บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่างานวิจัยนี้สามารถได้ข้อจำกัดและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสร้างขั้วไฟฟ้าทองคำขาวระดับนาโนด้วยโฟกัสไอออนบีม และสามารถนำเงื่อนไขที่เหมาะสมไปเตรียมขั้วไฟฟ้าได้ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ขั้วไฟฟ้าทองคำขาวเป็นเซ็นเซอร์ *E-Coli* และเซ็นเซอร์ก๊าซเอทานอลได้ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 สรุปการเตรียมแผ่นรองรับ

เงื่อนไขในการเตรียมแผ่นรองรับสำหรับการทดลองเตรียมเส้นฟิล์มบางนาโนของทองคำขาว โดยใช้เครื่องเคลือบทองคำบนแผ่นรองรับกระจกที่ถูกติดด้วยหน้ากากแผ่นทองแดงรูปตาราง ใช้เวลาในการเตรียม 240 วินาที ได้ความหนาที่ประมาณ 40 nm สำหรับนำไปใช้ต่อไปได้

5.1.2 สรุปผลการทดลองเตรียมเส้นฟิล์มบางนาโนของทองคำขาว

สำหรับการสร้างเส้นหรือขั้วไฟฟ้าโลหะทองคำขาวระดับนาโน ทำได้โดยฉีดสารประกอบอินทรีย์ของทองคำขาวลงบนพื้นผิวที่ต้องการ และใช้ลำไอออนของ Ga^{+} กระตุ้นให้สารประกอบนี้เกิดการสลายตัวเหลือแต่โลหะของทองคำขาว ในการทดลองนี้ได้ทำการแปรค่าศักย์ทางไฟฟ้าและกระแสของลำไอออนในช่วง 10-30 kV และ 30-500 pA ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ด้วย SEM และ AFM พบว่าศักย์ทางไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเตรียมเส้นทองคำขาว อยู่ที่ 30 kV และ 50 pA ตามลำดับ มีขนาดความกว้างประมาณ 275 nm และความหนาประมาณ 4 nm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.1.3 สรุปผลการผลการใช้ขั้วไฟฟ้าทองคำขาวประยุกต์เป็นเซ็นเซอร์

5.1.3.1 สรุปผลการประยุกต์เป็นเซ็นเซอร์ชีวภาพ

เซ็นเซอร์ชีวภาพนี้ถูกนำมาทดสอบกับเชื้อ *E-Coli* ที่ความหนาแน่นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง โดยหัววัดเซ็นเซอร์และส่งข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตจากการใช้ขั้วไฟฟ้าทองคำ/ทองคำขาว ค่าการตอบสนองมีค่ามากที่สุดที่ ประมาณ 2.5 และต่ำสุดประมาณ 2.05 ในช่วงที่หัววัดเซ็นเซอร์สามารถที่จะวัดได้ดีคือช่วงความเข้มข้นของ *E-Coli* ตั้งแต่ 10^4-10^8 CFU/ml กระแสไฟฟ้าของหัววัดเซ็นเซอร์ในสารละลาย *E-Coli* จะมากขึ้นเมื่อจำนวนของ *E-Coli* มากขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความหนาแน่นของ *E-Coli* ในสารละลาย ผลการทดลองที่ได้นี้เป็นผลการทดลองในเบื้องต้นนี้ ในเวลาการตอบสนองของแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณน้อยกว่า 5 วินาที แล้วเมื่อเอาหัววัดเซ็นเซอร์ออกจากสารละลายแบคทีเรียและทำความสะอาดแล้ว ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ก็จะกลับคืนสู่ค่าเดิม ซึ่งใช้เวลาที่ใช้ในการวัดแต่ละครั้งตัวอย่างจะอยู่ประมาณไม่ต่ำกว่า 1 นาที กระบวนการนี้เป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการนับจำนวนของ *E-Coli* และสามารถตรวจวัดแบคทีเรียละเอียดถึงระดับเซลเดียวได้ในอนาคต

5.1.3.2 สรุปผลการประยุกต์เป็นเซ็นเซอร์ก๊าซ

เส้น SnO_2 นาโน ถูกเตรียมขั้วไฟฟ้าฟิล์มบางของทองคำขาวนาโน เชื่อมติดด้วยเทคนิค FIB-CVD เป็นเซ็นเซอร์สำหรับก๊าซเอทานอล หัววัดเซ็นเซอร์มีสมบัติการตอบสนองต่อก๊าซเอทานอลที่ความเข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิ 27 ^oC, พบว่าที่มีค่า sensitivity เท่ากับ 2.5 ค่าเวลาการตอบสนอง ประมาณ 40 วินาที และเวลาการคืนตัวอยู่ที่ 15 วินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการเตรียมเส้นฟิล์มบางทองคำขาวสำหรับทำขั้วไฟฟ้าด้วยเทคนิค FIB-CVD เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุนาโน
2. การเตรียมขั้วไฟฟ้าแบบเส้นฟิล์มทองคำขาว เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ชีวภาพ ในรูปแบบอื่นๆ อีก ตลอดจนสามารถศึกษาจุลชีพเพียงเซลเดียวได้ และวัสดุชีวภาพได้ ด้วยกระบวนการเตรียมขั้วไฟฟ้าด้วยเทคนิค FIB-CVD
3. เทคนิคการตรวจสอบการนำไฟฟ้าของวัสดุด้วยการอาศัยสัญญาณความสว่างของพื้นที่บริเวณการนำไฟฟ้าภายในเครื่อง FIB สามารถประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการนำไฟฟ้าของวัสดุนาโนได้แบบหยาบๆ ภายในเครื่อง สนับสนุนการตัดสินใจในการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าจำนวนมากได้
4. วัสดุนาโนที่มีความบางน้อยกว่า 100 nm ควรใช้ศักย์ไฟฟ้าในการวิเคราะห์ด้วย EDS ที่ต่ำระดับ 5 kV
5. ในขั้นตอนการสร้างฟิล์มสำหรับทำขั้วไฟฟ้าของทองคำขาว ควรระวังการปรับโฟกัส สำหรับการบันทึกรูป หรือดูลักษณะของงานที่เตรียมได้ อาจจะเกิดการเสียหายจากขนาดของกระแสลำไอออนที่สูง ซึ่งควรโฟกัสหรือบันทึกภาพที่กระแสลำไอออนที่ต่ำกว่า 30 pA
6. แผ่นรองรับที่ไม่นำไฟฟ้าสำหรับการเตรียมฟิล์มสำหรับทำขั้วไฟฟ้า ควรใช้เทคนิคการเตรียมโดยใช้ ลำอิเล็กตรอน และลำไอออนสลับกัน หรือใช้ลำอิเล็กตรอนแทนในการสังเกต และระบุตำแหน่งเป้าหมายที่ชัดเจนได้ ในขั้นตอนการเตรียมด้วยใช้ลำไอออน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved