น

แต่การประยุกต์ใช้คาร์บอนนาโนทิวป์เป็นเซ็นเซอร์แบบนี้มีปัญหา คือไม่สามารถแยกชนิดของก๊าซที่ความเข้มข้นต่ำได้และยังไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และความเร็วก๊าซที่ไหลผ่าน ทำให้ขาดความสามารถเชิงจำเพาะ แนวทางสำหรับการประยุกต์เชิงเซ็นเซอร์ให้ดีขึ้นสามารถทำได้ด้วยเหตุที่คาร์บอนนาโนทิวป์ สามารถ Functionalize (เช่นหมู่ -OH และ -COOH เป็นต้น) ได้ ทำให้สามารถตรึงด้วยสารทางชีวภาพได้แก่ โปรตีน เอนไซม์ หรือ ดีเอ็นเอ จึงสามารถนำคาร์บอนนาโนทิวป์ ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับงานด้านไบโอเซ็นเซอร์ เพื่อประโยชน์ในการวินิจฉัยทางการแพทย์ หรือใช้ในการตรวจวิเคราะห์สารต่าง ๆ ได้โดยคาร์บอนนาโนทิวป์ มีพื้นผิวสำหรับการตรึงสารทางชีวภาพสูงทำให้สามารถเพิ่มขนาด สัญญาณได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีของไบโอเซ็นเซอร์เดิม การตรึงสารทางชีวภาพบนคาร์บอนนาโนทิวป์นั้นมีหลายวิธี ได้แก่ การทำ simple adsorption ที่ช่องของปลายเปิดหรือผนังด้านนอกของ คาร์บอนนาโนทิวป์ (วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและ

สะดวกแต่มีข้อเสียคือ มีปริมาณสารทางชีวภาพที่ติดอยู่ น้อย) การทำ Hydrophobic หรือ Electrostatic interaction ระหว่างสารชีวโมเลกุลกับการทำให้เกิด พันธะโควาเลนต์ที่ปลายเปิดของ คาร์บอนนาโนทิวป์หรืออาจ Functionalize ด้านข้างของคาร์บอน นาโนทิวป์โดยการเคลือบด้วยชั้น พิล์มพอลิเมอร์ ได้มีการพัฒนาใช้คาร์บอนนาโนทิวป์ สร้างเป็น หัววัดไบโอเซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัด น้ำตาลกลูโคส ดีเอ็นเอ H_2O_2 และ NADH เป็นต้น การตรึง สารทางชีวภาพที่ปลายเปิดของคาร์บอน นาโนทิวป์นั้นต้องเปิดปลายหรือเอาส่วนของครึ่งทรงกลม C_{60} ออกโดยสองวิธีหลัก ๆ คือ ทำให้ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับคาร์บอนนาโนทิวป์ ด้วยกรด(Acid oxidation) วิธีนี้ทำให้เกิดหมู่ Carboxyl ที่ปลายเปิดและสามารถตรึงเอนไซม์ลงบนคาร์บอนนาโนทิวป์ได้ ดังรูปที่ 2.5.4a ส่วนวิธีที่ สองคือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศ (Air oxidation) ด้วยความร้อนสูง $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ประมาณ 5 นาที แต่การเปิดปลายวิธีที่สองนั้นจะตรึง เอนไซม์ได้ในปริมาณน้อยกว่าวิธีแรกเพราะไม่สามารถเพิ่ม หมู่ function ของคาร์บอนนาโนทิวป์ ได้ และยังส่งผลถึงความคงตัว(stability) ของเอนไซม์ด้วย ดังนั้นวิธีการเปิดปลายคาร์บอนนาโนทิวป์ จึงมีผลต่อการเข้าจับของเอนไซม์ภายในท่อของคาร์บอนนา โนทิวป์ บางรายงานใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นเพื่อทำให้ปลายเปิดของคาร์บอนนาโนทิวป์และมีหมู่ Carboxyl เพิ่มมากขึ้น นอกจากการใช้กรดทำปฏิกิริยากับคาร์บอนนาโนทิวป์เพื่อทำให้เกิดหมู่ Carboxyl ที่ปลายเปิดของคาร์บอนนาโนทิวป์แล้วยังสามารถใช้วิธีทางเคมีไฟฟ้า โดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่ 1.5 V กับคาร์บอนนาโนทิวป์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นหมู่เอมีนที่มีอยู่ในสารชีวภาพจะ สามารถจับกับ หมู่ Carboxyl บนคาร์บอนนาโนทิวป์ได้



รูปที่ 2.11 เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสจับกับหมู่ Carboxyl ที่ปลายเปิดของคาร์บอนนาโนทิวป์



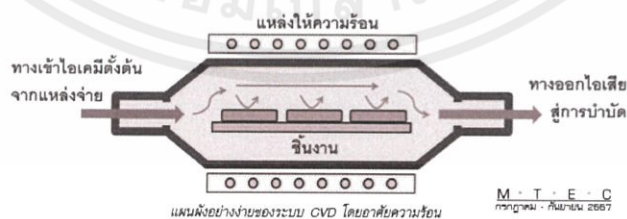
รูปที่ 2.12 ภาพจาก AFM ของเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสที่ตรึงอยู่บน SWNTs

5) ใช้ในการกักเก็บพลังงาน

แนวความคิดที่จะนำคาร์บอนนาโนทิวป์มาใช้ในการกักเก็บพลังงานนั้น เนื่องจาก ลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวป์มีลักษณะเป็นท่อกลวง เส้นผ่าศูนย์กลางเล็กในระดับนาโนเมตร และมีพื้นผิวที่เรียบ ลักษณะโครงสร้างพิเศษนี้เป็นสิ่งที่สร้างความสนใจให้กับนักวิจัยทั่วโลกที่จะนำมาใช้ในการเก็บ H_2 (ซึ่งพลังงาน H_2 - ไฮโดรเจน- เป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง และไม่เป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อม) นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Dillon ได้แสดงผลการคำนวณไว้ว่า SWNTs จะสามารถกักเก็บ H_2 ได้มากขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อมากขึ้น และมีความเป็นไปได้ที่จะกักเก็บ H_2 ได้ถึง 6.5% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าที่จะสามารถนำไปใช้ในเชิงปฏิบัติได้ นอกเหนือจากนี้คาร์บอนนาโนทิวป์ยังสามารถนำไปใช้ใน Fuel cell ชนิด Methane, Ethanol หรือ ใช้เป็นขั้วในแบตเตอรี่ได้อีกด้วยคุณสมบัติตอนก่อดำของการสร้าง คือเราทราบที่เราสร้าง SWNT หรือ MWNT ได้แต่เราไม่ทราบแน่ชัดเกี่ยวกับโครงสร้างเชิงกลการก่อดำของมันในระดับละเอียด อย่างไรก็ตามนั้นหมายถึงยังมีโอกาสอีกมากสำหรับงานวิจัยในด้านนี้ให้พัฒนาต่อไปในอนาคต

2.6) การสังเคราะห์ CNTs ด้วยวิธี CVD.[36]

วิธี CVD หรือชื่อเต็มๆก็คือ Chemical vapor deposition เป็นเทคนิคการปลูกฟิล์มบางโดยการตกสะสมแบบไอเคมี ลักษณะโดยทั่วไปของวิธีการนี้คือเมื่อสารเคมีในสถานะไอ (ไอเคมี) ไหลเข้าสู่เตาปฏิกรณ์และได้รับความร้อนกระตุ้น ก็จะแตกตัวอะตอมที่ไม่ต้องการจะถูกปั๊มออกจากเตาปฏิกรณ์ อะตอมที่ต้องการจะตกบนซับสเตรต สร้างพันธะกับอะตอมผิว เกิดการสะสมเป็นผลึกที่สัมพันธ์กับไอเคมี CVD สามารถปลูกผลึกสารกึ่งตัวนำ (เช่น GaAs , Si) ฉนวน (เช่น SiO_2) หรือ โลหะ (เช่น W) และให้ของแข็งที่อาจเป็นผลึกเดี่ยว พหุผลึก หรืออสัณฐานได้ เทคนิค CVD ที่ให้ผลึกเดี่ยวมักจะถูกเรียกว่า VPE (Vapor phase epitaxy) สมบัติสำคัญของเทคนิค CVD และ VPE คือให้ชั้นผลึกคุณภาพดี สามารถเจือสารได้แม่นยำ มีอัตราการปลูกสูง ส่งผลให้ต้นทุนต่ำ จึงเป็นเทคนิคปลูกผลึกที่นิยมในการผลิตเซมิคอนดักเตอร์ โดยเฉพาะในการปลูก Si , Si_3N_4 และ GaAs



รูปที่ 2.13 แผนผังอย่างง่ายของระบบCVD

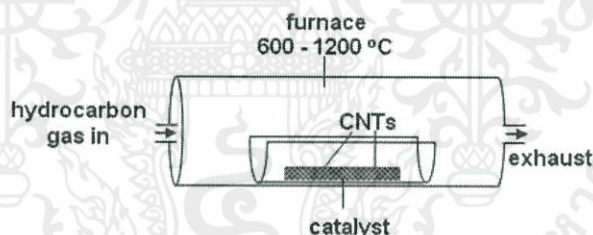
เนื่องจากไอเคมีตั้งต้นที่ใช้จะแพร่กระจายและเติมเต็มช่องว่างที่อยู่ในเตาปฏิกรณ์รวมถึงซอกหลืบต่างๆบนผิวซับสเตรตส่งผลให้การสร้างพันธะกับอะตอมผิวเกิดได้อย่างทั่วถึงและมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สม่าเสมอสูงถือว่าเป็นจุดเด่นของการปลูกฟิล์มบางโดย CVD และส่งผลให้เทคนิคนี้เป็นตัวเลือกหลักในการปลูกฟิล์มบางบนซับสเตรตที่มีรูปร่างซับซ้อน

อย่างไรก็ดีการปลูกฟิล์มบางโดย CVD มีข้อด้อยที่ไอเคมีที่ใช้มักมีความอันตรายและเป็นพิษ สารเคลือบที่ได้อาจมีสารตั้งต้นเจือปนอยู่และปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่ต้องใช้ความร้อนค่อนข้างสูง (700 – 1,100 °C) ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเทคนิคการปลูกฟิล์มบางโดย CVD ให้สามารถทำได้ที่มีอุณหภูมิต่ำลงเพื่อป้องกันความเสียหายของซับสเตรตจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการและมีการทดลองใช้สารเคมีตั้งต้นใหม่ๆเพื่อให้ได้สารที่มีสมบัติตามต้องการมากขึ้น

การปลูกCarbon nanotubesด้วยวิธีCVD โดยการผ่านไอหรือแก๊สของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งใช้ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอนเช่น มีเทน (CH₄) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อะเซทิลีน (C₂H₂) และเอทานอล (C₂H₅OH) เป็นต้น เข้าไปในเตาปฏิกรณ์ ที่มีอุณหภูมิประมาณตั้งแต่ 600-1200 °C ซึ่งต้องมีอนุภาคนาโนของโลหะCatalystอยู่บริเวณนั้นด้วยทำให้โมเลกุลของแก๊สให้แตกตัว (Decomposed) ออกเป็นอะตอมของคาร์บอนโดยการควบคุมอุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลของแก๊ส สัดส่วนอะตอมของธาตุ C : O : H ในระบบการคุมขนาดของอนุภาค Catalyst และระยะเวลาในการสังเคราะห์ สามารถกำหนดขนาด ความยาว ทิศทางการเติบโต และตำแหน่งที่ต้องการปลูกของท่อนาโนคาร์บอนได้ แต่อาจมีข้อเสียที่ปริมาณข้อบกพร่องหรือความไร้ระเบียบของโครงสร้างสูง ทำให้ท่อที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีนี้มักเป็นท่อโค้งงอ ดังรูปที่3.3b



รูปที่ 2.14 การปลูกCNTsด้วยวิธีCVD

วิธีการนี้สามารถควบคุมขนาดและความยาวของทิวป์ได้ เป็นกระบวนการผลิตทางเคมี ประสิทธิภาพสูงนิยมใช้ผลิตเชิงพาณิชย์และสามารถแบ่งได้อีก 5 ชนิดตามการใช้โลหะตัวเร่ง และวิธีแยกก๊าซดังนี้

2.7) Flexible sensor

เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเซ็นเซอร์ถูกโก่งงอ โดยส่วนใหญ่จะมีส่วนการทำงานอยู่ที่พื้นผิววัสดุที่ใช้ทำเซ็นเซอร์ เมื่อเกิดการงอจะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงแบบ

เป็นเชิงเส้นกับความโค้งงอ แบ่งได้หลายชนิด เช่น Conductive ink based flex sensor Fibre optic flex sensor Capacitive flex sensor
Sensitivity คือค่าที่บอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนแปลง%ความต้านทานต่อองศาการงอ

$$SENSITIVITY = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\text{degree}} \times 100$$

R_0 = ความต้านทานในแนวราบ

ΔR = ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดการงอ

Degree = องศาที่ทำการทดสอบ

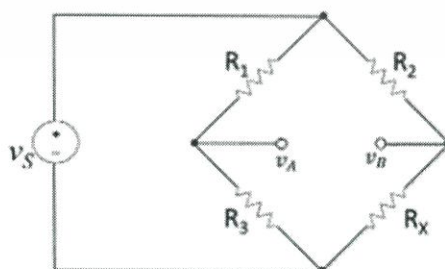
มีวัสดุจำนวนมากที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ทำ Sensor เช่น Silicon , Polysilicon , Metal film และ Thick film เป็นต้น ในการนำไปใช้งานนั้นพบว่าสภาพแวดล้อมมีผลต่อค่าที่วัดได้ เช่น อุณหภูมิจะทำให้เนื้อสารเกิดการขยายทำให้เกิดความเครียดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อความต้านทานของSensorแต่ก็แก้ไขโดยใช้วัสดุConstantan alloy มาใช้ทำSensor โดยจะเป็นการผสมผสานหลายชนิดเข้าไปโดยสารแต่ละชนิดจะขยายตัวต่างกันว่าอุณหภูมิหนึ่งๆ

การวัดการเปลี่ยนแปลงไฟฟ้าใน Flexible sensor นั้นสามารถใช้วงจรวีทสโตนบริดจ์เพื่อตรวจ จับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้Sensor เป็นองค์ประกอบความต้านทานในวงจรบริดจ์เป็นตัวทำบริดจ์ไม่สมดุลย์ แล้ววัดค่าสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

วิธีวัดโดยทั่วไปอีกวิธีก็คือการใช้ขั้วไฟฟ้าในการวัดโดยตรงซึ่งจะติดsensor ไว้กับSubstrate อีกชั้นหนึ่งเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงกับsubstrateก็จะส่งผลต่อความต้านทานของSensor แล้วทำการวัดสัญญาณไฟฟ้าได้เช่นกัน

2.8) วงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) เพื่อใช้ในงาน application

เป็นวงจรที่ประกอบไปด้วย ความต้านทาน 4 ตัว ต่อขนานกัน โดย R_1 จะอนุกรมกับ R_3 และ R_2 จะอนุกรมกับ R_x โดยการทำงานของวงจรในที่นี่จะใช้การเปลี่ยนแปลงของ R_3 และ R_x

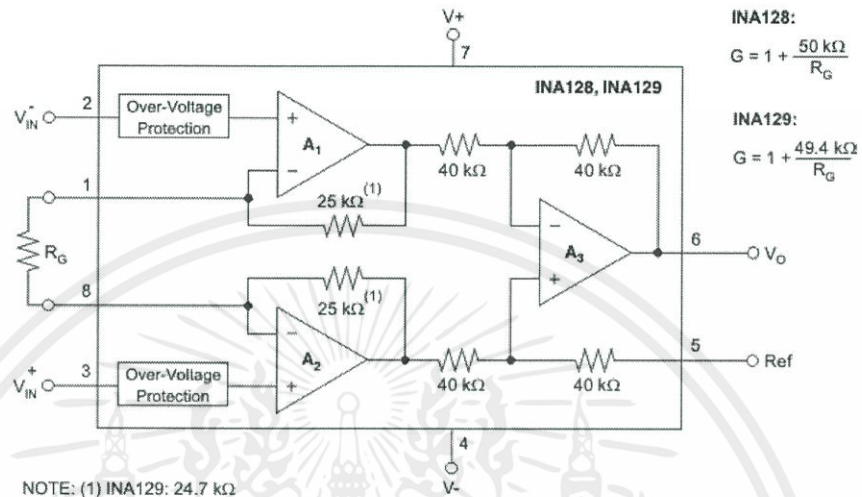


รูปที่ 2.15 วงจรวีทสโตนบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{ab} = \left(\frac{R3}{R1+R3} - \frac{Rx}{Rx+R2} \right) * V_s$$

ภายในตัวอุปกรณ์จะประกอบด้วย



รูปที่ 2.16 INA128 วงจรขยายวงจรรขยายอินสตรูเมนต์ (Instrumentation amplifier)

วงจรรขยายอินสตรูเมนต์ประกอบด้วยวงจรรขยายแรงดันผลต่างภาคที่ 1 ซึ่งมีออปแอมป์ A1 และ A2 ทำหน้าที่ขยายแรงดันผลต่างแบบไม่กลับเฟส และวงจรรภาคที่ 2 มีออปแอมป์ A3 ทำหน้าที่ขยายแรงดันผลต่างจาก A1 และ A2

ข้อดีของวงจรรขยายอินสตรูเมนต์คือ

1. อัตราขยายแรงดันของวงจรมีค่ามากซึ่งเหมาะสมกับการขยายสัญญาณที่มีขนาดเล็ก เช่น สัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor signal), สัญญาณจากวงจรบริดจ์ และสัญญาณจากวงจรส่วนหน้า (Frontend) ที่มีขนาดเล็ก
2. อัตราการกำจัดสัญญาณโหมดร่วมสูง (Common mode rejection ratio) ซึ่งโดยปกติแล้วสัญญาณชีวภาพ หรือสัญญาณรบกวนซึ่งขั้วบวกและลบมีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้นวงจรรขยายอินสตรูเมนต์เหมาะสมที่ใช้ขยายสัญญาณขนาดเล็ก

บทที่ 3 วิธีการทดลอง:
ขั้นตอนการสังเคราะห์ CNTs ด้วยวิธี CVD เงื่อนไขการทดลอง
และวิธีการสร้างเซ็นเซอร์

3.1) ขั้นตอนการสังเคราะห์ CNTs ด้วยวิธี CVD

3.1.1) เตรียมสารละลาย

- o สารที่จะเตรียมในขั้นตอนนี้จะถูกนำไปใส่ในเครื่องตีหมอก เพื่อฉีดเข้าสู่ภายในเตา
- o ส่วนประกอบของสารละลาย คือ Ethanol (C_2H_5OH) + Ferrocene ($Fe(C_5H_5)_2$)
- o นำมาผสมกันในอัตราส่วน Ethanol : Ferrocene = 100 : 0.25, 100 : 0.5, 100 : 1
- o หลังจากนำสารทั้งสองมาผสมกันแล้ว ให้ใช้เครื่องอัลตราโซนิกช่วยในการละลาย



รูปที่ 3.1 เอทานอล , Ferrocene และ เครื่องอัลตราโซนิก

3.1.2) ติดตั้ง Filter

- o ในส่วนของ Filter จะอยู่ในท่อ PVC ที่ติดตั้งอยู่ที่ใต้เตาของเครื่อง CVD ทำหน้าที่กรองดักจับสารโมเลกุลใหญ่ CNTs จะมาอยู่กันที่ส่วนนี้
- o เปลี่ยนให้เรียบร้อย แล้วนำไปเซ็ทไว้ที่เดิม ล็อคให้แน่นๆ



รูปที่ 3.2 Filter

3.1.3) ทำความสะอาดอุปกรณ์ในส่วนฟลักซ์

- o ทำความสะอาดส่วนตัวยึดและหลอดแก้วที่ใช้ในขั้นตอนเตรียมและฟลักซ์สาร
- o สำหรับหลอดแก้วให้ทำการล้างด้วย Ethanol จากนั้นล้างซ้ำด้วย Deionized water (DI Water) จากนั้นเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน (N_2)
- o ส่วนตัวยึดจับสายท่อส่งฟลักซ์ ให้แยกชิ้นส่วนออกมา และนำไปเช็ดด้วยผ้าไร้ฝุ่นที่หยด Ethanol



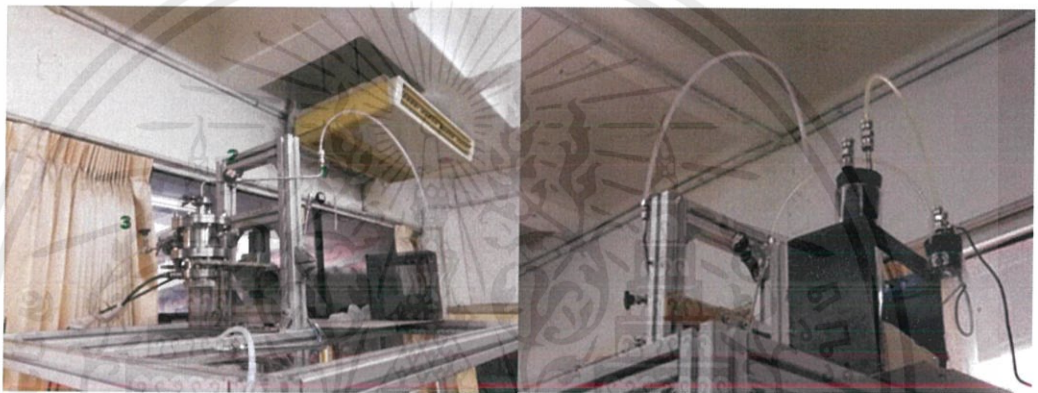
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำทำความสะอาด และอุปกรณ์ต่างๆ

3.1.4) เชื่อมต่อหลอดทดลองที่มีสารละลายเตรียมทำการทดลอง

- o เช็ดจุกเสียบด้วย Ethanol
- o นำสายจากหลอดทดลองใหญ่ เสียบกับหลอดทดลองเล็กโดยต่อสายกับท่อยาวของหลอดเล็ก
- o นำหลอดทดลองทั้ง 2 หลอดต่อกับเครื่องปลูก CNTs
- o นำท่อจากวาล์ว 1 ต่อกับหลอดขนาดใหญ่ และท่อจากวาล์ว 2 ต่อกับหลอดขนาดเล็ก
- o นำสารละลายที่ได้จากการผสม Ethanol กับ Ferrocene ใส่ในหลอดทดลองหลอดใหญ่
- o ใส่อะตอมมิคเซอร์เพื่อทดสอบการทำหมอก



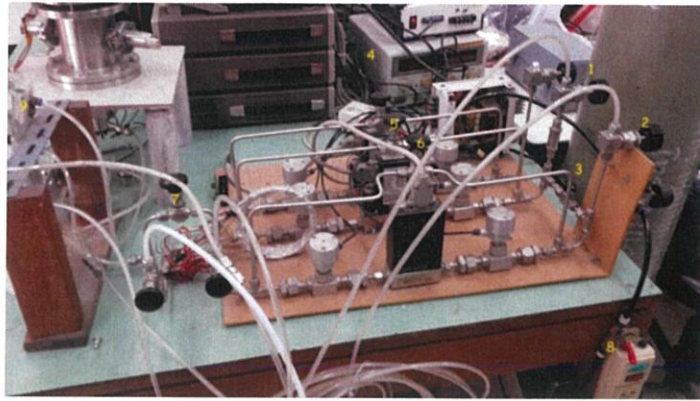
รูปที่ 3.4 อะตอมไมเซอร์(เครื่องทำหมอก) ทดสอบการทำหมอก



รูปที่ 3.5 ด้านบนของเครื่อง CVD ต่อหลอดทดลองกับเครื่อง CVD

3.1.5) เตรียมเครื่องCVD

- o ปลอ่ยแก๊สอาร์กอน (Ar) เข้าไป
- o ในส่วนของตัวควบคุมการปลอ่ยแก๊สอาร์กอน เปิด 1 2 และ 3 เพื่อให้แก๊สเข้ามา เปิด6 เพื่อให้แก๊สไหลผ่านด้านนี้เราจะควบคุมแบบแมนนวล อย่าเปิด5เพราะส่วนนี้จะให้ไหลผ่านเครื่องควบคุมการไหลด้วยคอมพิวเตอร์ห้ามเปิด7 ไม่งั้นแก๊สที่ควบคุมการไหลต่างกันจะมาผสมกัน อย่าลืมเปิด4 (power supply) และ8
- o หมายเลข9 เป็นตัวปรับแบบแมนนวล ให้ปรับไปที่ 1L/min



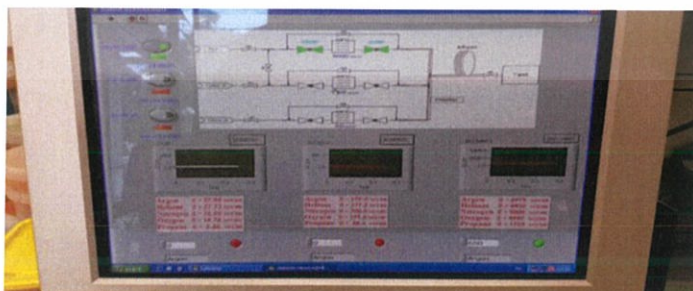
รูปที่ 3.6 หมายเลขกำกับจุดต่างๆ

- o หมุนวาร์ว3 (วาร์วบนเครื่องCVD) เพื่อปล่อยแก๊ส
- o ตรวจสอบว่าแก๊สไหลหรือไม่ ด้วยการนำสายทดสอบไปจุ่มน้ำ
- o เพิ่มอุณหภูมิของเตาเครื่องCVDจนกว่าจะถึง 950°C โดยปรับที่ละช่วงๆ เช่นช่วงละ 200°C
- o เมื่ออุณหภูมิถึง 800°C ให้เปิดเครื่องหล่อเย็น (อย่าลืมเสียบปลั๊ก)



รูปที่ 3.7 เครื่องหล่อเย็น และส่วนควบคุมอุณหภูมิภายในเตา

- o ควรเปิดปั๊มลมก่อนจะControl gas
- o เปิด Sensor Measurement ในคอมพิวเตอร์ ตั้งค่าการไหลเป็น650SCCM) แล้วกดRUN



รูปที่ 3.8 LabVIEW สำหรับควบคุมการไหลของgas

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รอจนอุณหภูมิ 950°C แล้วเปิดเครื่องตีหมอก
- ปิดวาร์ว3 แล้วเปิดวาร์ว1และ2 บนเครื่องCVD
- รอการสังเคราะห์

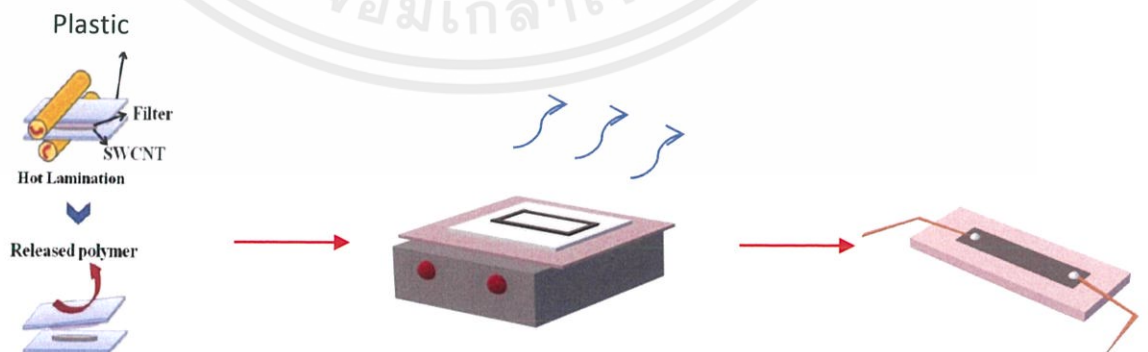
3.1.6) ขั้นตอนการสังเคราะห์

- ในการสังเคราะห์แต่ละครั้งไม่ควรนานเกินไปหรือน้อยเกินไป ข้อแนะนำคือ 15-20นาทึ
- เมื่อรอสังเคราะห์จนครบเวลาแล้ว ให้ปิดเครื่องตีหมอกแล้วรอ5นาทึ เพื่อความแน่ใจให้ละอองเคมีลงไปให้หมด
 - ปิดวาร์ล 1,2 เปิดวาร์ว3 บนเครื่องCVD
 - ลดอุณหภูมิเตาลง โดยค่อยๆลดลงทีละ 200°C จนถึง 450°C แล้วเปิดเตาออกรอจนถึง 250°C แล้วปิดวาร์ว3 บนเครื่องCVD ปิดส่วนควบคุมแก๊สให้หมด
 - เมื่ออุณหภูมิถึง200°C ให้นำแผ่นFilterออกมาดูได้

3.2) ขั้นตอนการสร้าง Sensor

3.2.1) ขั้นตอนการสร้าง Sensor แบบ silicone

- นำสาร silicone (PolyDimethylsiloxane) และ Silicone elastomer มาผสมกันในอัตราส่วน 1:10
- นำไปลงในแบบพิมพ์ กว้าง 2 ซม. ยาว 4 ซม. ใช้เครื่องให้ความร้อนปรับระดับ3เป็นเวลาประมาณ 6นาทึ รอให้เย็น
- นำ Filter ไปรีด
- นำ CNTs ออกจาก Filter แล้วนำไปติดบน Plastic แล้วไปติดบน silicone แล้วติดขั้ว
- นำไปหล่อด้วย silicone อีกครั้ง ตามข้อ2



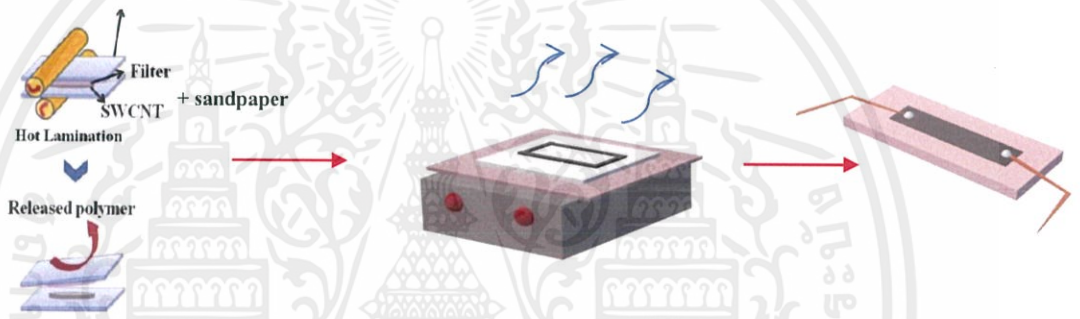
รูปที่ 3.9 สร้าง Sensor แบบ non fragmented

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2) ขั้นตอนการสร้างสร้าง Sensor(Fragmentized) แบบ PDMS

- นำสาร silicone (PolyDimethylsiloxane) และ Silicone elastomer มาผสมกันในอัตราส่วน 1:10
- นำไปลงในแบบพิมพ์ กว้าง 2 ซม. ยาว 4 ซม. ใช้เครื่องให้ความร้อนปรับระดับ3เป็นเวลาประมาณ 6นาที่ รอให้เย็น
- นำ Filter ไปรีดพร้อมกับกระดาษทราย
- นำ CNTs ออกจาก Filter แล้วนำไปติดบน Plastic แล้วไปติดบน silicone แล้วตัดชิ้น
- นำไปหล่อด้วย silicone อีกครั้ง ตามข้อ2

Plastic



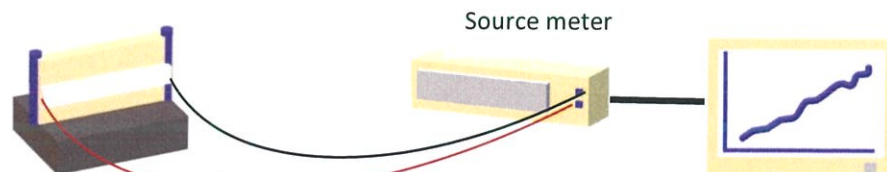
รูปที่ 3.10 สร้าง Sensor แบบ fragmentized

3.2.3) ขั้นตอนการสร้าง Sensor (fragmentized)+ silicone ด้านเดียว

- เหมือนกับวิธี 3.2.2 เพียงแต่เปลี่ยนจากหล่อ silicone อีกครั้งเป็นติดพลาสติกคลุมผิวหน้าแทน

3.3) เงื่อนไขการทดลอง

- ทดสอบการทริทเม้นท์ด้วยกระแส 0.5,0.3,0.1A 30 minutes
 - 1) CNTs สังกะราหที่ ferrocene 0.25 Wt% 15 minutes
 - 2) CNTs สังกะราหที่ ferrocene 0.5Wt% 15 minutes
 - 3) CNTs สังกะราหที่ ferrocene 1.0 Wt% 15 minutes



รูปที่ 3.11 ทดสอบให้กระแสไฟฟ้ากับวัดความต้านทานที่เปลี่ยนไป

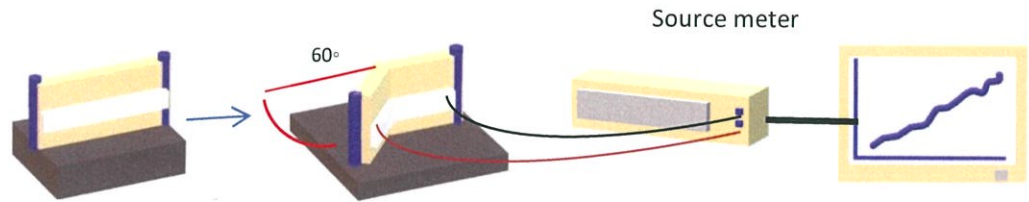
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่อโค้งงอ
 - 1) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25 Wt% 15 minutes as-grown
 - 2) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.5 Wt% 15 minutes as-grown
 - 3) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 1.0 Wt% 15 minutes as-grown
 - 4) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25Wt% 15 minutes ทริทเมนต์ 500 mA 30 minutes
 - 5) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.5 Wt% 15 minutes ทริทเมนต์ 500 mA 30 minutes
 - 6) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 1.0 Wt% 15 minutes as-grown ทริทเมนต์ 500 mA

30 minutes

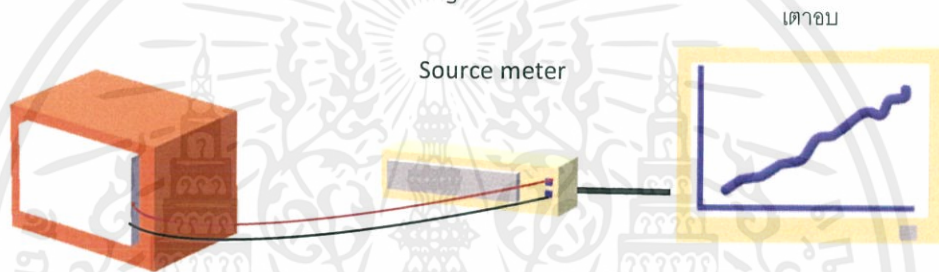
ทดสอบ Fragmentized

- 7) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25 Wt% 5m minutes ทริทเมนต์ 500mA 30 minutes fragment1 ครั้ง หุ้มด้วยซิลิโคน
- 8) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25 Wt% 10m ทริทเมนต์ 500mA 30 minutes fragment1 ครั้ง หุ้มด้วยซิลิโคน
- 9) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25 Wt% 10m ทริทเมนต์ 500mA 30 minutes fragment2 ครั้ง หุ้มด้วยซิลิโคน
- 10) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.5 Wt% 10m ทริทเมนต์ 500mA 30 minutes fragment1 ครั้ง หุ้มด้วยซิลิโคน
- 11) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.5 Wt% 10m ทริทเมนต์ 500mA 30 minutes fragment2 ครั้ง หุ้มด้วยซิลิโคน
- 12) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 1.0 Wt% 5m ทริทเมนต์ 500mA 30 minutes fragment1 ครั้ง หุ้มด้วยซิลิโคน
- 13) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 1.0 Wt% 5m ทริทเมนต์ 500mA 30 minutes fragment2 ครั้ง หุ้มด้วยซิลิโคน
- 14) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 1.0 Wt% 10m ทริทเมนต์ 500mA 30 minutes fragment1 ครั้ง หุ้มด้วยซิลิโคน
- 15) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 1.0 Wt% 10 ทริทเมนต์ 500mA 30 minutes fragment2 ครั้ง หุ้มด้วยซิลิโคน
- 16) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25 Wt% 5 minutes as-grown,บนซิลิโคนด้านเดียว
- 17) CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25 Wt% 5 minutes as-grown fragment 2 ครั้ง , บนซิลิโคนด้านเดียว

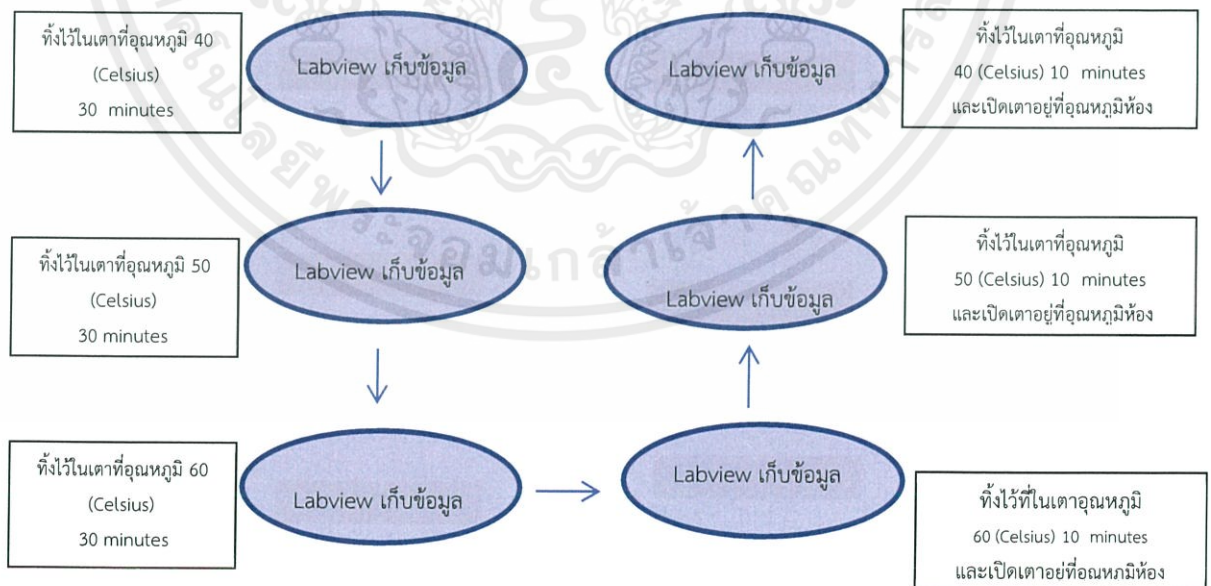


รูปที่ 3.12 ทดสอบการโค้งงอของเซ็นเซอร์กับวัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไป

- ทดสอบความโปร่งใสของ sensor ที่เงื่อนไขการสังเคราะห์ 0.5% ferrocene 10 minutes 2 fragment
- ทดสอบผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน
ทำการทดลองกับ sensor บนซิลิคอน และ CNTs on filter ที่เงื่อนไข CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.5Wt% 10 minutes fragment 2 time

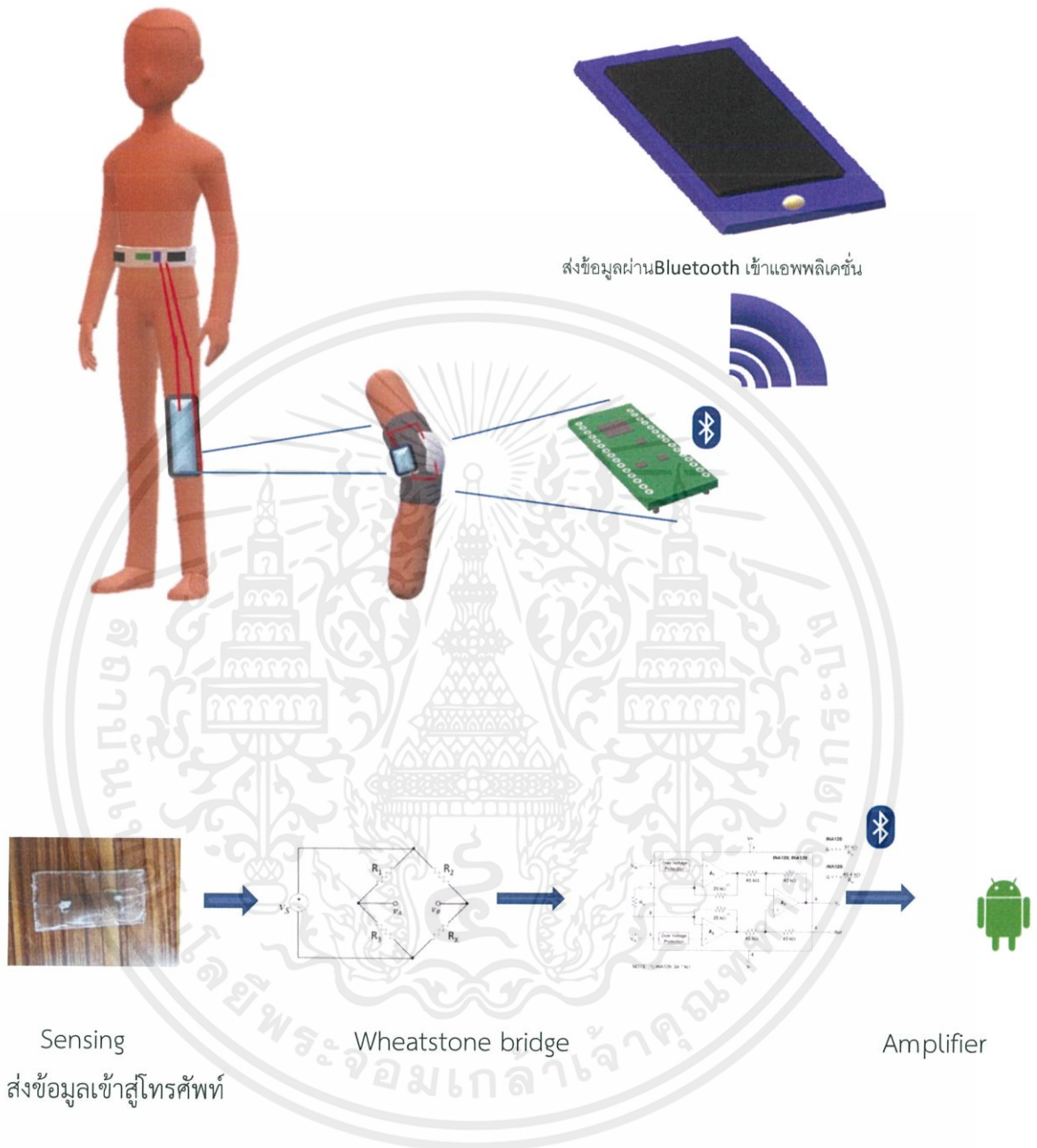


รูปที่ 3.13 ทดสอบวัดผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน



รูปที่ 3.14 ลำดับการทดลองผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน

3.4) ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการทดสอบ



รูปที่ 3.15 ติดตั้ง Sensor ไว้ตามอุปกรณ์สวมใส่ตามส่วนของร่างกายและการทำงาน

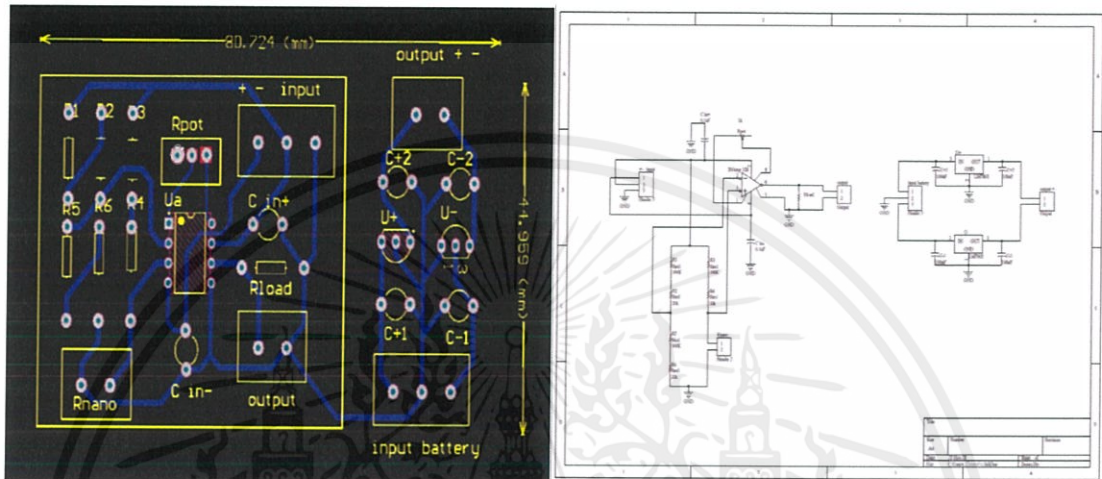
3.4.1 ขั้นตอนการนำอุปกรณ์ไปทดสอบ

- ทดสอบเซ็นเซอร์กับเครื่องทดสอบการงอและส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชัน
- ทดสอบกับการใช้งานจริงและส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การออกแบบวงจร

วงจรจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือวงจรแปลงจากแบตเตอรี่ 9 โวลต์ เพื่อให้ได้ไฟเลี้ยง สำหรับเลี้ยงวงจรขยายอินสตรูเมนต์ ที่ใช้ไฟเลี้ยงบวกและลบ ส่วนที่ 2 คือส่วนของวงจรบริดจ์ ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถเขียนผังวงจรได้ดังภาพ



รูปที่ 3.16 วงจรที่ออกแบบ

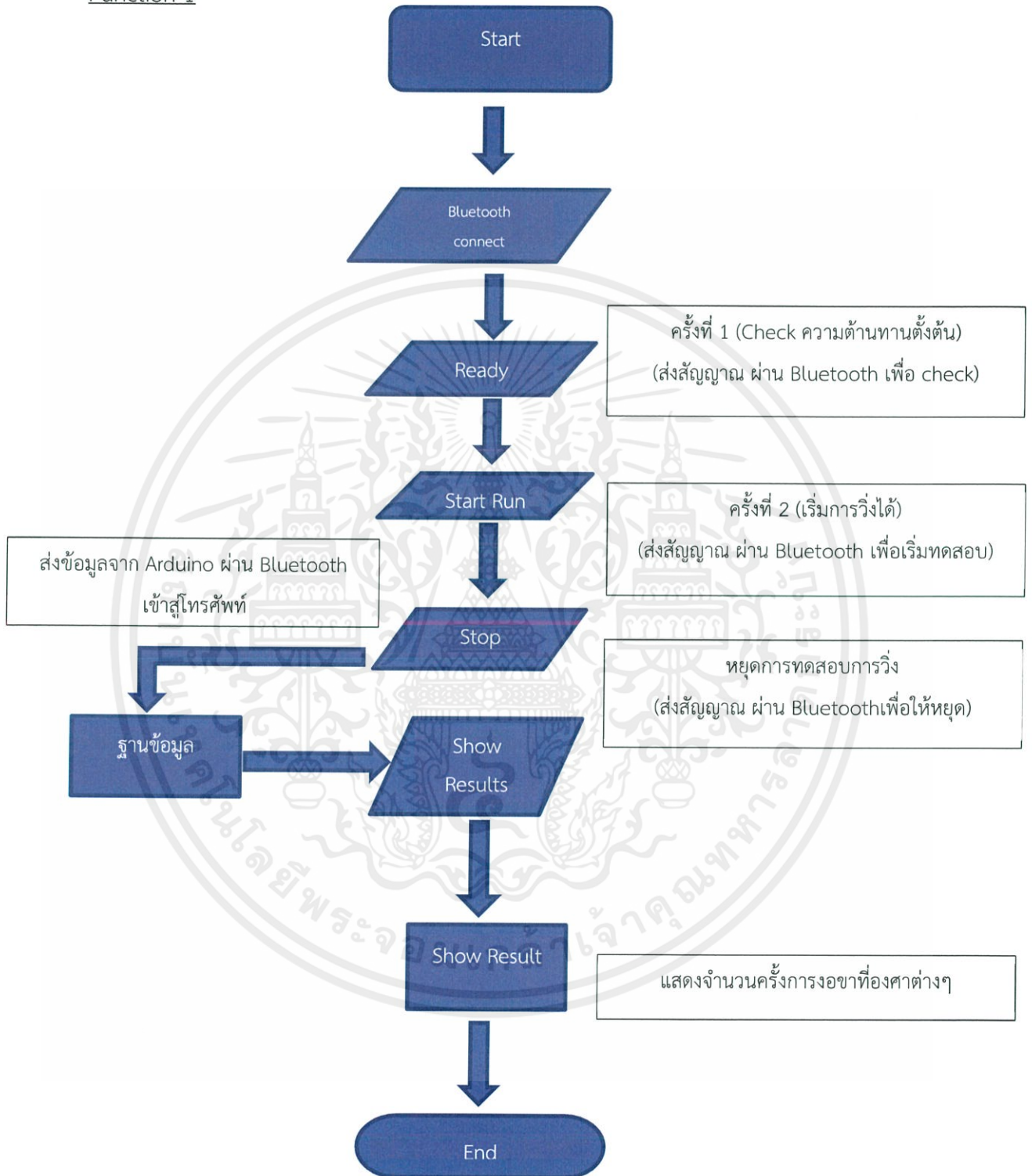


รูปที่ 3.17 อุปกรณ์ที่สร้าง

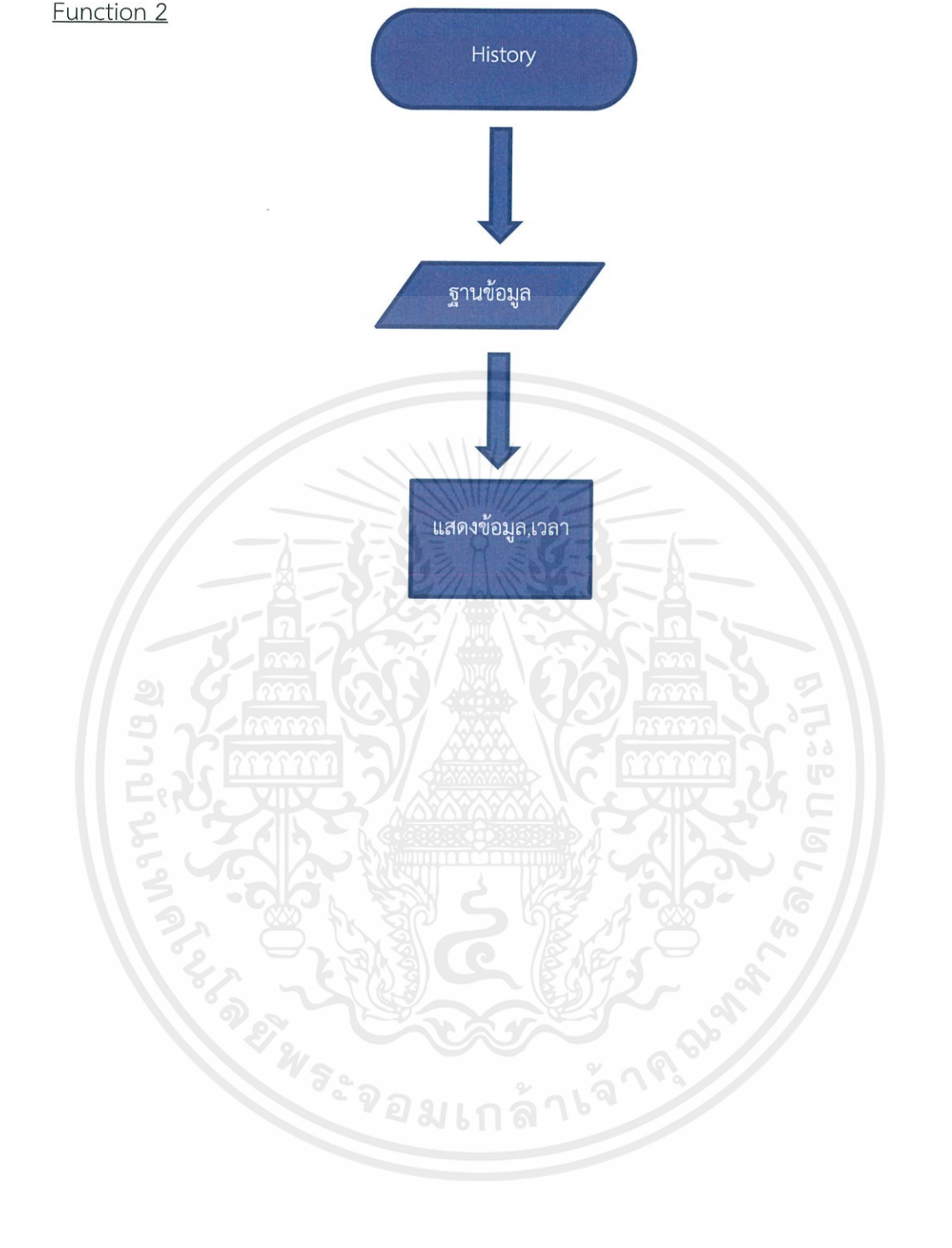
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5) แผนผัง Flowchart แสดงการทำงานของ applications

Function 1



Function 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6) Applications ส่วนคำสั่งและส่วนแสดงผล



```

when START .Click
do open another screen screenName = "Processing"

when HISTORY .Click
do open another screen screenName = "HISTORY"

do open another screen screenName = "Screen1"

when ListPicker1 .AfterPicking
do set ListPicker1 . Selection to call BluetoothClient1 . Connect
address ListPicker1 . Selection

when ListPicker1 .BeforePicking
do set ListPicker1 . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames

when Button1 .Click
do if BluetoothClient1 . isConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text " "
else call Toast.Make . ShowAlert
notice "Connect Bluetooth"

when Button2 .Click
do if BluetoothClient1 . isConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text " "
else call Toast.Make . ShowAlert
notice "Connect Bluetooth"

when Button3 .Click
do set BluetoothClient1 . Address to " "
do if BluetoothClient1 . isConnected
then call BluetoothClient1 . Connect
numberOfBytes call BluetoothClient1 . BytesAvailableToReceive
call ToString

do to Edit
do call EditText1 . ShowAlert
tag " "
valueIfValue pin EditText1 . Text
valueIfTag pin EditText1 . Text

when EditText1 .Text
do set EditText1 . Text to call EditText1 . TextCaseFirst
end call EditText1 . New
pattern "([A-Z][a-z]+)"

when HISTORY .Initialize
do call procedure

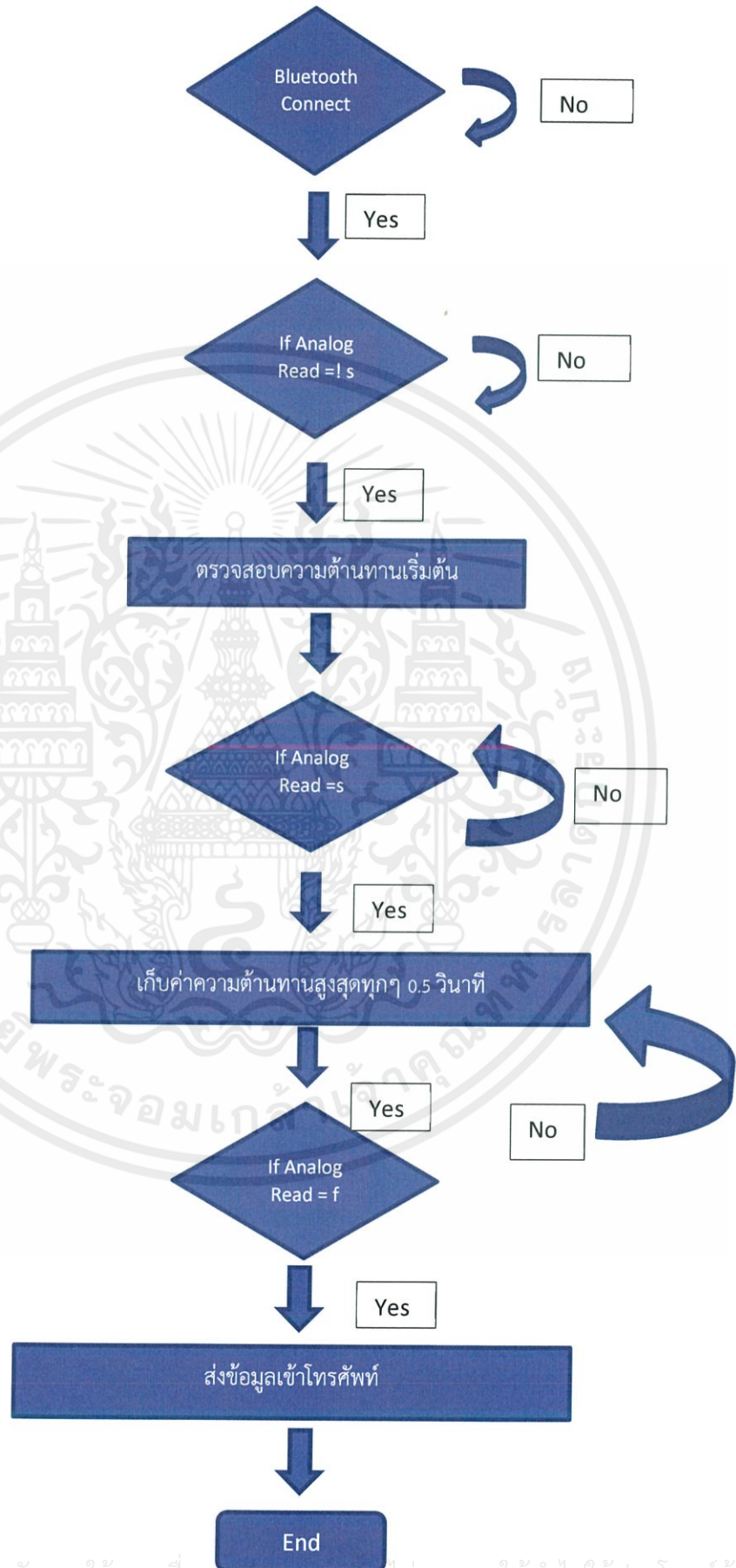
to procedure
do initialize local name to create empty list
in for each item in list call TinyDB1 . GetTags
do add items to list list get name =
item call TinyDB1 . GetValue
tag get item =
valueIfTagNotThere
set ListView1 . Elements to get name

when Button1 .Click
do open another screen screenName = "Screen1"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7) Diagram แสดงการทำงานของ Program



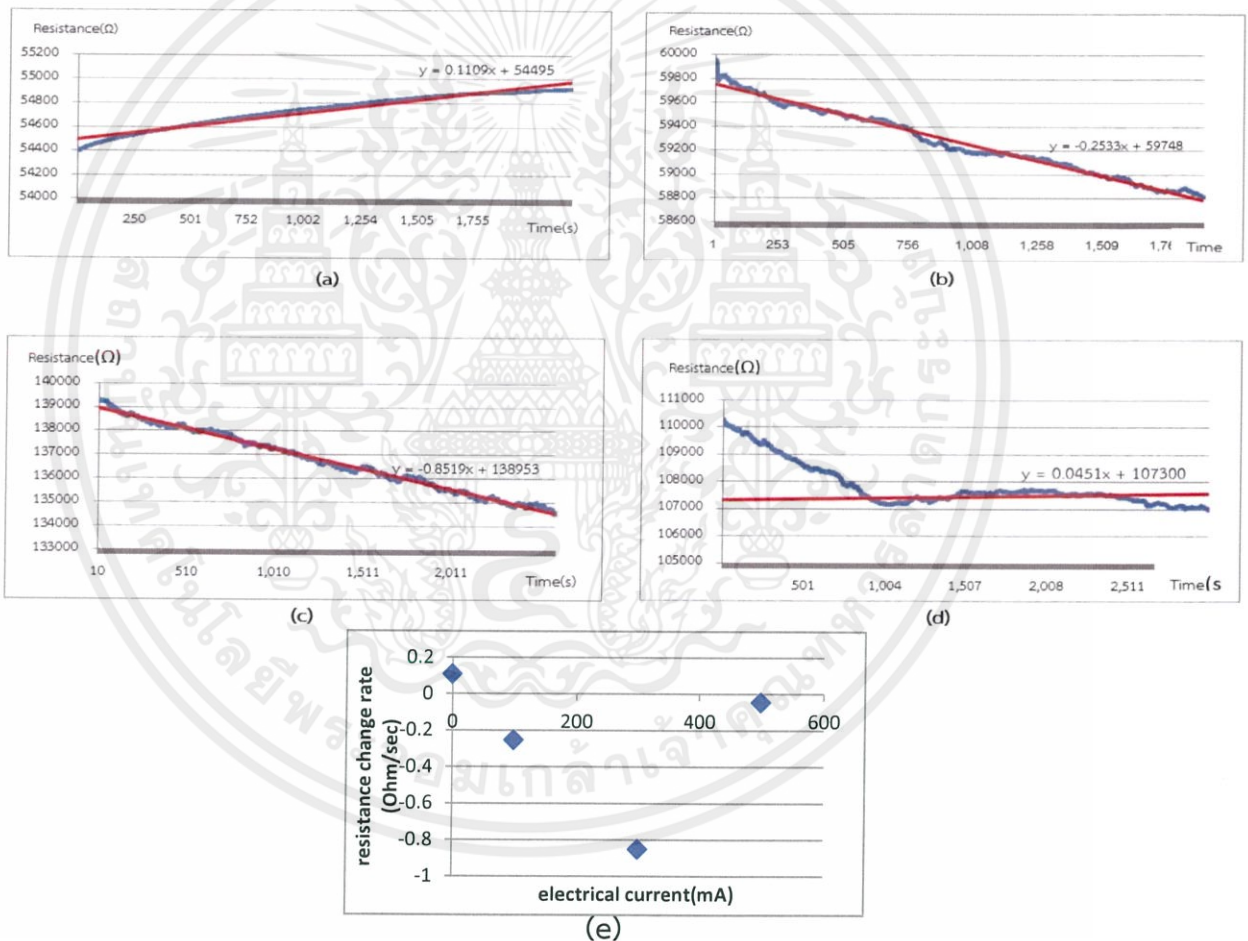
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1) ทดสอบทริทเมนต์ด้วยกระแสไฟฟ้า

เพื่อทดสอบผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเพื่อจะได้เซ็นเซอร์ที่มีเสถียรภาพดียิ่งขึ้น

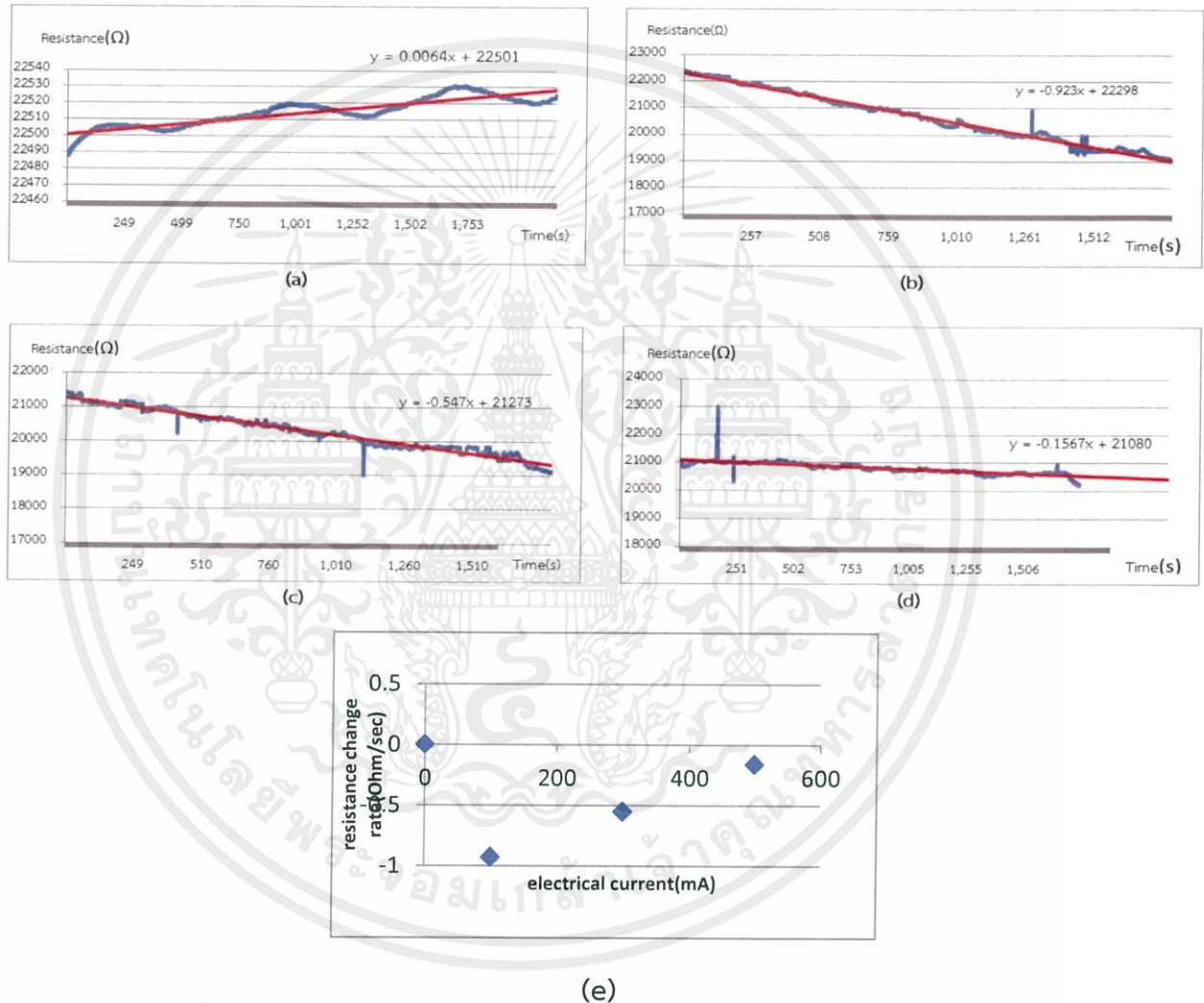
4.1.1 CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25Wt% 15 นาที ทริทเมนต์กระแสไฟฟ้าที่ขนาดต่างๆ โดยเพิ่มขนาดกระแสไฟฟ้าจาก 100,300,500 mA และวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยใช้แนวโน้มเส้นตรง



รูปที่ 4.1 ผลของการทริทเมนต์ CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25Wt% 15 นาที ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (a) เมื่อ as-grown มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน = 0.110 Ohm/sec (b) เมื่อทริทเมนต์กระแสไฟฟ้า ขนาด 100mA เป็นเวลา 30 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน = -0.253 Ohm/sec (c) เมื่อทริทเมนต์กระแสไฟฟ้า ขนาด 300mA เป็น

เวลา 30 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน = -0.851 Ohm/sec (d) เมื่อทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500 mA เป็นเวลา 30 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน = -0.045 Ohm/sec (e) อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ a,b,c,d

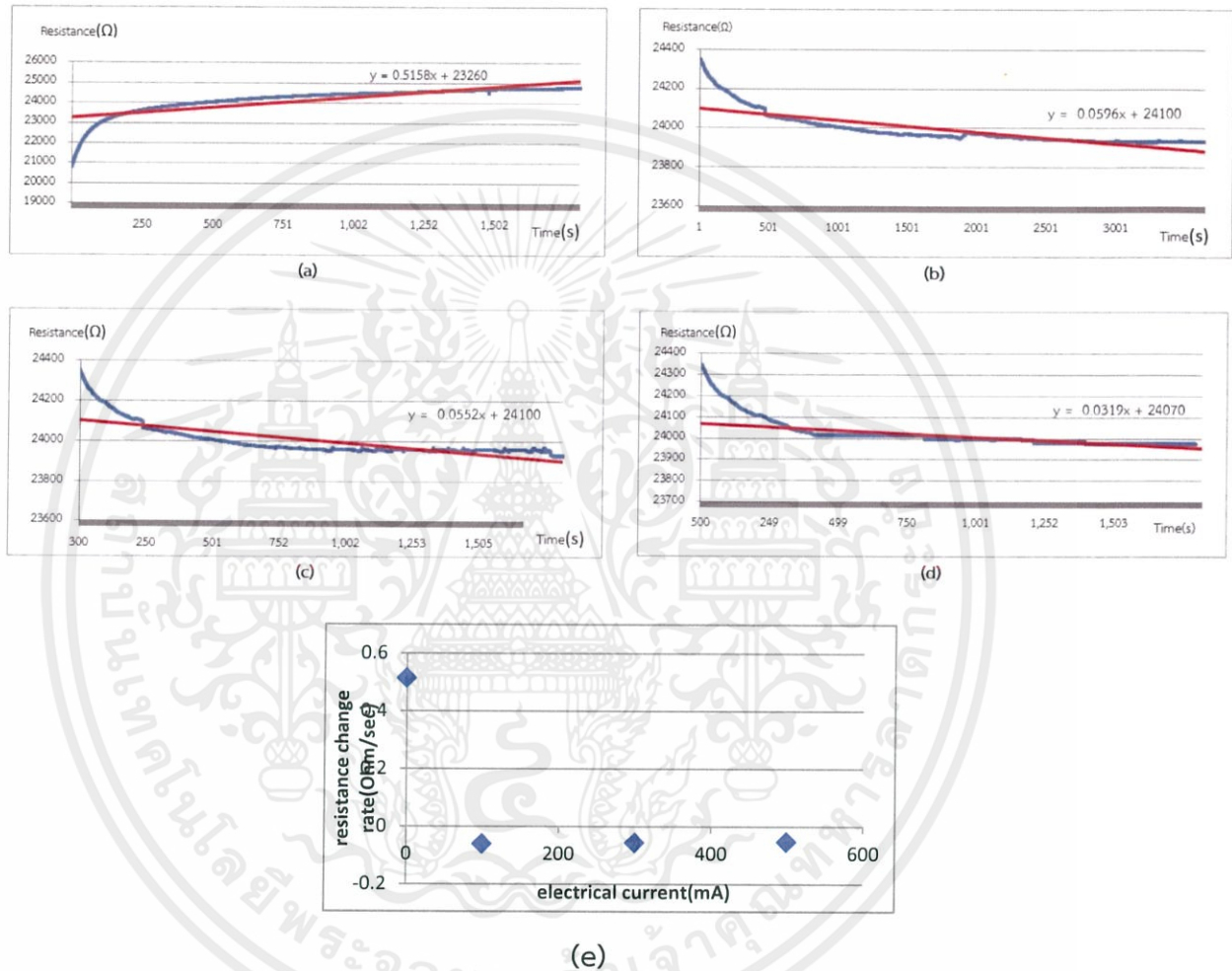
4.1.2 CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.5 Wt\% 15 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้าที่ขนาดต่างๆ โดยเพิ่มขนาดกระแสไฟฟ้าจาก $100, 300, 500 \text{ mA}$ และวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยใช้แนวโน้มเส้นตรง



รูปที่ 4.2 ผลของการทริทเม้นท์ CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.5 Wt\% 15 นาที ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเมื่อ (a) as-grown มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน $= 0.0064 \text{ Ohm/sec}$ (b) เมื่อ ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 100 mA เป็นเวลา 30 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน $= -0.923 \text{ Ohm/sec}$ (c) เมื่อ ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 300 mA เป็นเวลา 30 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน $= -0.547 \text{ Ohm/sec}$ (d) เมื่อทริทเม้นท์

กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน=-0.156 Ohm/sec (e) อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ a,b,c,d

4.1.3 CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 1Wt% 15 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้าที่ขนาดต่างๆ โดยเพิ่มขนาดกระแสไฟฟ้าจาก 100,300,500 mA และวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยใช้ แนวโน้มเส้นตรง



รูปที่ 4.3 ผลของการทริทเม้นท์ CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 1Wt% 15 นาที วิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงจากเส้นแนวโน้มหลังจากเวลาผ่านไป 1000sความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเมื่อ (a) as-grown มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน=0.515 Ohm/sec (b) เมื่อทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 100mA เป็นเวลา 30 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน=-0.0596 Ohm/sec (c) เมื่อทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 300mA เป็นเวลา 30 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน= -0.0552 Ohm/sec (d)เมื่อทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด

500mA เป็นเวลา 30 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน = -0.0519 Ohm/sec (e) อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ a,b,c,d

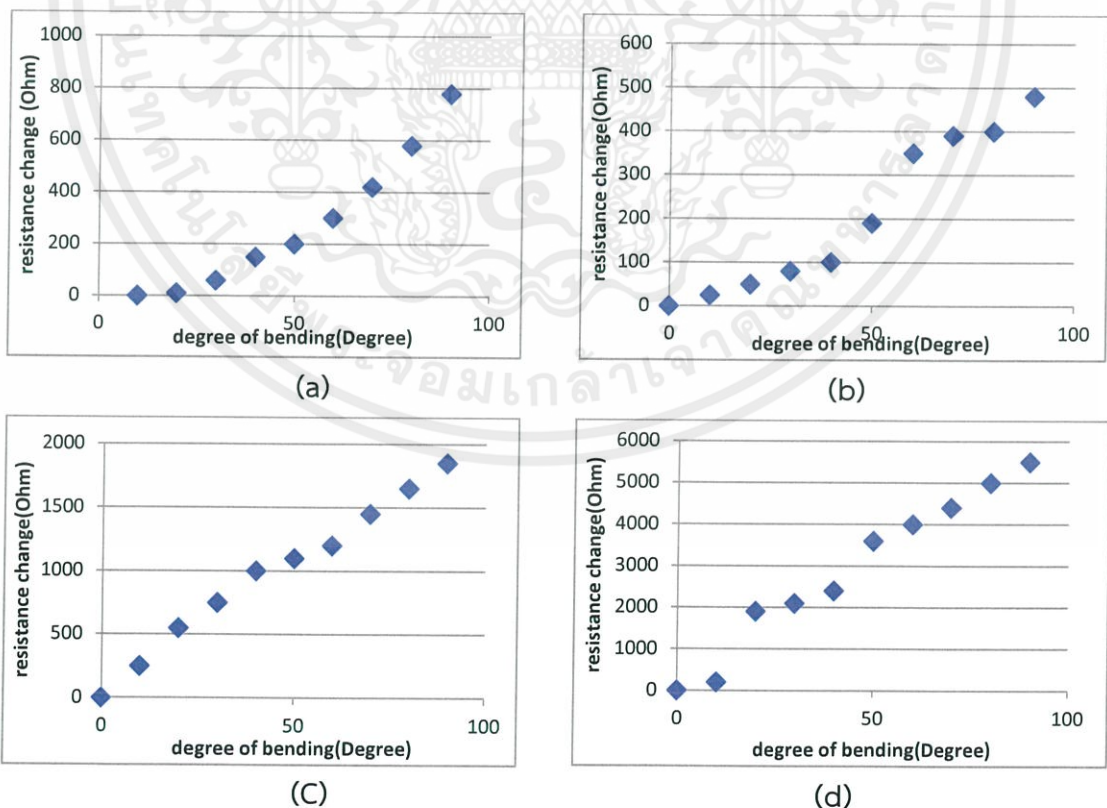
ในส่วนของผลทดสอบทริทเม้นท์ด้วยกระแสไฟฟ้า สามารถอธิบายได้ว่าอาจเกิดจากผลของโครงสร้างที่ไม่ใช่CNTs เช่นอะมอฟิสคาร์บอนซึ่งส่งผลเสียต่อการนำไฟฟ้า สนามไฟฟ้าส่งผลกระทบให้เกิดความร้อนต่อโครงสร้างดังกล่าวและไปเผาไหม้โครงสร้างเหล่านี้ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานลดต่ำลงและได้ผลอีกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจะแปรผันกับกระแสที่ให้โดยยิ่งกระแสมากอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานจะยิ่งต่ำนั่นคือเซ็นเซอร์จะมีเสถียรภาพที่ดีขึ้น สังเกตได้ชัดเจนจาก 4.1.3 (e) แสดงให้เห็นถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่ลดลงชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากที่ 1% ferrocene มีอนุภาคเหล็กมากและอะมอฟิสคาร์บอนมากจึงได้รับผลกระทบจากการทริทเม้นท์ด้วยกระแสไฟฟ้าสูง

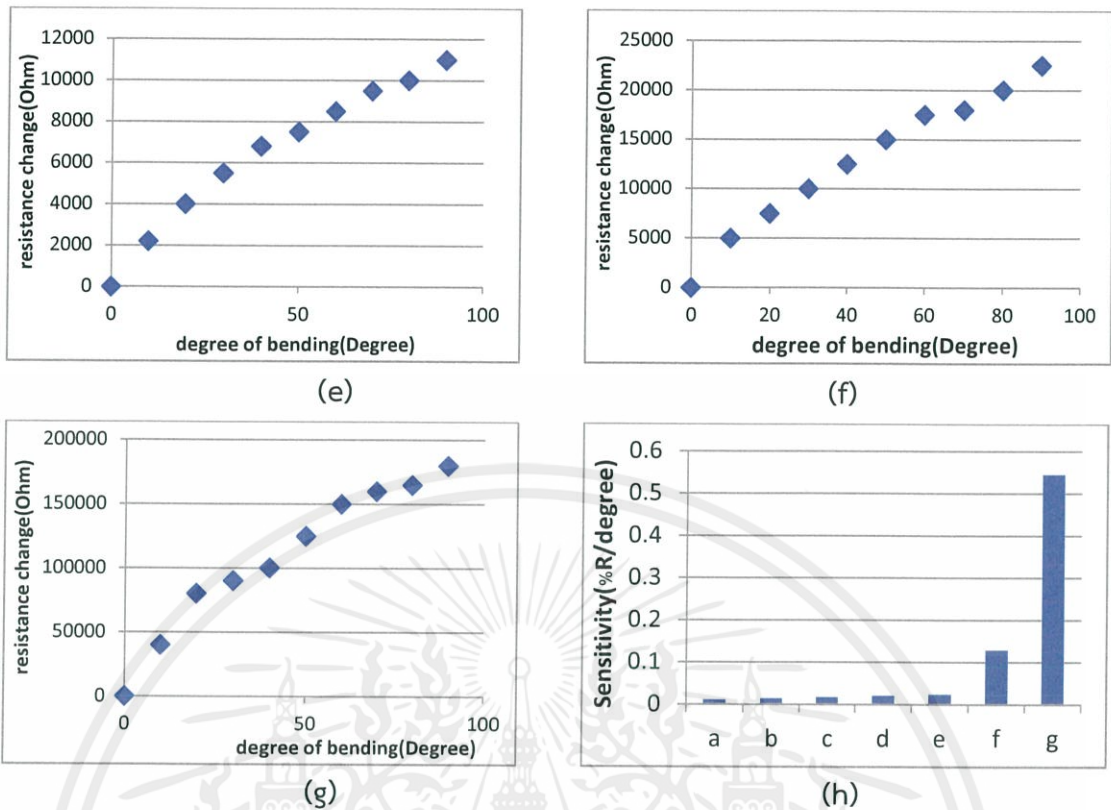
4.2) ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่อโค้งงอเซ็นเซอร์

เพื่อจะทดสอบความเป็นเส้นตรงของคุณสมบัติการเปลี่ยนความต้านทานเมื่อองเซ็นเซอร์

4.2.1 CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25Wt%

ทดลองด้วยเงื่อนไขการสร้างเซ็นเซอร์ที่แตกต่างกันและทดลองงอที่องศาต่างๆ แล้วนำมาพล็อตกราฟเทียบกับความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงที่แต่ละองศา และวัด Sensitivity ของแต่ละเงื่อนไขแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน

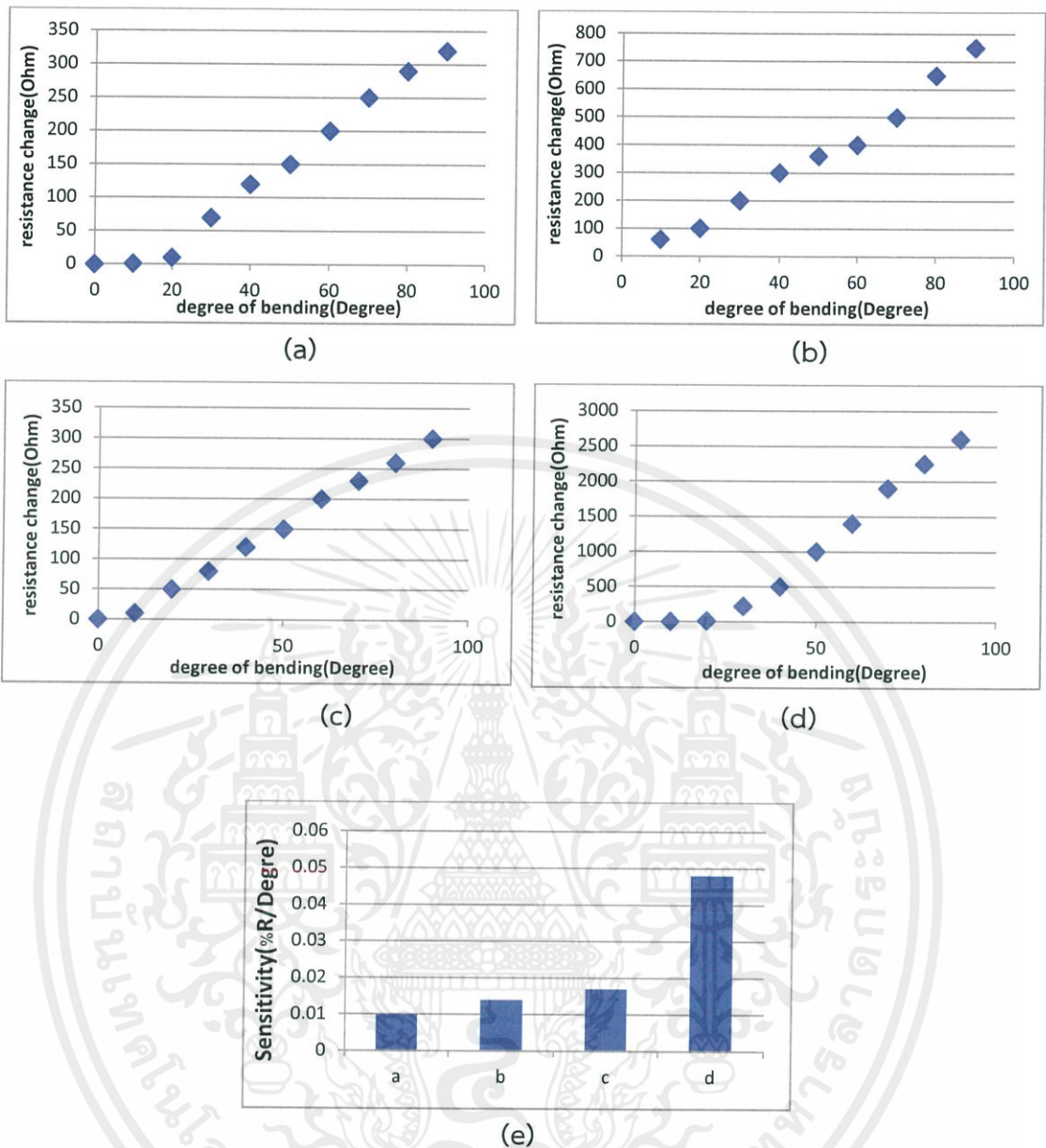




รูปที่ 4.4 ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงต่อองศาการงอเมื่อ CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.25Wt% (a) ปลุกทิวป์ 15 นาที as-grown (b) ปลุกทิวป์ 15 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้าขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที (c) ปลุกทิวป์ 5 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที Fragment1 ครั้ง(d) ปลุกทิวป์ 10 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที Fragment 1 ครั้ง(e) ปลุกทิวป์ 10 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที Fragment 2 ครั้ง(f) ปลุกทิวป์ 5 นาที as-grown one side silicone(g) ปลุกทิวป์ 5 นาที as-grown fragment 2 ครั้ง one side silicone (h) sensitivity ของ a,b,c,d,e,f,g

4.2.2 CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.5Wt%

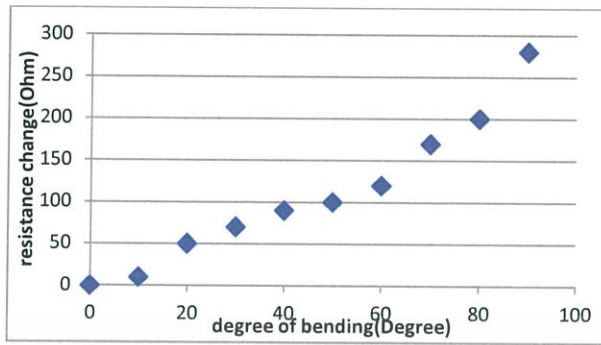
ทดลองด้วยเงื่อนไขการสร้างเซ็นเซอร์ที่แตกต่างกันและทดลองงอที่องศาต่างๆ แล้วนำมาพล็อตกราฟเทียบกับความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงที่แต่ละองศา และวัด Sensitivity ของแต่ละเงื่อนไขแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน



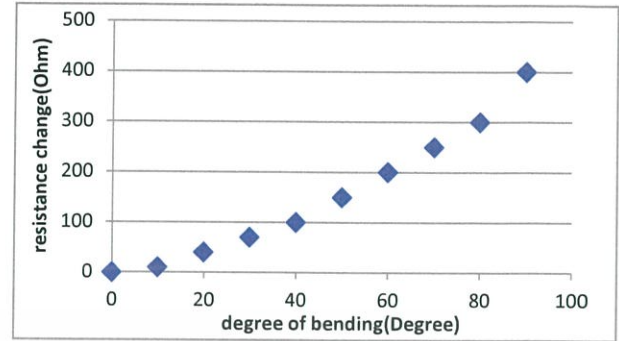
รูปที่ 4.5 ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงต่อองศาการงอเมื่อ CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.5% (a) ปลุกทิวป์ 15 นาที as-grown (b) ปลุกทิวป์ 15 นาที ทริทเมนต์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที (c) ปลุกทิวป์ 10 นาที ทริทเมนต์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA ด้วยเวลา 30 นาที Fragment 1 ครั้ง (d) ปลุกทิวป์ 10 นาที ทริทเมนต์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA ด้วยเวลา 30 นาที Fragment 2 ครั้ง (e) sensitivity ของ a,b,c,d

4.2.3 CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 1Wt%

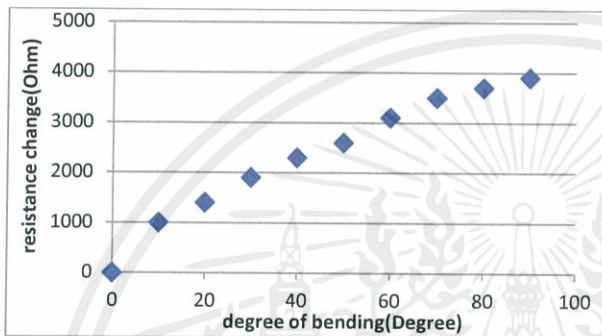
ทดลองด้วยเงื่อนไขการสร้างเซ็นเซอร์ที่แตกต่างกันและทดลองงอที่องศาต่างๆ แล้วนำมาพล็อตกราฟเทียบกับความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงที่แต่ละองศา และวัด Sensitivity ของแต่ละเงื่อนไขแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน



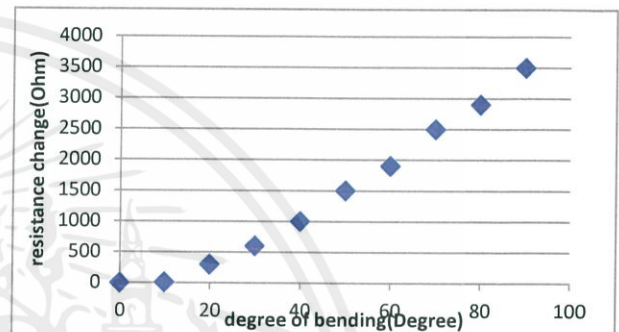
(a)



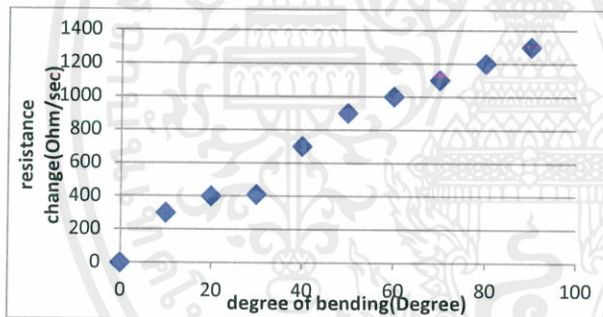
(b)



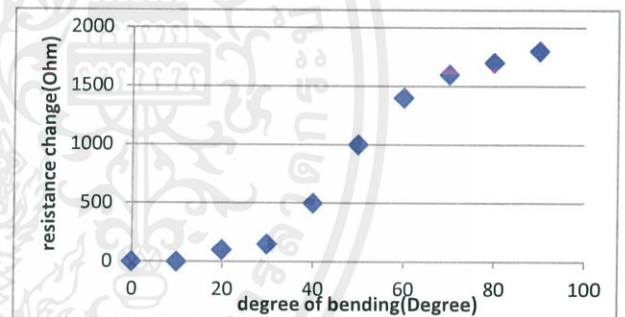
(c)



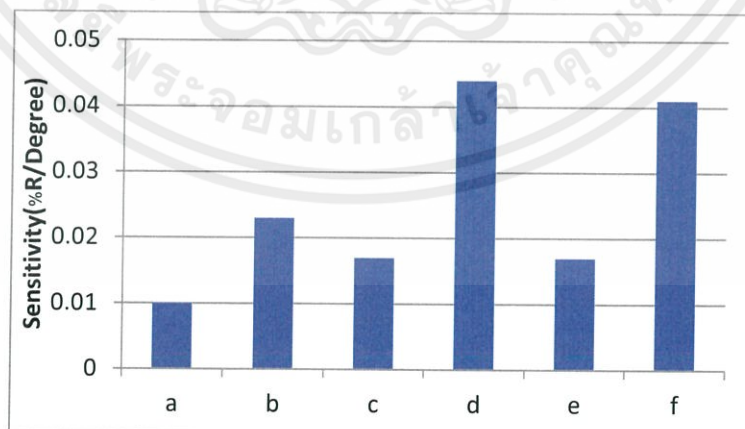
(d)



(e)



(f)



(g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงต่อองศาการงอเมื่อ CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 1Wt.%
 (a) ปลุกทิวป์ 15 นาที as-grown (b)ปลุกทิวป์ 15 ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที(c) ปลุกทิวป์ 5 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที Fragment 1 ครั้ง(d) ปลุกทิวป์ 5 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที Fragment 2 ครั้ง(e)ปลุกทิวป์ 10 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที Fragment 1 ครั้ง(f) ปลุกทิวป์ 10 นาที ทริทเม้นท์กระแสไฟฟ้า ขนาด 500mA เป็นเวลา 30 นาที Fragment 2 ครั้ง (g) sensitivity ของ a,b,c,d,e,f

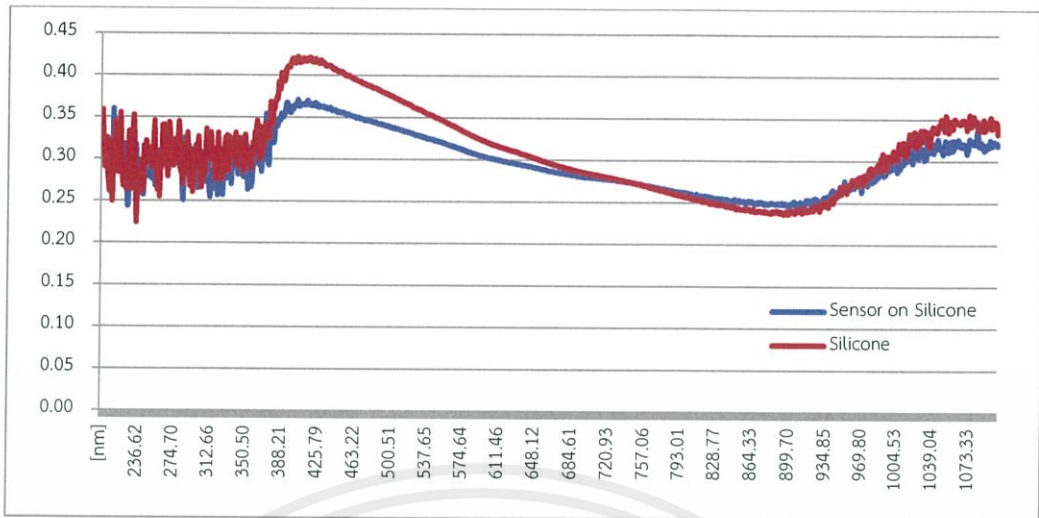
ผลของทริทเม้นท์ด้วยกระแสไฟฟ้าส่งผลกระทบกับ sensitivity น้อยที่ ferrocene 0.25Wt%,0.5Wt% (เปลี่ยนไป~0.003)แต่จะส่งผลมากที่ ferrocene 1Wt% (เปลี่ยนไป~0.013) อาจเพราะที่เงื่อนไข 1% มีโครงสร้างที่ส่งผลขัดขวางการเปลี่ยนแปลงความต้านทานขณะโค้งงอถูกทำลายไปมากกว่าเงื่อนไขอื่น ส่วนผลจาก Fragmentized ส่งผลให้ความต้านทานเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเกิดจากการทำลายโครงสร้างเครือข่าย CNTs บางส่วนไปและเมื่อเกิดการโค้งงอจึงนำไฟฟ้าได้ยากขึ้นอีกเพราะการโค้งงอทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน CNTs ซึ่งส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจึงส่งผลต่อการนำไฟฟ้า ซึ่งยิ่งโครงสร้างบกพร่องจะยิ่งนำไฟฟ้าได้ยากขึ้น สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่สูงขึ้นขณะโค้งงอ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้เทคนิค fragment(รูป4.2.1(h),4.2.2(e),4.2.3(g)) ส่วนที่เปอร์เซ็นต์ferroceneสูงๆผลการเปลี่ยนแปลงความต้านทานจะมากกว่าที่เปอร์เซ็นต์สังเคราะห์ferroceneต่ำๆ และในส่วนโครงสร้างพลาสติกไว้หนึ่งฝั่งและ silicone อีกฝั่งอธิบายได้ว่า CNT โครงสร้างแบบนี้ไม่ได้ถูกกีดกันโดย silicone ไว้โครงสร้างของ CNTsจึงเคลื่อนที่ได้อิสระเมื่อเกิดการงอส่งผลให้เมื่องอเซ็นเซอร์ตรงรอยสัมผัสที่โครงสร้างทิวป์แตะหรือกีดกันจึงถูกคลายออกจากกันส่งผลให้ความต้านทานลดลงเมื่องอและส่งผลอย่างชัดเจนกว่าเซ็นเซอร์ที่ถูกsilicone กีดกันจึงทำให้ได้ค่า sensitivity สูงขึ้น(Sensitivity 0.545 ที่เงื่อนไข 0.25% 5minutes fragment 2 ครั้ง รูป 4.2.1 (g))

4.3) กราฟระหว่างความยาวคลื่นแสงกับความโปร่งแสง



รูปที่ 4.7 เซ็นเซอร์ที่ทดสอบความโปร่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



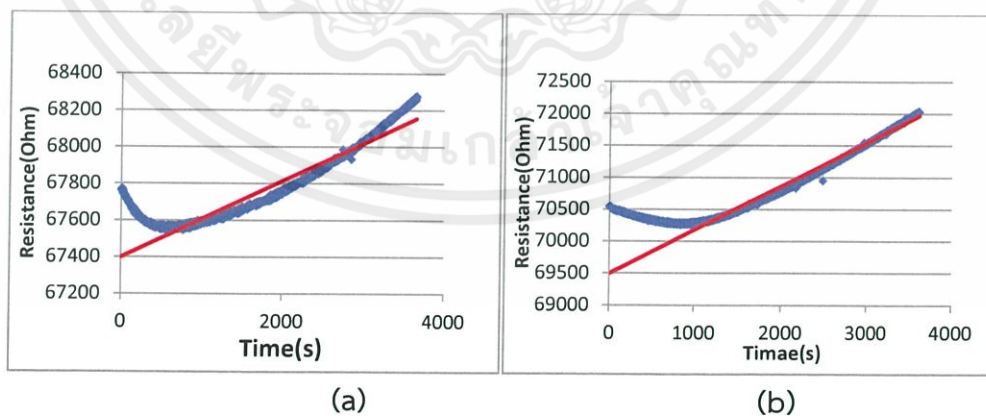
รูปที่ 4.8 กราฟระหว่างความยาวคลื่นแสงกับความโปร่งแสงของเซ็นเซอร์

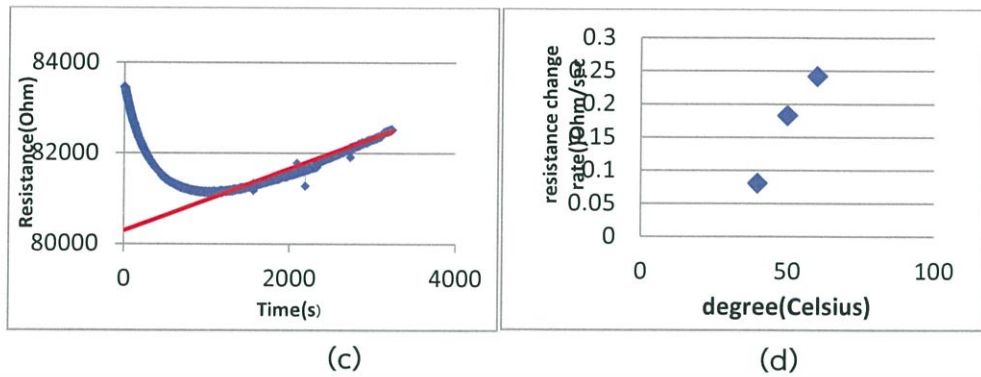
ผลของความโปร่งแสงของ CNT แสงในช่วงที่ตามองเห็นสามารถส่องผ่านได้สูงสุดอยู่ในระดับ 37% ตัว Silicone อยู่ที่ 42%

4.4) ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเซ็นเซอร์

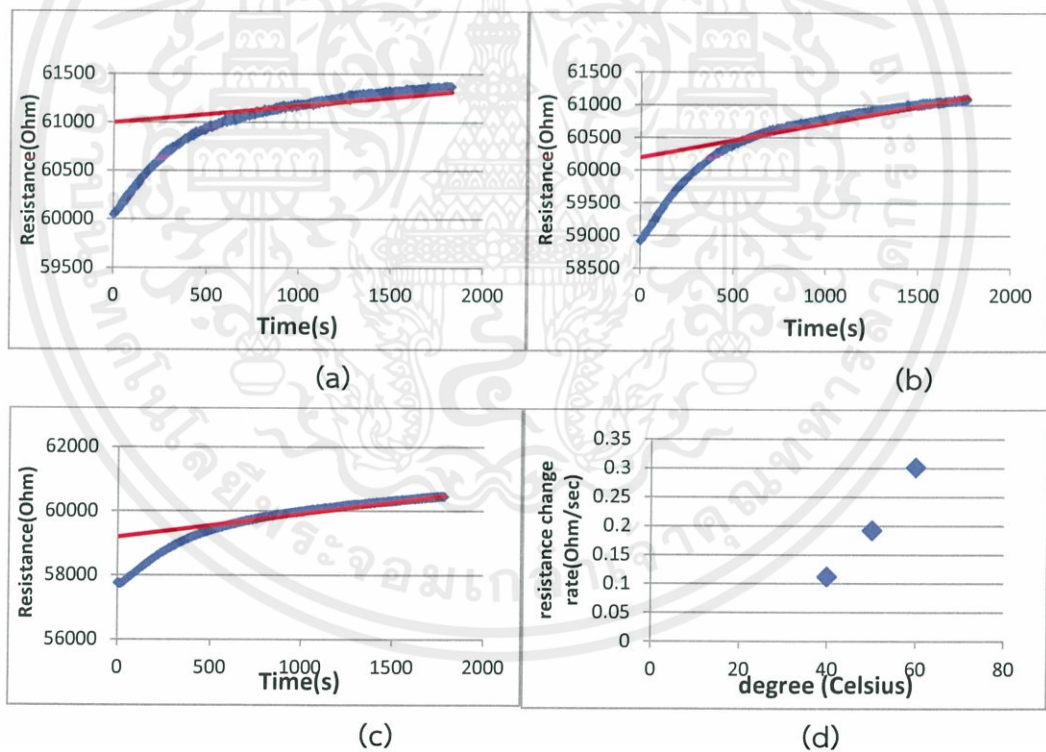
4.4.1. ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเซ็นเซอร์ silicone

ในส่วนนี้จะทำการทดลองตามรูปที่ 3.13, 3.14 และวัดผลการเปลี่ยนแปลงความต้านทานตามเวลาที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 Celcius และวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยใช้แนวโน้มเส้นตรงเพื่อดูว่าอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงความต้านทานอย่างไร และนำอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อองศาเซลเซียสมาพล็อตกราฟ





รูปที่ 4.9 ผลการเปลี่ยนแปลงความต้านตามเวลาของทานเซ็นเซอร์ silicone ที่การเพิ่มไปที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงจากเส้นแนวโน้มหลังจากเวลาผ่านไป 1000s (a) ทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศา มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน= 0.0809 Ohm/sec (b) ทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศา มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน= 0.183 Ohm/sec (c) ทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศา มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน= 0.242 Ohm/sec (d) อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของข้อ a,b,c

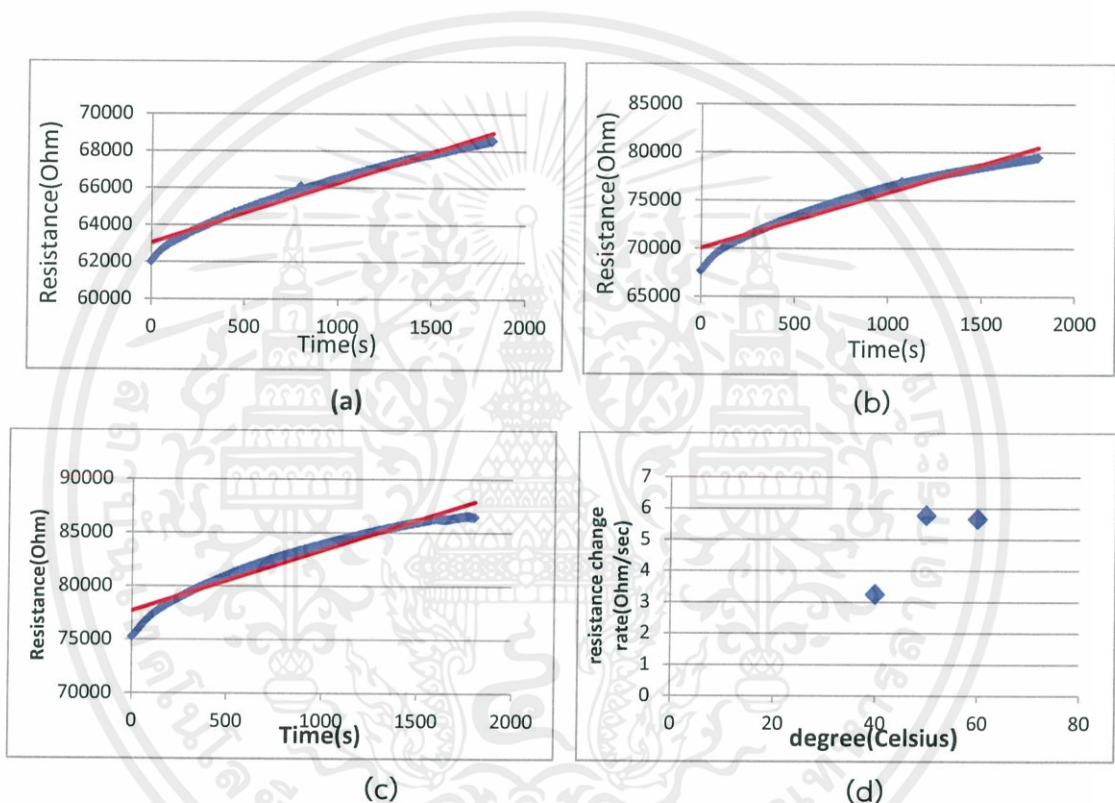


รูปที่ 4.10 ผลการเปลี่ยนแปลงความต้านตามเวลาของทานเซ็นเซอร์ silicone ที่การลดไปที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงจากเส้นแนวโน้มหลังจากเวลาผ่านไป 1000s (a) ทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 10 นาที และเปิดเตา อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน= 0.112 Ohm/sec (b) ทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 10 นาที และเปิดเตา อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน= 0.192 Ohm/sec (c) ทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 10 นาที

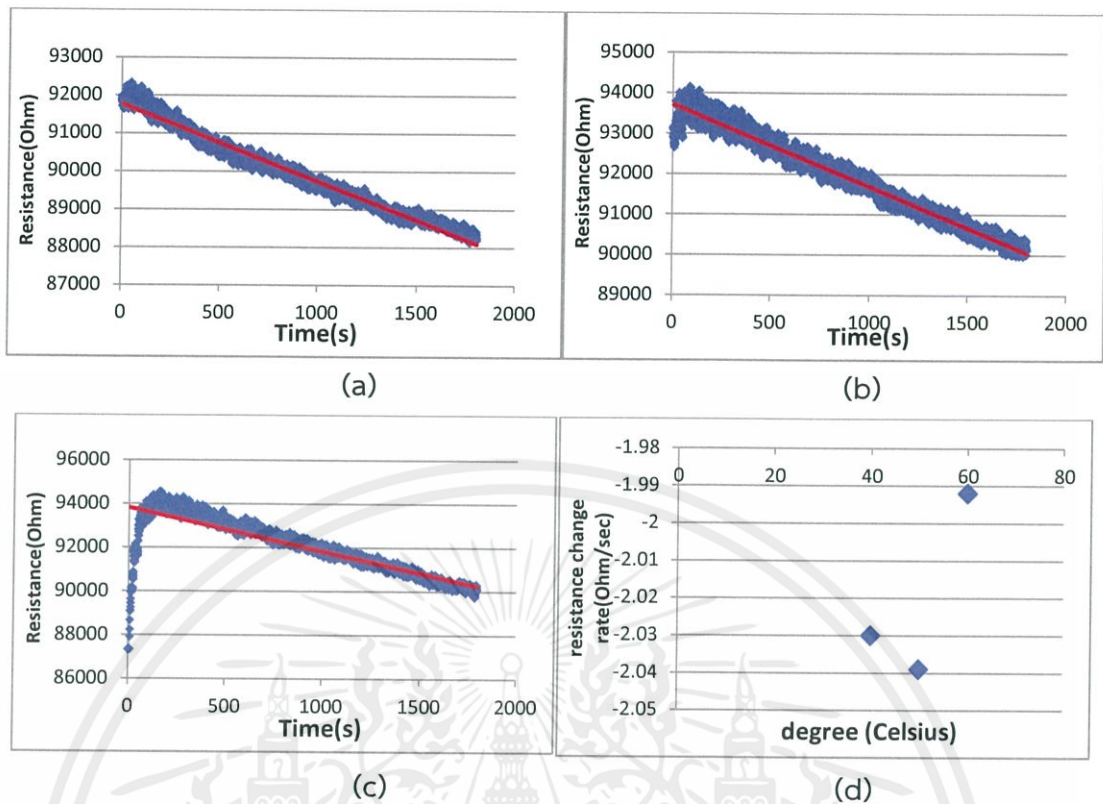
และเปิดเตา อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน = 0.301 Ohm/sec(d) อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของข้อ a,b,c

4.4.2.ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน CNTs on filter

ในส่วนนี้จะทำการทดลองตามรูปที่ 3.13,3.14 และวัดผลการเปลี่ยนแปลงความต้านทานตามเวลาที่อุณหภูมิ 40,50,60 Celcius และวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยใช้แนวโน้มเส้นตรงเพื่อดูว่าอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอย่างไร(กรณี CNTs on filter) และนำอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อองศาเซลเซียสมาพล็อตกราฟ



รูปที่ 4.11 ผลการเปลี่ยนแปลงความต้านตามเวลาของ CNTs on filter ที่การเพิ่มไปที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงจากเส้นแนวโน้มหลังจากเวลาผ่านไป 1000s (a) ทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน= 3.249 Ohm/sec (b) ทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน= 5.774 Ohm/sec (c) ทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน= 5.659 Ohm/sec (d) อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของข้อ a,b,c



รูปที่ 4.12 ผลการเปลี่ยนแปลงความต้านตามเวลาของ CNTs on filter ที่การลดไปที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงจากเส้นแนวโน้มหลังจากเวลาผ่านไป 1000s (a) ทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 10 นาที และเปิดเตา อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน = -2.030 Ohm/sec (b) ทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 10 นาที และเปิดเตา อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน = -2.039 Ohm/sec (c) ทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 10 นาที และเปิดเตา อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน = -1.992 Ohm/sec (d) อัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของข้อ a,b,c

ในส่วนของผลของความร้อนอธิบายได้ว่าเกิดจากคุณสมบัติของCNTเองและเกิดจาก silicone โดยเนื่องจากCNTที่เราสังเคราะห์มีทั้งคุณสมบัติของโลหะและเซมิคอนดักเตอร์ ซึ่งคุณสมบัติของโลหะ(และอนุภาคของโลหะที่อยู่ภายใน)ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าที่แย่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยเกิดจากคุณสมบัติของความเป็นโลหะเอง อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ลำบากขึ้นทำให้ความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากความสามารถในการนำไฟฟ้าลดลง ในกรณีเมื่ออุณหภูมิต่ำลงจะส่งผลตรงข้ามกับความร้อน เนื่องจากความอุณหภูมิที่ต่ำลงจะมีผลให้โครงสร้างมีพลังงานต่ำลงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อโครงสร้างน้อยลงเกิดผลที่ตรงข้ามกับที่กล่าวไปข้างต้น ในส่วนของCNTที่มีsilicone อาจเกิดจากการกีดกันของ silicone ลงบนCNTsและเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น silicone เกิดการขยายตัว ความต้านทานของCNTจึงสูงขึ้นจากการขยายตัวของเนื้อสารซึ่งแต่เดิมรัดตัว ทำให้โครงสร้างCNTขยายออกจากกันมากขึ้นความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้านทานจึงสูงขึ้นและในกรณีเมื่ออุณหภูมิต่ำลง silicone จะควรจะหดตัวและความต้านทานควรลดลงแต่ด้วยความร้อนที่สะสมไว้อาจทำให้ silicone ยังไม่คายตัวภายในระยะเวลาที่ทำการทดลอง ส่งผลให้ความต้านทานยังคงเพิ่มมากขึ้น

4.5) ผลของแรงดันไฟฟ้าที่องศาการงอต่างๆ

โดยการงอเซ็นเซอร์ที่องศาต่างๆจะให้ผลของแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกัน การวัดผลแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำผลการทดลองไปเป็นข้อมูลในการเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจจบบองศาการงอในการใช้งานตรวจจับการเคลื่อนไหวร่างกาย

ใช้ CNTs สังเคราะห์ที่ ferrocene 0.5Wt% 10 นาที Fragment 2 ครั้ง



รูปที่ 4.13 ทดลองวัดแรงดันเอาต์พุตกับการงอที่องศาต่างๆ

Resistance before bending	76		76.5		77		77.5	
Degree	Vout	Data	Vout	Data	Vout	Data	Vout	Data
0	1.48	296	1.61	322	1.68	336	1.824	364.8
10	1.495	299	1.62	324	1.682	336.4	1.838	367.6
20	1.55	310	1.65	330	1.74	348	1.877	375.4
30	1.64	328	1.69	338	1.79	358	1.925	385
40	1.67	334	1.73	346	1.82	364	1.955	391
50	1.7	340	1.76	352	1.84	368	1.96	392
60	1.75	350	1.81	362	1.9	380	2.039	407.8
70	1.84	368	1.88	376	1.95	390	2.108	421.6
80	1.92	384	1.95	390	2.02	404	2.151	430.2
90	2	400	2.02	404	2.12	424	2.25	450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Resistance before bending	78.5		78.9		79.5		80	
	Vout	Data	Vout	Data	Vout	Data	Vout	Data
0	2.079	415.8	2.18	436	2.34	468	2.456	491.2
10	2.1	420	2.19	438	2.35	470	2.49	498
20	2.12	424	2.23	446	2.37	474	2.51	502
30	2.16	432	2.27	454	2.4	480	2.56	512
40	2.2	440	2.33	466	2.45	490	2.59	518
50	2.23	446	2.33	466	2.47	494	2.61	522
60	2.27	454	2.37	474	2.532	506.4	2.67	534
70	2.33	466	2.48	496	2.6	520	2.75	550
80	2.4	480	2.51	502	2.69	538	2.83	566
90	2.49	498	2.61	522	2.78	556	2.91	582

ตารางที่ 4.1 ทดลองวัดแรงดันเอาต์พุตกับการงอที่องศาต่างๆ

4.6) ผลการทำงานของอุปกรณ์ติดตามการงอที่หัวเข้าโดยใช้ข้อมูลผลของแรงดันไฟฟ้าที่องศาการงอต่างๆ

เพื่อจะทดสอบว่าค่าแรงดันต่อองศาที่เซ็นเซอร์งอที่ทดลองมาสามารถใช้กับแอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นมาได้ดีแค่ไหน เมื่อใช้กับการทดลองที่ควบคุมเป็นอย่างดีให้เซ็นเซอร์โค้งงอกับเครื่องทดสอบการงอก่อนจะนำไปสวมใส่กับร่างกายจริงในขั้นต่อไป

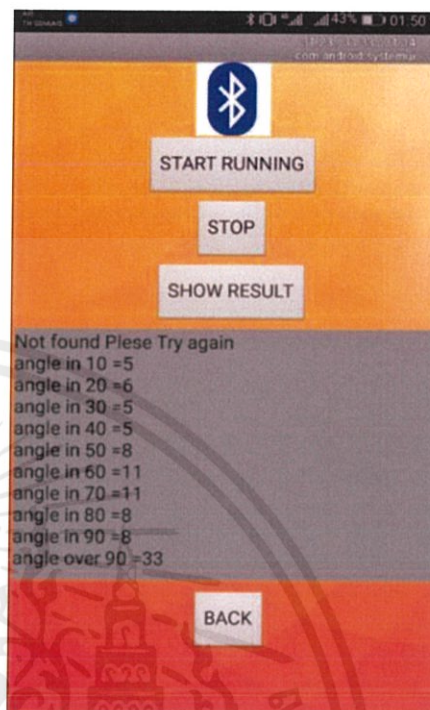


รูปที่ 4.14 ผลการงอผ่านการโทรศัพท์มือถือขณะที่ยังเซ็นเซอร์ด้วยเครื่องงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกับเครื่องงอและส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชัน

องศาการงอ	ครั้งการงอที่นับได้
10	5
20	6
30	5
40	5
50	8
60	11
70	11
80	8
90	8
Over 90	33



รูปที่ 4.15 หน้าจอการแสดงผลการทดสอบ

แสดงให้เห็นว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง (สูงสุด \approx 50% ที่องศา10-50) จากการทดลองงอค้างไว้ 5วินาทีควรจะตรวจจับการงอได้องศาละ10ครั้ง แต่ที่องศาการงอสูงขึ้นความคลาดเคลื่อนจะลดต่ำลง (\approx 20% ที่องศา 50-90)ทั้งยังตรวจจับการงอเกิน90องศาได้สูงอาจเกิดจาก Spike ขณะที่อย่างรวดเร็วและที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงองศาสูงๆได้ดีอาจเพราะที่องศาการมากๆมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานสูงจึงสามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ชัดเจน

4.7) การทดสอบเมื่อใส่ใช้งานจริงและส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชัน

ส่วนการทดลองด้านการประยุกต์ใช้งานนั้นสามารถรับส่งข้อมูลได้โดยมีการรับข้อมูลจาก Sensor ส่งข้อมูลผ่าน Bluetooth ไปแสดงผลที่โทรศัพท์ android โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์มีการทำงานที่ไม่เป็นไปตามอุดมคติโดยอุปกรณ์อาจเกิดการหน่วงเวลาซึ่งเกิดจากการตรวจสอบเงื่อนไขและในแต่ละรอบของโปรแกรมที่ใช้ประมวลผล ซึ่งเกิดการหน่วงเวลาค่อนข้างมาก เพราะตามอุดมคติถ้าไม่มีการหน่วงเวลาควรจับการเคลื่อนไหวได้20ครั้ง(การทดสอบครั้งที่1 ทดลองโดยใช้เวลา10วินาที)แต่จับการเคลื่อนไหวได้เพียง14ครั้ง(รูปที่4.15)หรืออาจเกิดจากค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลาดเคลื่อนจากตัวเซ็นเซอร์เกิดโดยเกิดspikeจากsensorหรือจังหวะการงอของหัวเข่าไม่ได้รูปมากพอให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณที่ชัดเจนอีกทั้งยังขึ้นอยู่กับสรีระของผู้สวมใส่และอาจเป็นเพราะผลของอุณหภูมิเป็นต้นจึงทำให้การตรวจจับยังไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร จึงได้เปลี่ยนมาทำการทดลองส่วนที่มีการโค้งงอสูงๆเช่นนิ้วมือและได้ผลการตอบสนองที่ดีขึ้นเนื่องจากนิ้วมือมีการงอที่ชัดเจนแต่ผลที่ได้ก็ยังมีผิดพลาดสูง ในการทดลอง3ครั้งจะมี1ครั้งที่ไม่ได้ผล(รูปที่4.16)

4.7.1 ทดสอบครั้งที่ 1 งอแขนอยู่กับที่ 8 ครั้ง (ใช้เวลา10 วินาที)

เพื่อจะทดสอบการใช้งานจริงกับร่างกายจุดที่มีส่วนโค้งที่กว้างเพราะการทดสอบที่ผ่านมาได้ทำกับเครื่องงอซึ่งมีส่วนโค้งที่แคบจึงคาดว่าน่าจะส่งผลกระทบต่อที่ต่างกัน จึงได้ทำการทดสอบดังกล่าวและวัดผลโดยตรวจว่าแอปพลิเคชันตรวจจับการเปลี่ยนแปลงการโค้งงอได้กี่ครั้งและสอดคล้องกับความเป็นจริงที่โค้งงอแค่ไหน



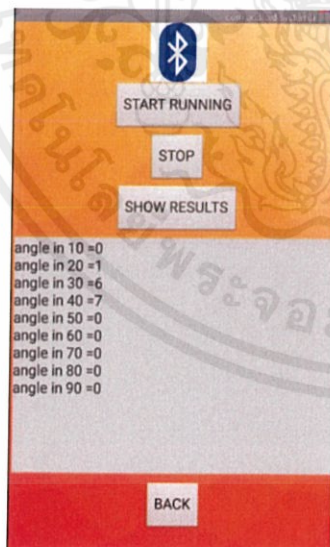
(a)



(b)



(c)



(d)

องศาการงอ	ครั้งการงอที่นับได้
10	0
20	1
30	6
40	7
50	0
60	0
70	0
80	0
90	0

รูปที่ 4.16 ท่าทางการเคลื่อนไหวทดสอบงอขา (a) ขณะยืดแขนตรง (b) ขณะงอแขนเล็กน้อย (c) ขณะงอแขนตั้งฉาก (d) ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 ทดสอบครั้งที่ 2 โค้งงอตามนิ้วมือ (งอค้ำที่แต่ละองศาใช้เวลา 10 วินาที ทดลอง 3 ครั้ง)

การทดลองก่อนหน้าให้ผลที่คลาดเคลื่อนสูงตามที่คาดเพราะข้อศอกมีส่วนโค้งที่กว้าง จึงได้เปลี่ยนมาเป็นนิ้วมือแทน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 ทดสอบและผลการทดสอบครั้งที่ 2 โค้งงอตามนิ้วมือ (a)งอ40องศา ทดลอง 3ครั้ง ครั้งละ 10วินาที (b)งอ50องศา องศา ทดลอง 3ครั้ง ครั้งละ10วินาที (c)งอ60องศา องศา ทดลอง 3ครั้ง ครั้งละ10วินาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการสร้างเซ็นเซอร์โค้งงอที่มีความโปร่งใสมีความยืดหยุ่นและมีความไว (Sensitivity) สูงซึ่งจากการทดลองได้ทำการสร้างเซ็นเซอร์ด้วย PDMS โดยจะมีการสร้าง 3 แบบหลักๆคือแบบFragmentized(เจือจาง) , non Fragmentized(ไม่เจือจาง) , Fragmentized + one side of silicone และมีการทดลองคุณสมบัติของสนามไฟฟ้าที่ส่งอิทธิพลต่อเซ็นเซอร์ซึ่งผลของการที่หุ้มมันท์ด้วยกระแสไฟฟ้าจะทำให้ได้เสถียรภาพที่ดีขึ้น(มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่อเวลาต่ำลง)และ sensitivity สูงขึ้นในกรณีที่สังเคราะห์ที่เจือปน 1% ferrocene

ส่วนการทดลองทำ Fragmentized จะทำให้เซ็นเซอร์มีผลการตอบสนองที่ดีขึ้นแต่มีความเสถียรลดลง (มีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น $\approx 0.5-0.6\%$ ที่เจือปน 0.5% 10mintues fragment 2 ครั้ง) แต่ยังให้ผลการตอบสนองที่ยังไม่สูงมาก จึงได้ทำการทดลองใช้เซ็นเซอร์ silicone กับ พลาสเตอร์โปร่งใสได้ปรับเปลี่ยนมาใช้พลาสเตอร์โปร่งใสคลุมที่ด้านหน้าแทนที่ silicone ส่งผลให้ผลการตอบสนอง (Sensitivity) ที่สูงขึ้นเป็น 0.545 และสูงมากกว่าสินค้าตามท้องตลาดที่มีค่า Sensitivity ประมาณ 0.3 สูงกว่าเซ็นเซอร์ที่ทำช่วงแรกที่มีค่าอยู่ประมาณ 0.034 (ที่เจือปน 0.5% 10mintues fragment 2 ครั้ง วัดค่า Gauge factor ได้ 3.85)

ส่วนผลของอุณหภูมิหากอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นจากค่าหนึ่งไปค่าหนึ่งและคงที่ค่าความต้านทานจะลดต่ำลงช่วงแรกและเพิ่มมากขึ้นในภายหลัง กรณีเซ็นเซอร์ silicone และความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในกรณี CNTs on filter หากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงลดต่ำลงจากค่าหนึ่งไปค่าหนึ่งและคงที่ค่าความต้านทานจะมากขึ้นในเซ็นเซอร์แบบ Silicone และลดต่ำลงกรณี CNTs on filter ในส่วนผลของความโปร่งแสงทำได้อยู่ในระดับ 37%

ส่วนการทดลองด้านการประยุกต์ใช้งานนั้นสามารถรับส่งข้อมูลได้แต่ยังประสบปัญหาเรื่องความคงทนของเซ็นเซอร์ รูปทรงของร่างกายที่ไม่เข้าส่วนรับกับเซ็นเซอร์ทำให้ตรวจจับได้ยากและยังแสดงผลได้ไม่ดีเท่าที่ควร

เอกสารอ้างอิง

- [1] Long Wang¹, Kenneth J. Loh^{2,*}, Helen S. Koo³ Wearable Carbon Nanotube
- [2] Fabric Sensors for Strain and Temperature Monitoring
- [3] <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>
- [4] Brittan Alan Farmer Modeling and simulation of carbon nanotube growth
- [5] Egill Skúlason Metallic and Semiconducting Properties of Carbon Nanotubes
- [6] Krzysztof Koziol, Bojan Obrad Boskovic, and Noorhana Yahya Synthesis of Carbon Nanostructures by CVD Method
- [7] Ahmed E. Awadallah *, Sohair M. Abdel-Hamid, Doaa S. El-Desouki, Ateyya A . Aboul-Enein, Ahmed K. Aboul-Gheit Synthesis of carbon nanotubes by CCVD of natural gas using hydrotreating catalysts
- [8] HONGJIE DAI Carbon Nanotubes: Synthesis, Integration, and Properties Acc. Chem. Res. 2002, 35, 1035- 1
- [9] Wei Zhao^a, Hyun Sung Kim^b, Hyung Tae Kim^c, Jiangong Gong^d and Ik Jin Kim^{a,*} Synthesis and growth of multi-walled carbon nanotubes (MWNTs) by CCVD using Fe-supported zeolite templates Journal of Ceramic Processing Research. Vol. 12, No. 4, pp. 392~397 (2011)
- [10] Juan Ramon Sanchez-Valencia^{1†}, Thomas Dienel¹, Oliver Gröning¹, Ivan Shorubalko², Andreas Mueller^{3†}, Martin Jansen³, Konstantin Amsharov^{3†}, Pascal Ruffieux¹ & Roman Fasel^{1,4} Controlled synthesis of single-chirality carbon nanotubes NPG; Journal: Nature: Nature; Article Type: Physics letter DOI: 10.1038/nature13607
- [11] http://www.vtsun.com/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=9&lang=th
- [12] <http://www.fujilloy.co.th/index.php/product/coating/cvd-coatng/>
- [13] http://vttf.buu.ac.th/index.php?option=com_content&view=rticle&id=22&Itemid=3
- [14] <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-question-answer/1573>
- [15] Mukul Kumar Carbon Nanotube Synthesis and Growth Mechanism Siva Yellampalli, ISBN 978-953-307-497-9 July 20, 2011 under CC BY-NC-SA 3.0 license.
- [16] <https://www.cheaptubes.com/>
- [17] <http://news.mit.edu/2015/explained-chemical-vapor-deposition-0619>

- [18] Jay P. Gore and Anup Sane Flame Synthesis of Carbon Nanotubes Siva Yellampalli, ISBN 978-953-307-497-9 July 20, 2011 under CC BY-NC-SA 3.0
- [19] เกรียงไกร สุขสุด 2017 01046514 “เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและการวัด”
- [20] <http://www.technologymedia.co.th/articledetail.asp?arid=2484&pid=257>
- [21] Ferrocene-ethanol-mist CVD grown SWCNT films as transparent electrodes
Kittipong Jantharamatsakarna, Sutichai Chaisitsak
- [22] <http://physicsworld.com/cws/article/news/2001/jun/28/nanotubes-are-the-new-superconductors>
- [23] http://www.kyowa-ei.co.th/tha/technical/strain_gages
- [24] <http://www.scimath.org/article-chemistry/item/7391-carbon-nanotubes>
- [25] https://www.researchgate.net/publication/39031750_karwicaylaeaphathna_sensexrtwkwadkasdythxkharbxnnano
- [26] Irina V. Zaporotskova, Natalia P. Boroznina, Yuri N. Parkhomenko, Lev V. Kozhitov “Carbon nanotubes: Sensor properties. A review” Modern Electronic Materials 2016
- [27] อภิชาติ ด่านวิทยากุล “ท่อนาโนคาร์บอน: วัสดุในอนาคต” MTEC ตุลาคม-ธันวาคม 2553
- [28] อรุณี หลีกคำ , วิทวัช วงศ์พิศาล และ ดร.สินธุ์ จันทพันธ์ “วิศวกรรมพื้นผิว ตอนที่ 3 กระบวนการสร้าง ฟิล์มบาง ด้วยไอเคมีและไอทางกายภาพภายใต้สภาวะสุญญากาศ” MTEC กรกฎาคม-กันยายน 2557
- [29] <http://physicsworld.com/cws/article/news/2001/jun/28/nanotubes-are-the-new-superconductors>
- [30] Takeo Yamada¹, Yuhei Hayamizu¹, Yuki Yamamoto¹, Yoshiki Yomogida¹, Ali Izadi-Najafabadi¹, Don N. Futaba¹ and Kenji Hata A stretchable carbon nanotube strain sensor for human-motion detection
- [31] Yang Gao , Xiaoliang Fang, Jianping Tan, Ting Lu, Likun Pan and Fuzhen Xuan, Highly sensitive strain sensors based on fragmented carbon nanotube/polydimethylsiloxane composites
- [32] Benjamin Mahar, Cosmin Laslau, Student Member, IEEE, Ronnie Yip, and Yu Sun, Member IEEE Development of Carbon Nanotube-Based Sensors—A Review. IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 7, NO. 2, FEBRUARY 2007.
- [33] Le Cai and Chuan Wang , Carbon Nanotube Flexible and Stretchable Electronics. , Cai and Wang Nanoscale Research Letters (2015) 10:320.

[34] Irina V. Zaporotskovaa,* , Natalia P. Borozninaa, Yuri N. Parkhomenkob, Lev V. Kozhitovb, Carbon nanotubes: Sensor properties. A review, Volgograd State University, 100 Universitetskii Prospekt, Volgograd 400062, Russia b National University of Science and Technology MISiS, 4 Leninskiy Prospekt, Moscow 119049, Russia

[35] Simone Colasanti, Vijay Deep Bhatt and Paolo Lugli, 3D Modeling of CNT Network for Sensing Applications .

[36] https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube

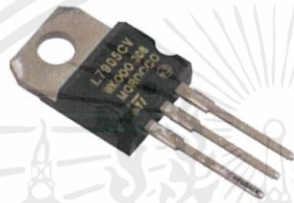


ภาคผนวก

อุปกรณ์และใช้ในวงจร

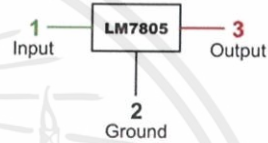
LM7805 และ LM7905 (Voltage Regulator)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันจากไปแหล่งจ่ายให้มีค่าคงที่ในที่นี้เราใช้ LM7805 และ LM7905 โดยคุณสมบัติทั้ง ชนิดนี้ทำหน้าที่คล้ายกัน ในส่วนของ LM7805 จะให้เอาต์พุตที่มีค่าเป็นบวกและ LM7905 จะให้เอาต์พุตเป็นลบ



รูปที่ LM7905

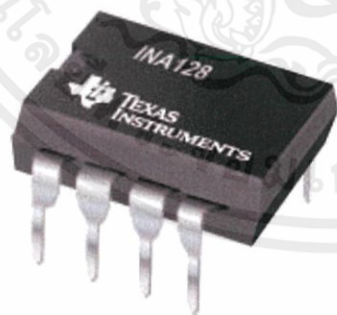
LM7805 PINOUT DIAGRAM



รูปที่ LM7805

INA128 (Instrumentation Amplifiers)

เป็นอุปกรณ์ในการขยายแรงดันจากส่วนต่างของอินพุท จากวงจรบริดจ์ ดังกล่าวนำมาขยายสัญญาณ โดยรูปร่างหน้าตาของ INA128 จะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ INA128

INA128



รูปที่ ภาพของขาอุปกรณ์

ในแต่ละขาของอุปกรณ์จะมีหน้าที่ต่างกันคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา 1 มีหน้าที่สำหรับต่อเข้ากับความต้านทานกับขา 8 เพื่อกำหนดอัตราขยายของสัญญาณ
- ขา 2 มีหน้าที่ไว้สำหรับใส่สัญญาณอินพุตที่มีค่าแรงดันที่น้อยกว่า
- ขา 3 มีหน้าที่ไว้สำหรับใส่สัญญาณอินพุตที่มีค่าแรงดันที่มากกว่า
- ขา 4 มีหน้าที่ไว้สำหรับใส่ไฟเลี้ยงลบ
- ขา 5 มีหน้าที่ไว้กำหนด แรงดันอ้างอิง
- ขา 6 มีหน้าที่ไว้เป็นช่องเอาต์พุตของสัญญาณที่ขยายได้
- ขา 7 มีหน้าที่ไว้สำหรับใส่ไฟเลี้ยงบวก
- ขา 8 มีหน้าที่สำหรับต่อเข้ากับความต้านทานกับขา 1 เพื่อกำหนดอัตราขยายของสัญญาณ

Code Arduino

