บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง การทดลองและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด การเตรียมเส้นฟิล์มบางของทองคำขาวระดับนาโนด้วยเทคนิค FIB-CVD การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่องกระจายพลังงานรังสีเอ็กซ์ (EDS) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) รวมถึงการประยุกต์ทดลองใช้เป็นเซ็นเซอร์ชีวภาพ และเซ็นเซอร์ก๊าซ ซึ่งจะกล่าวเป็นลำดับดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์หลัก

3.1.1. เครื่องโฟกัสไอออนบีม รุ่น Quanta 200 3D ของบริษัท FEI company ดังแสดงในรูป 3.1

(ก) (ข)

รูป 3.1 (ก) เครื่องโฟกัสไอออนบีม, (ข) ส่วนประกอบภายในเครื่องโฟกัสไอออนบีม

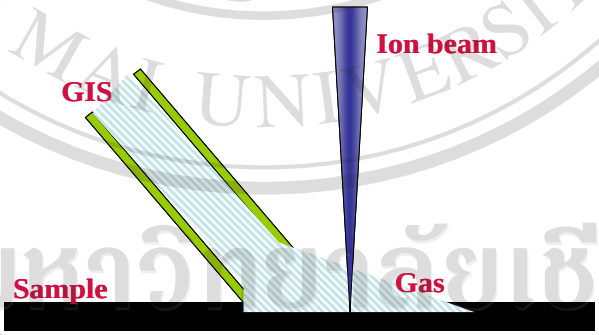
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่อง FIB มีส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

3.1.1.1 SEM (E-Beam) ในรูป 3.1(ข)ใช้ อิเล็กตรอนที่ผลิต จาก ขดลวด Tungsten (W) ในการตรวจดูภาพและถ่ายภาพต่างๆ โดย กำลังขยายมีค่าสูงสุดประมาณ 100,000 เท่า

3.1.1.2 FIB (I-Beam) ในรูป 3.1(ข) ใช้ ไอออนที่ผลิตจาก Gallium Ion Source สามารถนำไปใช้ในการตรวจดูภาพและเตรียมชิ้นงาน ได้แก่ ตัด เจาะ เชื่อม ทำลวดลายต่างๆ บนพื้นผิวได้

3.1.1.3. Gas injection system (GIS) ในรูป 3.1(ข) เป็นระบบนำส่งก๊าซเพื่อใช้ในการพอกผิว ซึ่งก๊าซที่ใช้เป็นก๊าซที่อยู่ในรูปของสารประกอบ $(CH_3CH_5)(CH_3)_3Pt$ สำหรับใช้พอกด้วย Pt สำหรับการ Deposition นั้น จะอาศัย Gallium Ion Beam ในการให้พลังงาน ตามกระบวนการ IBID (Ion Beam Induced Deposition) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ไอโลหะในการเขียนลวดลายต่างๆ โดยมากแล้ว Precursor gas จะเป็นสารประกอบโลหะในรูปของเหลว เมื่อให้ความร้อน สารประกอบโลหะนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ หลังจากนั้น ลำไอออนจะทำให้สารประกอบนี้เกิดการแยกองค์ประกอบออกเป็นส่วนของไฮโดรคาร์บอนและโลหะ โดยส่วนของไฮโดรคาร์บอนก็จะระเหยออกไป ทำให้เหลือเฉพาะส่วนของโลหะพอกผิวไปบนชิ้นงานตามที่ต้องการ เช่น ใช้ในการกระบวนการเชื่อม พอก และประดิษฐ์ขึ้นรูปต่างๆได้ ดังแสดงในรูป 3.2



รูป 3.2 การพอกผิวด้วยเทคนิค FIB-CVD

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.1.4. X-ray analysis spectroscopy (EDS) เป็นเครื่องเอกซ์เรย์แบบกระจายพลังงานของบริษัท Oxford Instrument ติดตั้งในเครื่องโฟกัสไอออนบีมใช้คู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.1.1.5. Omiprobe เป็นเข็มใช้สำหรับจับชิ้นงานจากที่หนึ่งเพื่อไปเชื่อมติดกับอีกที่หนึ่ง โดยการบังคับทิศทางและระยะด้วยปุ่มควบคุมและโปรแกรม และสังเกตด้วย E-Beam และ I-Beam ปลายเข็มของ Omiprobe มีขนาด 1 μm

3.1.2 เครื่องเคลือบขั้วไฟฟ้าทองคำ SPI Carbon coater/ Gold coater ของบริษัท SPI Supplies ดังแสดงในรูป 3.3

รูป 3.3 เครื่องเคลือบทองคำและคาร์บอน

3.1.3 กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอร์ริโอ Olympus SZX16 ของบริษัท Olympus Singapore PTE LTD ผลิตจากญี่ปุ่นกำลังขยาย 10 – 450 เท่า ดังแสดงในรูป 3.4

รูป 3.4 กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอร์ริโอไมโครสโคป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.4 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของบริษัท Veeco ASIA PTE. LTD. Singapore รุ่น Nanoscope llla Scanning Probe Microscope Controller ดังแสดงในรูป 3.5

รูป 3.5 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)

3.2 วัสดุ อุปกรณ์ย่อย

3.2.1 แผ่นกระจกสไลด์ ของ SAIL BRAND 23 CAT No.7105 ดังแสดงในรูป 3.6

รูป 3.6 (ก) แผ่นกระจกสไลด์, (ข) แผ่นกระจกสไลด์ที่ถูกเคลือบด้วยทองคำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.3 ฐานสำหรับติดตัวอย่างในเครื่องโฟกัสไอออนบีม ผลิตจากบริษัท FEI company

3.2.4 Copper grid ผลิตจากบริษัท SPI ประเทศอเมริกา ดังแสดงในรูป 3.7

รูป 3.7 Copper grid

3.2.5 คาร์บอนเทป เป็นเทปนำไฟฟ้าสำหรับใช้ติดชิ้นงานเข้ากับฐานในเครื่องโฟกัสไอออนบีม ผลิตจากบริษัท Electron Microscopy Sciences ประเทศอเมริกา ดังแสดงในรูป 3.8

รูป 3.8 คาร์บอนเทป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.6 วัสดุ อุปกรณ์สำหรับเตรียมเซ็นเซอร์ชีวภาพ

3.2.7 *E-coli* ความเข้มข้นต่างๆ ผลิตจาก หน่วยปฏิบัติการจุลชีววิทยา สาขาวิชาจุลชีววิทยา ชั้น 7 อาคาร 40 ปี คณะวิทยาศาสตร์

3.2.8 Pipet ผลิตจากบริษัท Nichiryo รุ่น Autoclavable Nichipet EX จากประเทศญี่ปุ่น

3.2.9 สายแพร์สำเร็จรูป จากฮาร์ดดิสค์คอมพิวเตอร์ ของ บริษัท Western Digital Corporation ดังแสดงในรูป 3.9

รูป 3.9 สายแพร์สำเร็จรูป จากฮาร์ดดิสค์คอมพิวเตอร์

3.2.10 วัสดุ อุปกรณ์สำหรับเตรียมเซ็นเซอร์ก๊าซ

3.2.11 แผ่นอลูมินา

3.2.12 เอทานอล (C_2H_5OH) 99.99% ดังแสดงในรูป 3.10

3.2.13 ขวดแก้ว Schott ขนาด 500 ml ใช้เจือจางเอทานอล ดังแสดงในรูป 3.10

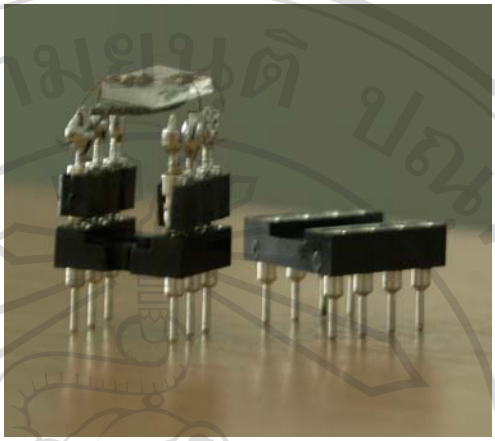
3.2.14 Flask ใช้ผสมน้ำกลั่นกับเอทานอล ดังแสดงในรูป 3.10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 3.10 (ก) เอทานอล, (ข)ขวดแก้ว

3.2.15 กระบอกฉีดยา ใช้ตวงสารละลายเอทานอล

3.2.16 Socket IC ใช้สำหรับติดเซ็นเซอร์ ดังแสดงในรูป 3.11



รูป 3.11 Socket IC

3.2.17 Alcohol Simulator, Model 34C ของบริษัท GUTH LABORATORIES ประกอบด้วย Heater, Thermostat และใบพัดกวนสารละลาย (agitator) ที่ทำหน้าที่ในการรักษาอุณหภูมิของสารละลายแอลกอฮอล์ให้คงที่ 34 ^{o}C ดังแสดงในรูป 3.12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 3.12 Alcohol Simulator Model 34C

3.2.18 ดิจิตอลมิเตอร์ model 196 system

3.2.19 เครื่องชั่งสาร รุ่น GR-202 ผลิตโดยบริษัท A&D ประเทศญี่ปุ่น

3.2.20 ลวดทองแดงเบอร์ 45 เป็นของบริษัท SIAM ELECTRIC INDUSTRIES จากประเทศญี่ปุ่น

3.2.21 เครื่อง Ultrasonic Cleaner ของบริษัท Astroson New York ประเทศอเมริกา

3.2.22 Digital Multimeter ของบริษัท John Fluke ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.23 ตะกั่วบัดกรี ใช้ติดขั้วไฟฟ้าเชื่อมระหว่าง Socket IC กับเซ็นเซอร์

3.2.34 หัวแร้ง Hakko จากประเทศญี่ปุ่น model 465-6

3.2.24 Parafilm (“M”) Laboratory Fill Pechiney Plastic Packaging จากประเทศอเมริกา

3.2.26 น้ำ DI และน้ำกลั่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 การทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นเป็นการหาเงื่อนไขของกระแสและค่าศักย์ไฟฟ้าของลำไอออนที่เหมาะสมสำหรับการสร้างขั้วไฟฟ้านาโน การดำเนินงานวิจัยนี้ จึงเริ่มต้นด้วย การศึกษาการใช้เครื่องโฟกัสไอออนบีม และวิธีการสร้างขั้วไฟฟ้านาโน จากนั้นได้ออกแบบการทดลองโดยการสร้างเส้นฟิล์มบางของทองคำขาวระดับนาโนลงบนแผ่นรองรับด้วยเงื่อนไขต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ลักษณะผิวหน้า องค์ประกอบ และความหนาของเส้นทองคำขาวด้วย SEM, DES และ AFM ตามลำดับ ต่อจากนั้นนำเงื่อนไขที่เหมาะสมสร้างขั้วไฟฟ้าทองคำนาโน เพื่อใช้เป็นเซ็นเซอร์ชีวภาพ และเซ็นเซอร์ก๊าซ หลังจากที่สร้างเซ็นเซอร์เสร็จแล้วก็นำไปทดสอบและบันทึก รวบรวมผลการทดลอง ขั้นสุดท้ายเป็นการสรุปผลการทดลอง รูป 3.12 เป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองของงานวิจัยนี้

รูป 3.13 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.1 **การศึกษาการใช้เครื่องโฟกัสไอออนบีม (FIB)**

3.3.1.1 วิธีการเตรียมเครื่อง FIB สำหรับการทดลอง

ในการทำงานด้วยเครื่อง FIB นี้ เราจะทำงานโดยใช้โปรแกรม XT Microscope Server เป็นตัวสั่งงานเพื่อให้เครื่อง FIB ทำงานในฟังก์ชั่นต่างๆ เริ่มจากเปิดโปรแกรม XT Microscope Server รอจนกระทั่ง ปุ่มทั้ง 4 เป็นสีเขียว ใส่ Password และ User name ทำการเปิดระบบดูดอากาศเพื่อทำให้ภายในระบบเป็นสุญญากาศด้วยระบบเทอร์โบปั๊มและโรตารี่ปั๊มรอจนระดับความดันภายในระบบอยู่ในสถานะเหมาะสมกับการทำงานของลำไอออน (I-Beam) และลำอิเล็กตรอน (E-Beam) ปกติแล้วจะอยู่ที่ระดับความดัน 10^{-5} ทอร์ ต่อมาเปิดแหล่งกำเนิด ลำอิเล็กตอนและลำไอออน ปรับตำแหน่งและภาพให้เห็นพื้นผิวของชิ้นงานที่ชัดเจน ที่ระยะทำงาน 15 mm สำหรับการทดลองด้วยการสังเกตภาพและตำแหน่งจาก E-Beam กำหนดตำแหน่งอ้างอิงบนผิวชิ้นงานแล้วทำการปรับตำแหน่งระหว่าง E-Beam และ I-Beam ให้เห็นภาพในตำแหน่งเดียวกัน (Eu-centric) ที่ระยะ 15 mm และที่ระยะ 30 mm ทำมุม 90 องศา เมื่อเทียบกับ I-Beam จากนั้นหาตำแหน่งพื้นผิวที่ต้องการทดลองแล้วล็อกตำแหน่งที่ต้องการต่างๆไว้ พร้อมที่จะทำการตัด และพอกผิวด้วยลำไอออนต่อไปได้