```

unsigned int                                     ;
a,b,c,d,e,f,g,h,x,j,l,k,l,m,n,o,p,q,r,s,t,aa,b  }
b,cc,dd =0;                                     else if (
int in = A0;                                     296<=analogRead(in)&&analogRead(in)
String data;                                     <299 )
String data1;                                    {
int val;                                         a=a+1;
int val2;                                        }
void setup()                                     else if
{                                                  (299<=analogRead(in)&&analogRead(in)
  Serial.begin(9600);                             <310)
  pinMode(in,INPUT);                              {
}                                                  b=b+1;
void functions1()                                }
{                                                  else if
  while(Serial.readString()!="f")                 (310<=analogRead(in)&&analogRead(in)
  {                                                 <328)
  for(u=0;u<50;u++)                                {
    {                                              c=c+1;
      if ( analogRead(in)<296 )                    }
    {

```

```

else if
(310<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<328)
    {
        d=d+1;
    }
else if
(328<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<334)
    {
        e=e+1;
    }
else if
(334<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<340)
    {
        f=f+1;
    }
else if
(340<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<350)
    {
        g=g+1;
    }
else if
(350<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<368)
    {
        h=h+1;
    }
else if
(368<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<384)
    {
        i=i+1;
    }
else
    {
        j=j+1;
    }
}
dd = max(a,b);
dd = max(dd,c);
dd = max(dd,d);
dd = max(dd,e);
dd = max(dd,f);
dd = max(dd,g);
dd = max(dd,h);
dd = max(dd,i);
dd = max(dd,j);
if(a==dd)
    { k++; }
else if(b==dd)
    { l++; }
else if(c==dd)
    { m++; }
else if(d==dd)
    { n++; }
else if(e==dd)
    { o++; }
else if(f==dd)
    { p++; }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if(g==dd)
    {q++;}
else if(h==dd)
    { r++;}
else if(i==dd)
    {s++;}
else if(j==dd)
    {t++;}
    }
aa=k+l+m;
bb=n+o+p;
cc=q+r+s+t;
    if (aa>bb&&aa>cc)
    {
        Serial.println("Bad");
    }
else if (bb>aa&&bb>cc)
    {
        Serial.println("Not Bad");
    }
else if (cc>bb&&cc>aa)
    {
        Serial.println("Good");
    }
    Serial.print("angle in 10 =");
    Serial.println(a);
    Serial.print("angle in 20 =");
    Serial.println(b);
    Serial.print("angle in 30 =");
    Serial.println(c);
    Serial.print("angle in 40 =");
    Serial.println(d);
        Serial.print("angle in 50 =");
        Serial.println(e);
        Serial.print("angle in 60 =");
        Serial.println(f);
        Serial.print("angle in 70 =");
        Serial.println(g);
        Serial.print("angle in 80 =");
        Serial.println(h);
        Serial.print("angle in 90 =");
        Serial.println(i);
a=b=c=d=e=f=g=h=i=x=j=k=l=m=n=o
=p=q=r=s=t=aa=bb=cc=0;
    }
void functions2()
    {
        while(Serial.readString()!="f")
        {
            for(u=0;u<50;u++)
            {
                if ( analogRead(in)<296 )
                {
                    ;
                }
                else if (
                    296<=analogRead(in)&&analogRead(in)
                    <299 )
                {
                    a=a+1;
                }
            }
        }
    }

```

```

        b=b+1;
    }
else if
(299<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<310)
    {
        c=c+1;
    }
else if
(310<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<328)
    {
        d=d+1;
    }
else if
(328<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<334)
    {
        e=e+1;
    }
else if
(334<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<340)
    {
        f=f+1;
    }
else if
(340<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<350)
    {
        g=g+1;
    }
else if
(350<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<368)
    {
        h=h+1;
    }
else if
(368<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<384)
    {
        i=i+1;
    }
else
    {
        j=j+1;
    }
}
dd = max(a,b);
dd = max(dd,c);
dd = max(dd,d);
dd = max(dd,e);
dd = max(dd,f);
dd = max(dd,g);
dd = max(dd,h);
dd = max(dd,i);
dd = max(dd,j);
if(a==dd)
{ k++; }
else if(b==dd)
{l++;}
else if(c==dd)
{m++; }
else if(d==dd)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {n++;
    else if(e==dd)
    {o++;
    else if(f==dd)
    {p++;
    else if(g==dd)
    {q++;
    else if(h==dd)
    { r++;
    else if(i==dd)
    {s++;
    else if(j==dd)
    {t++;
    }
    aa=k+l+m;
    bb=n+o+p;
    cc=q+r+s+t;
    if (aa>bb&&aa>cc)
    {
        Serial.println("Bad");
    }
    else if (bb>aa&&bb>cc)
    {
        Serial.println("Not Bad");
    }
    else if (cc>bb&&cc>aa)
    {
        Serial.println("Good");
    }
    Serial.print("angle in 10 =");
    Serial.println(a);
    Serial.print("angle in 20 =");
    Serial.println(b);
    Serial.print("angle in 30 =");
    Serial.println(c);
    Serial.print("angle in 40 =");
    Serial.println(d);
    Serial.print("angle in 50 =");
    Serial.println(e);
    Serial.print("angle in 60 =");
    Serial.println(f);
    Serial.print("angle in 70 =");
    Serial.println(g);
    Serial.print("angle in 80 =");
    Serial.println(h);
    Serial.print("angle in 90 =");
    Serial.println(i);
    a=b=c=d=e=f=g=h=i=x=j=k=l=m=n=o
    =p=q=r=s=t=aa=bb=cc=0;
    }
    void functions3()
    {
        while(Serial.readString()!="f")
        {
            for(u=0;u<50;u++)
            {
                if ( analogRead(in)<296 )
                {
                    ;
                }
                else if (
                296<=analogRead(in)&&analogRead(in)
                <299 )
                {

```

```

        a=a+1;
    }
    else if
(299<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<300)
    {
        b=b+1;
    }
    else if
(299<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<310)
    {
        c=c+1;
    }
    else if
(310<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<328)
    {
        d=d+1;
    }
    else if
(328<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<334)
    {
        e=e+1;
    }
    else if
(334<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<340)
    {
        f=f+1;
    }
    else if
(340<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<350)
    {
        g=g+1;
    }
    else if
(350<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<368)
    {
        h=h+1;
    }
    else if
(368<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<384)
    {
        i=i+1;
    }
    else
    {
        j=j+1;
    }
}
dd = max(a,b);
dd = max(dd,c);
dd = max(dd,d);
dd = max(dd,e);
dd = max(dd,f);
dd = max(dd,g);
dd = max(dd,h);
dd = max(dd,i);
dd = max(dd,j);
if(a==dd)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{ k++; }
else if(b==dd)
{l++;}
else if(c==dd)
{m++; }
else if(d==dd)
{n++;}
else if(e==dd)
{o++;}
else if(f==dd)
{p++;}
else if(g==dd)
{q++;}
else if(h==dd)
{ r++;}
else if(i==dd)
{s++;}
else if(j==dd)
{t++;}
}
aa=k+l+m;
bb=n+o+p;
cc=q+r+s+t;
if (aa>bb&&aa>cc)
{
Serial.println("Bad");
}
else if (bb>aa&&bb>cc)
{
Serial.println("Not Bad");
}
else if (cc>bb&&cc>aa)
{
Serial.println("Good");
}
Serial.print("angle in 10 =");
Serial.println(a);
Serial.print("angle in 20 =");
Serial.println(b);
Serial.print("angle in 30 =");
Serial.println(c);
Serial.print("angle in 40 =");
Serial.println(d);
Serial.print("angle in 50 =");
Serial.println(e);
Serial.print("angle in 60 =");
Serial.println(f);
Serial.print("angle in 70 =");
Serial.println(g);
Serial.print("angle in 80 =");
Serial.println(h);
Serial.print("angle in 90 =");
Serial.println(i);
a=b=c=d=e=f=g=h=i=x=j=k=l=m=n=o
=p=q=r=s=t=aa=bb=cc=0;
}
void functions4()
{
while(Serial.readString()!="f")
{
for(u=0;u<50;u++)
{
if ( analogRead(in)<296 )
{
;
}
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

dd = max(dd,f);
dd = max(dd,g);
dd = max(dd,h);
dd = max(dd,i);
dd = max(dd,j);
if(a==dd)
{ k++; }
else if(b==dd)
{ l++; }
else if(c==dd)
{ m++; }
else if(d==dd)
{ n++; }
else if(e==dd)
{ o++; }
else if(f==dd)
{ p++; }
else if(g==dd)
{ q++; }
else if(h==dd)
{ r++; }
else if(i==dd)
{ s++; }
else if(j==dd)
{ t++; }
}
aa=k+l+m;
bb=n+o+p;
cc=q+r+s+t;
if (aa>bb&&aa>cc)
{
    Serial.println("Bad");
}
else if (bb>aa&&bb>cc)
{
    Serial.println("Not Bad");
}
else if (cc>bb&&cc>aa)
{
    Serial.println("Good");
}
Serial.print("angle in 10 =");
Serial.println(a);
Serial.print("angle in 20 =");
Serial.println(b);
Serial.print("angle in 30 =");
Serial.println(c);
Serial.print("angle in 40 =");
Serial.println(d);
Serial.print("angle in 50 =");
Serial.println(e);
Serial.print("angle in 60 =");
Serial.println(f);
Serial.print("angle in 70 =");
Serial.println(g);
Serial.print("angle in 80 =");
Serial.println(h);
Serial.print("angle in 90 =");
Serial.println(i);
a=b=c=d=e=f=g=h=i=x=j=k=l=m=n=o
=p=q=r=s=t=aa=bb=cc=0;
}
void functions5()
{

```

```

while(Serial.readString()!="f")
{
    for(u=0;u<50;u++)
    {
        if ( analogRead(in)<322 )
        {
            ;
        }
    }
    else if (
322<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<324 )
    {
        a=a+1;
    }
    else if
(324<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<330)
    {
        b=b+1;
    }
    else if
(330<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<338)
    {
        c=c+1;
    }
    else if
(338<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<346)
    {
        d=d+1;
    }
}
else if
(346<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<352)
{
    e=e+1;
}
else if
(352<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<362)
{
    f=f+1;
}
else if
(362<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<376)
{
    g=g+1;
}
else if
(376<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<390)
{
    h=h+1;
}
else if
(390<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<404)
{
    i=i+1;
}
else
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        j=j+1;
    } }
dd = max(a,b);
    dd = max(dd,c);
    dd = max(dd,d);
    dd = max(dd,e);
    dd = max(dd,f);
    dd = max(dd,g);
    dd = max(dd,h);
    dd = max(dd,i);
    dd = max(dd,j);
    if(a==dd)
    { k++; }
    else if(b==dd)
    {l++;}
    else if(c==dd)
    {m++; }
    else if(d==dd)
    {n++;}
    else if(e==dd)
    {o++;}
    else if(f==dd)
    {p++;}
    else if(g==dd)
    {q++;}
    else if(h==dd)
    { r++;}
    else if(i==dd)
    {s++;}
    else if(j==dd)
    {t++;}
    }

aa=k+l+m;
bb=n+o+p;
cc=q+r+s+t;
    if (aa>bb&&aa>cc)
    {
        Serial.println("Bad");
    }
    else if (bb>aa&&bb>cc)
    {
        Serial.println("Not Bad");
    }
    else if (cc>bb&&cc>aa)
    {
        Serial.println("Good");
    }
        Serial.print("angle in 10 =");
        Serial.println(a);
        Serial.print("angle in 20 =");
        Serial.println(b);
        Serial.print("angle in 30 =");
        Serial.println(c);
        Serial.print("angle in 40 =");
        Serial.println(d);
        Serial.print("angle in 50 =");
        Serial.println(e);
        Serial.print("angle in 60 =");
        Serial.println(f);
        Serial.print("angle in 70 =");
        Serial.println(g);
        Serial.print("angle in 80 =");
        Serial.println(h);
        Serial.print("angle in 90 =");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

else if
(404<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<424)
    {
        i=i+1;
    }
else
    {
        j=j+1;
    } }
dd = max(a,b);
dd = max(dd,c);
dd = max(dd,d);
dd = max(dd,e);
dd = max(dd,f);
dd = max(dd,g);
dd = max(dd,h);
dd = max(dd,i);
dd = max(dd,j);
if(a==dd)
{ k++; }
else if(b==dd)
{l++;}
else if(c==dd)
{m++; }
else if(d==dd)
{n++;}
else if(e==dd)
{o++;}
else if(f==dd)
{p++;}
else if(g==dd)
{q++;}
else if(h==dd)
{ r++;}
else if(i==dd)
{s++;}
else if(j==dd)
{t++;}
}
aa=k+l+m;
bb=n+o+p;
cc=q+r+s+t;
if (aa>bb&&aa>cc)
{
Serial.println("Bad");
}
else if (bb>aa&&bb>cc)
{
Serial.println("Not Bad");
}
else if (cc>bb&&cc>aa)
{
Serial.println("Good");
}
Serial.print("angle in 10 =");
Serial.println(a);
Serial.print("angle in 20 =");
Serial.println(b);
Serial.print("angle in 30 =");
Serial.println(c);
Serial.print("angle in 40 =");
Serial.println(d);
Serial.print("angle in 50 =");

```



```

else if
(422<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<430)
    {
        h=h+1;
    }
else if
(430<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<450)
    {
        i=i+1;
    }
else
    {
        j=j+1;
    } }
dd = max(a,b);
dd = max(dd,c);
dd = max(dd,d);
dd = max(dd,e);
dd = max(dd,f);
dd = max(dd,g);
dd = max(dd,h);
dd = max(dd,i);
dd = max(dd,j);
if(a==dd)
    { k++; }
else if(b==dd)
    {l++;}
else if(c==dd)
    {m++; }
else if(d==dd)
    {n++;}
else if(e==dd)
    {o++;}
else if(f==dd)
    {p++;}
else if(g==dd)
    {q++;}
else if(h==dd)
    { r++;}
else if(i==dd)
    {s++;}
else if(j==dd)
    {t++;}
}
aa=k+l+m;
bb=n+o+p;
cc=q+r+s+t;
if (aa>bb&&aa>cc)
    {
        Serial.println("Bad");
    }
else if (bb>aa&&bb>cc)
    {
        Serial.println("Not Bad");
    }
else if (cc>bb&&cc>aa)
    {
        Serial.println("Good");
    }
Serial.print("angle in 10 =");
Serial.println(a);
Serial.print("angle in 20 =");
Serial.println(b);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

else if
(429<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<444)
    {
        g=g+1;
    }
else if
(444<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<454)
    {
        h=h+1;
    }
else if
(454<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<472)
    {
        i=i+1;
    }
else
    {
        j=j+1;
    }
dd = max(a,b);
dd = max(dd,c);
dd = max(dd,d);
dd = max(dd,e);
dd = max(dd,f);
dd = max(dd,g);
dd = max(dd,h);
dd = max(dd,i);
dd = max(dd,j);
if(a==dd)
else if
{ k++; }
else if(b==dd)
{l++;}
else if(c==dd)
{m++; }
else if(d==dd)
{n++;}
else if(e==dd)
{o++;}
else if(f==dd)
{p++;}
else if(g==dd)
{q++;}
else if(h==dd)
{ r++;}
else if(i==dd)
{s++;}
else if(j==dd)
{t++;}
}
aa=k+l+m;
bb=n+o+p;
cc=q+r+s+t;
if (aa>bb&&aa>cc)
{
    Serial.println("Bad");
}
else if (bb>aa&&bb>cc)
{
    Serial.println("Not Bad");
}
else if (cc>bb&&cc>aa)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    Serial.println("Good");
}
    Serial.print("angle in 10 =");
    Serial.println(a);
    Serial.print("angle in 20 =");
    Serial.println(b);
    Serial.print("angle in 30 =");
    Serial.println(c);
    Serial.print("angle in 40 =");
    Serial.println(d);
    Serial.print("angle in 50 =");
    Serial.println(e);
    Serial.print("angle in 60 =");
    Serial.println(f);
    Serial.print("angle in 70 =");
    Serial.println(g);
    Serial.print("angle in 80 =");
    Serial.println(h);
    Serial.print("angle in 90 =");
    Serial.println(i);
a=b=c=d=e=f=g=h=i=x=j=k=l=m=n=o
=p=q=r=s=t=aa=bb=cc=0;
}
void functions9()
{
    while(Serial.readString()!="f")
    {
        for(u=0;u<50;u++)
        {
            if ( analogRead(in)<415 )
            {
                ;
            }
        }
    }
}
    else if (
415<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<420 )
    {
        a=a+1;
    }
    else if
(420<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<424)
    {
        b=b+1;
    }
    else if
(424<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<432)
    {
        c=c+1;
    }
    else if
(432<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<440)
    {
        d=d+1;
    }
    else if
(440<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<446)
    {
        e=e+1;
    }
;
}

```

```

else if
(446<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<454)
    {
        f=f+1;
    }
else if
(454<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<466)
    {
        g=g+1;
    }
else if
(466<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<480)
    {
        h=h+1;
    }
else if
(480<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<498)
    {
        i=i+1;
    }
else
    {
        j=j+1;
    } }
dd = max(a,b);
dd = max(dd,c);
dd = max(dd,d);
dd = max(dd,e);

dd = max(dd,f);
dd = max(dd,g);
dd = max(dd,h);
dd = max(dd,i);
dd = max(dd,j);
if(a==dd)
{ k++; }
else if(b==dd)
{l++;}
else if(c==dd)
{m++; }
else if(d==dd)
{n++;}
else if(e==dd)
{o++;}
else if(f==dd)
{p++;}
else if(g==dd)
{q++;}
else if(h==dd)
{ r++;}
else if(i==dd)
{s++;}
else if(j==dd)
{t++;}

aa=k+l+m;
bb=n+o+p;
cc=q+r+s+t;
if (aa>bb&&aa>cc)
{
    Serial.println("Bad");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
else if (bb>aa&&bb>cc)
{
    Serial.println("Not Bad");
}
else if (cc>bb&&cc>aa)
{
    Serial.println("Good");
}
    Serial.print("angle in 10 =");
    Serial.println(a);
    Serial.print("angle in 20 =");
    Serial.println(b);
    Serial.print("angle in 30 =");
    Serial.println(c);
    Serial.print("angle in 40 =");
    Serial.println(d);
    Serial.print("angle in 50 =");
    Serial.println(e);
    Serial.print("angle in 60 =");
    Serial.println(f);
    Serial.print("angle in 70 =");
    Serial.println(g);
    Serial.print("angle in 80 =");
    Serial.println(h);
    Serial.print("angle in 90 =");
    Serial.println(i);

a=b=c=d=e=f=g=h=i=x=j=k=l=m=n=o
=p=q=r=s=t=aa=bb=cc=0;
}
void functions10()

```

```

{
    while(Serial.readString()!="f")
    {
        for(u=0;u<50;u++)
        {
            if ( analogRead(in)<430 )
            {
                ;
            }
            else if (
                430<=analogRead(in)&&analogRead(in)
                <436 )
            {
                a=a+1;
            }
            else if
                (436<=analogRead(in)&&analogRead(in)
                <438)
            {
                b=b+1;
            }
            else if
                (438<=analogRead(in)&&analogRead(in)
                <446)
            {
                c=c+1;
            }
            else if
                (446<=analogRead(in)&&analogRead(in)
                <454)
            {
                d=d+1;
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if                                     j=j+1;
(466<=analogRead(in)&&analogRead(in)      } }
<468)
    {
        e=e+1;
    }
else if
(468<=analogRead(in)&&analogRead(in)      dd = max(a,b);
<474)
    {
        dd = max(dd,c);
        dd = max(dd,d);
        dd = max(dd,e);
        dd = max(dd,f);
        dd = max(dd,g);
        dd = max(dd,h);
        dd = max(dd,i);
        dd = max(dd,j);
        if(a==dd)
            { k++; }
        else if(b==dd)
            {l++;}
        else if(c==dd)
            {m++; }
        else if(d==dd)
            {n++;}
        else if(e==dd)
            {o++;}
        else if(f==dd)
            {p++;}
        else if(g==dd)
            {q++;}
        else if(h==dd)
            { r++;}
        else if(i==dd)
            {s++;}
        else if(j==dd)
            {t++;}
    }
else
    {

```

```

aa=k+l+m;
bb=n+o+p;
cc=q+r+s+t;
if (aa>bb&&aa>cc)
{
    Serial.println("Bad");
}
else if (bb>aa&&bb>cc)
{
    Serial.println("Not Bad");
}
else if (cc>bb&&cc>aa)
{
    Serial.println("Good");
    Serial.print("angle in 10 =");
    Serial.println(a);
    Serial.print("angle in 20 =");
    Serial.println(b);
    Serial.print("angle in 30 =");
    Serial.println(c);
    Serial.print("angle in 40 =");
    Serial.println(d);
    Serial.print("angle in 50 =");
    Serial.println(e);
    Serial.print("angle in 60 =");
    Serial.println(f);
    Serial.print("angle in 70 =");
    Serial.println(g);
    Serial.print("angle in 80 =");
    Serial.println(h);
    Serial.print("angle in 90 =");
}

Serial.println(i);
a=b=c=d=e=f=g=h=i=x=j=k=l=m=n=o
=p=q=r=s=t=aa=bb=cc=0;
}
void functions11()
{
    while(Serial.readString()!="f")
    {
        for(u=0;u<50;u++)
        {
            if ( analogRead(in)<460 )
            {
                ;
            }
            else if (
            460<=analogRead(in)&&analogRead(in)
            <470 )
            {
                a=a+1;
            }
            else if
            (470<=analogRead(in)&&analogRead(in)
            <474)
            {
                b=b+1;
            }
            else if
            (474<=analogRead(in)&&analogRead(in)
            <480)
            {
                c=c+1;
            }
        }
    }
}

```

```

else if
(480<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<490)
    {
        d=d+1;
    }
else if
(490<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<494)
    {
        e=e+1;
    }
else if
(494<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<507)
    {
        f=f+1;
    }
else if
(507<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<520)
    {
        g=g+1;
    }
else if
(520<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<538)
    {
        h=h+1;
    }
else if
(538<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<556)
    {
        i=i+1;
    }
else
    {
        j=j+1;
    }
}
dd = max(a,b);
dd = max(dd,c);
dd = max(dd,d);
dd = max(dd,e);
dd = max(dd,f);
dd = max(dd,g);
dd = max(dd,h);
dd = max(dd,i);
dd = max(dd,j);
if(a==dd)
    { k++; }
else if(b==dd)
    { l++; }
else if(c==dd)
    { m++; }
else if(d==dd)
    { n++; }
else if(e==dd)
    { o++; }
else if(f==dd)
    { p++; }
else if(g==dd)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

    }
else if
(502<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<512)
{
    c=c+1;
}
else if
(512<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<518)
{
    d=d+1;
}
else if
(518<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<522)
{
    e=e+1;
}
else if
(522<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<534)
{
    f=f+1;
}
else if
(534<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<550)
{
    g=g+1;
}
else if
(550<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<566)
{
    h=h+1;
}
else if
(566<=analogRead(in)&&analogRead(in)
<582)
{
    i=i+1;
}
else
{
    j=j+1;
}
}
dd = max(a,b);
dd = max(dd,c);
dd = max(dd,d);
dd = max(dd,e);
dd = max(dd,f);
dd = max(dd,g);
dd = max(dd,h);
dd = max(dd,i);
dd = max(dd,j);
if(a==dd)
{ k++; }
else if(b==dd)
{l++;}
else if(c==dd)
{m++; }
else if(d==dd)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {n++;}
    else if(e==dd)
    {o++;}
    else if(f==dd)
    {p++;}
    else if(g==dd)
    {q++;}
    else if(h==dd)
    { r++;}
    else if(i==dd)
    {s++;}
    else if(j==dd)
    {t++;}
    }
aa=k+l+m;
bb=n+o+p;
cc=q+r+s+t;
if (aa>bb&&aa>cc)
{
    Serial.println("Bad");
}
else if (bb>aa&&bb>cc)
{
    Serial.println("Not Bad");
}
else if (cc>bb&&cc>aa)
{
    Serial.println("Good");
}
    Serial.print("angle in 10 =");
    Serial.println(a);
    Serial.print("angle in 20 =");
    Serial.println(b);
    Serial.print("angle in 30 =");
    Serial.println(c);
    Serial.print("angle in 40 =");
    Serial.println(d);
    Serial.print("angle in 50 =");
    Serial.println(e);
    Serial.print("angle in 60 =");
    Serial.println(f);
    Serial.print("angle in 70 =");
    Serial.println(g);
    Serial.print("angle in 80 =");
    Serial.println(h);
    Serial.print("angle in 90 =");
    Serial.println(i);
a=b=c=d=e=f=g=h=i=x=j=k=l=m=n=o
=p=q=r=s=t=aa=bb=cc=0;
}
void loop()
{
    data1 = Serial.readString();
    if(data1=="s")
    {
        val2=analogRead(in);
        if(val2<296)
        { }
    }
    else if(val2>=360&&val2<478)
    { functions1(); //74.5}
    else if(val2>=478&&val2<520)
    {
        functions2(); //75
    }
    else if(val2>=520&&val2<560)

```

```

{
    functions3(); //75.5
}*/
else if(val2>=296&&val2<322)
{
    functions4(); //76
}
else if(val2>=322&&val2<336)
{
    functions5(); //76.5
}
else if(val2>=336&&val2<365)
{
    functions6(); //77
}
{
    functions7(); //77.5
}
else if(val2>=404&&val2<415)
{
    functions8(); //78
}
else if(val2>=415&&val2<437)
{ functions9(); //78.5}
else if(val2>=437&&val2<468
{ functions10(); //79}
else if(val2>=468&&val2<491)
{ functions11(); //79.5}
else if(val2>=491&&val2<550)
{ functions12(); //80 }
else
{}
} else { }
}
else if(val2>=365&&val2<4

```