3.3.1.2 การพอกผิวด้วยเทคนิค FIB-CVD และการตัดแต่งด้วยลำไอออน

วิธีการพอกผิวด้วยเทคนิคการสะสมไอสารโลหะ ด้วยโฟกัสไอออนบีม (FIB-CVD) เริ่มจากการเตรียมเครื่อง FIB สำหรับการทดลอง แล้วเลือกขนาดตามตาราง 3.1 ซึ่งไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าของกระแสให้เท่ากันได้เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านโปรแกรมของเครื่อง จากการที่ลำไอออนมี ช่องควบคุมกระแส (Apertures) เพียงชุดเดียวสำหรับใช้ควบคุมลำไอออนที่เดินทางผ่านกับค่าศักย์ไฟฟ้าต่างๆก่อน แล้วเข้าไปในหมวดหน้าต่างคำสั่งของการใช้งานลำไอออน (I-Beam) แล้วสร้างพื้นที่ที่ต้องการจะพอกผิว ได้แก่ ขนาด X, Y และ Z บนหน้าจอของ I-Beam แล้วเปิดระบบ GIS และปรับคำสั่งการพอกผิวโดยใช้ระบบการฉีดก๊าซ GIS ให้เหมาะสม ทำการเลื่อนเข็มฉีดก๊าซเข้าใกล้ตำแหน่งพื้นผิวบนชิ้นงานที่ต้องการ แล้วเปิดให้ระบบให้ทำการพอกไอสารโลหะตามที่ได้กำหนดเอาไว้ในเงื่อนไขของการทดลองต่างๆ ค่ากระแสและค่าศักย์ไฟฟ้าของเครื่องโฟกัสไอออนบีมแสดงไว้ดังตาราง 3.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3.1 ค่ากระแสกับค่าศักย์ไฟฟ้าของเครื่อง โฟกัสไอออนบีม รุ่น Quanta 200 3D ของบริษัท FEI Company

I-Beam Operation	
Potential (kV)	**Current (pA)**
10	16
	50
	210
	410
20	4
	23
	37
	80
30	10
	30
	50
	100
	300
	500

3.3.2 **การเตรียมแผ่นรองรับ**

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเงื่อนไขการเตรียมเส้นฟิล์มบางของทองคำขาว เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมไปสร้างเป็นขั้วไฟฟ้าของทองคำขาวระดับนาโน ได้ใช้กระบวนการเตรียมตัวอย่างโดยการพอกเส้นฟิล์มบางของทองคำขาวระดับนาโน ด้วยกระบวนการตกสะสมไอเคมีแบบอาศัยโฟกัสไอออนบีม ในการศึกษาครั้งนี้เริ่มจากการเตรียมแผ่นรองรับเป็นกระจกสไลด์ สำหรับสร้างพื้นที่นำไฟฟ้าแต่ไม่ให้ติดกัน เพื่อที่จะควบคุมทิศทางการนำของไฟฟ้าได้ภายใต้ระบบของเครื่องโฟกัสไอออนบีม โดยประยุกต์ใช้แผ่น Cu grids สำหรับวางชิ้นงานในการตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ซึ่งคิดค้นดัดแปลงประยุกต์โดยศูนย์เครือข่ายความเป็นเลิศด้านวัสดุนาโนเฉพาะทาง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นหน้ากาก แล้วเคลือบแผ่นรองรับด้วยทองคำด้วยเครื่องเคลือบสุญญากาศ SPI Carbon coater/ Gold coater นาน 240 วินาที จากนั้นนำแผ่นรองรับที่เตรียมเสร็จแล้ว ไปติดบนฐานรองรับสำหรับติดตั้งในเครื่องโฟกัสไอออนบีม โดยอาศัยเทป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คาร์บอน แล้วติดตั้งเข้าไปในเครื่องโฟกัสไอออนบีม ลำดับต่อมาทำการเดินเครื่องตามขั้นตอนของการเดินเครื่องปกติ แล้วปรับตำแหน่ง เพื่อหาพื้นที่บนแผ่นรองรับที่ต้องการพอกทองคำขาวด้วย SEM จากนั้นปรับตำแหน่งให้ SEM และ Ion Beam เห็นภาพตรงตำแหน่งเดียวกัน ณ บริเวณที่ต้องการพอก แล้วเข้าโหมดของเทคนิค FIB-CVD สร้างเส้นฟิล์มบางของทองคำขาว ตามเงื่อนไขการสร้างกำหนดไว้แล้ว

3.3.3 **การเตรียมเงื่อนไขต่างๆ**

3.3.3.1 เตรียมแผ่นขั้วไฟฟ้าทองคำแบบพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส บนแผ่นรองรับชนิดกระจกสไลด์ ขนาดประมาณ 0.5x0.5 เซนติเมตร ด้วยเทคนิคการเคลือบทองคำด้วยเครื่องเคลือบสุญญากาศ SPI Carbon coater/ Gold coater ค่าค่าศักย์ไฟฟ้า 1kV ใช้เวลา 240 วินาที

3.3.3.2 เตรียมแผ่นรองรับชนิดกระจกสไลด์ที่เคลือบทองคำแล้ววางบนฐานรองรับสำหรับนำไปติดตั้งในเครื่องโฟกัสไอออนบีม

3.3.3.3 พอกเส้นฟิล์มบางนาโนของทองคำขาว โดยการใช้เทคนิคโฟกัสไอออนบีมซึ่งเป็นวิธีการเคลือบผิวทางเคมีด้วยไอ โดยใช้ลำไอออนของ Ga^{+} (FIB-CVD) เชื่อมแต่ละพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นเส้นตรงให้นำไฟฟ้า ด้วยการพอกทองคำขาว เป็นเส้นของขั้วไฟฟ้าหลักเข้ามากลางพื้นที่เป้าหมาย

3.3.3.4 ใช้เทคนิคไอออนบีมสร้างเส้นฟิล์มบางนาโนของทองคำขาวพอกบนกระจกระหว่างพื้นที่ของทองคำสี่เหลี่ยมจัตุรัส ด้วยกำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าของลำไอออนที่ 30, 20 และ10 kV แล้วแปรค่าขนาดของลำไอออนย่าน 10-500 pA ตามลำดับ โดยให้มีขนาดคงที่ ที่ X=250 nm, Y=50 um และ Z= 10 nm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.4 ศึกษาผลของเวลากับเงื่อนไขของค่าความหนา Z

นำเงื่อนไขค่าศักย์ไฟฟ้า 30 kV ค่ากระแส 50 pA สร้างเส้นฟิล์มบางของทองคำขาวโดยแปรค่าความหนา Z จาก 10, 20, 50, 100, 200, 300 และ 500 nm โดยการใช้เทคนิคโฟกัสไอออนบีมซึ่งเป็นวิธีการเคลือบผิวทางเคมีด้วยไอ โดยใช้ลำไอออนของ Ga+ (FIB-CVD) เชื่อมแต่ละพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นเส้นตรงให้นำไฟฟ้า ด้วยการพอกทองคำขาวเป็นเส้นของขั้วไฟฟ้าหลัก เข้ามากลางพื้นที่เป้าหมาย

3.3.5 การวิเคราะห์ผลที่เงื่อนไขต่างๆ

เส้นฟิล์มบางนาโนของทองคำขาวแต่ละเส้นที่เตรียมได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ที่ระยะทำงาน 12.5 mm ค่าศักย์ไฟฟ้า 1 kV และเครื่องสเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (EDX) ที่ระยะทำงาน 12.5 mm ค่าศักย์ไฟฟ้า 5-30 kV จากนั้นเส้นฟิล์มบางนาโนของทองคำขาวเส้นทองคำขาวแต่ละเส้นจะถูกนำไปวัดขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ที่เงื่อนไขการเตรียมต่างๆ

จากการทดลองเตรียมเส้นโลหะทองคำขาว ที่กล่าวมาแล้วในข้อ 3.3.3-3.3.4 จะทำให้ได้เงื่อนไขการเตรียมที่เหมาะสม คือ ใช้ศักย์ไฟฟ้า 30 kV และกระแสของลำไอออน 50 pA จึงนำเงื่อนไขเหล่านี้มาสร้างเซ็นเซอร์ต่อไป

3.3.6 การสร้างขั้วไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นเซ็นเซอร์ชีวภาพ กับแบคทีเรียชนิด *E-coli*

3.3.6.1. การประดิษฐ์เซ็นเซอร์ พอกเส้นฟิล์มบางนาโนของทองคำขาว (Pt) พอกเส้นฟิล์มบางนาโนของทองคำขาว ใช้เงื่อนไขที่ X=250 nm, Y=50 μm และ Z= 20 nm ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 kV ค่ากระแสลำไอออน 50 pA เชื่อมผ่านระหว่างพื้นที่ของทองคำ ลงบนแผ่นวงจรสำเร็จรูปชนิดโพลิเมอร์ ระหว่างขั้วไฟฟ้าทองคำ โดยกระบวนการ FIB-CVD

3.3.6.2. การเตรียมแบคทีเรีย นำเชื้อ *E-coli* เลี้ยงในอาหารเหลว จากนั้นนำมาเจือจางด้วยน้ำลดลงที่ละ 10 เท่า แล้วนำมาเพาะให้เป็นโคโลนี บนจานเลี้ยงเชื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.6.3. กระบวนการวัด หยดเอนไซด์จำเพาะกับ *E-coli* ที่ต้องการตรวจวัดลงบนขั้วไฟฟ้าเซ็นเซอร์ แล้วนำขั้วไฟฟ้าเซ็นเซอร์ไปทดสอบกับ *E-coli* ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยการจุ่มเซ็นเซอร์ลงไปในเชื้อแบคทีเรีย *E-coli* ที่ทราบค่า ในช่วง 10^3-10^4 cfu/ml ในปริมาณ 1 cm^3 สำหรับการให้แรงดันไฟฟ้านั้น ให้ไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์ 0.5V และบันทึกสัญญาณที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ในรูปแบบของค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาที่เปลี่ยนไป ด้วยดิจิตอลมิเตอร์ (Keiley 196 System DMM) ที่เชื่อมสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์ และเมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้วนำไป ทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ และน้ำ DI หลายๆครั้ง จนค่ากระแส ของหัววัดเซ็นเซอร์คงเดิมจึง ทำการวัดซ้ำอีก

3.3.7 **การสร้างขั้วไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นเซ็นเซอร์ก๊าซ**

3.3.7.1 <u>การเตรียมประดิษฐ์เซ็นเซอร์ก๊าซ</u> โปรยเส้นดีบุกออกไซด์นาโนลงบนแผ่นรองรับซิลิกอน แล้วหาเส้นที่นอนราบบนแผ่นรองรับ และอยู่เส้นเดียว ที่มีขนาดความกว้างประมาณ 100-200 nm ยาวประมาณ 10-20 μm ด้วย SEM จากนั้นพอกเส้นฟิล์มบางนาโนของทองคำขาว (Pt) ในลักษณะ 4 เส้น โดยใช้เงื่อนไขที่ X=300 nm, Y=50 μm และ Z= 200 nm ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 kV ค่ากระแสลำไอออน 50 pA หลังจากนั้นใช้ลำไอออน ตัดแต่งให้เรียบร้อยพร้อมทั้งโยงขั้วไฟฟ้ายาวออกมาให้มีพื้นที่สำหรับทำให้ขั้วไฟฟ้าเชื่อมได้ แล้วจึงนำออกจากเครื่อง FIB หลังจากนั้นจึงนำมาติดขั้วไฟฟ้าด้วย silver paste กับเส้นลวดนำไฟฟ้าทองแดง

3.3.7.2 <u>การประดิษฐ์เซ็นเซอร์และทดสอบ</u> นำแผ่นซิลิกอนที่มีเซ็นเซอร์ เข้ากับฐานรองรับแบบ IC socket แล้วนำไปทดสอบกับไอแอลกอฮอล์ เข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิ 27 ^oC

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved