

สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมผิวโลหะทองแดงสำหรับการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียวของ
ออกไซด์ดีเคนไทออกอลเพื่อป้องกันการกัดกร่อน

นายวุฒิชัย สุทธิพงษ์เกียรติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

Optimum condition of copper surface treatment for Octadecanethiol self-assembled
monolayer coating for corrosion protection

Mr. Wuttichai Suthipongkiat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมผิวโลหะทองแดงสำหรับการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียวของออกไซด์เคโนไทออกอลเพื่อป้องกันการกัดกร่อน

โดย

นายวุฒิชัย สุทธิพงศ์เกียรติ

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศสิทธิ์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กษิตีศ หนูทอง)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.วีรยุทธ เลิศบำรุงสุข)

วุฒิชัย สุทธิพงษ์เกียรติ : สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมผิวโลหะทองแดงสำหรับการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียวของออกไซด์เคโนไทฮอลเพื่อป้องกันการกัดกร่อน. (OPTIMUM CONDITION OF COPPER SURFACE TREATMENT FOR OCTADECANETHIOL SELF-ASSEMBLED MONOLAYER COATING FOR CORROSION PROTECTION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. สุรเทพ เขียวหอม, 81 หน้า.

การเคลือบผิวแบบเรียงตัวชั้นเดียว (Self-assembled monolayer) นั้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนให้กับผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ โดยวิธีการเตรียมผิวโลหะก่อนการเคลือบผิวนั้นส่งผลต่อการดูดซับของสารเคลือบผิวบนพื้นผิวโลหะ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของการป้องกันการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงวิธีการเตรียมผิวที่เหมาะสมที่สุดก่อนการเคลือบผิวทองแดงด้วยออกไซด์เคโนไทฮอล (Octadecanethiol; ODT) เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้การเตรียมผิวแบบต่างๆ คือ ชัดผิวด้วยกระดาษทราย ผ่านออกซิเจนพลาสมา แช่ในสารละลายปิรันยา (กรดซัลฟิวริกผสมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) แช่ในกรดไนตริก แช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดไนตริก แช่ในกรดไฮโดรคลอริก และแช่ในกรดฟอสฟอริก โดยทดสอบคุณสมบัติของการเปียก (Wettability) ของแผ่นทองแดงด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส เพื่อพิจารณาความสามารถในการป้องกันการเกาะตัวของโมเลกุลน้ำ และทดสอบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนด้วยเทคนิคทางไฟฟ้าเคมี (Potentiostat) โดยนำแผ่นทองแดงที่เคลือบผิวแล้วไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของการเตรียมผิวทองแดงที่สภาวะต่างๆ นอกจากนี้ยังศึกษาการเรียงตัวของ ODT บนผิวทองแดง เพื่อวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของการเกาะตัวของ ODT บนพื้นผิวทองแดงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมผิวทองแดงสำหรับการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียวของออกไซด์เคโนไทฮอลเพื่อป้องกันการกัดกร่อน คือ การใช้ออกซิเจนพลาสมาในการเตรียมผิวที่ความดัน -400 mmHg และเวลาในการเตรียมผิว 20 นาที

ภาควิชา..... วิศวกรรมเคมี.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมเคมี.....

ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา..... 2554.....

5270512021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : SAM / COPPER / CORROSION PROTECTION / SURFACE TREATMENT

WUTTICHAJ SUTHIPONGKIAT : OPTIMUM CONDITION OF COPPER SURFACE
TREATMENT FOR OCTADECANETHIOL SELF-ASSEMBLED MONOLAYER
COATING FOR CORROSION PROTECTION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., 81 pp.

Self-Assembled Monolayer (SAM) is method for increase corrosion protection efficiency of metal surface that widely used in heat exchanger. The method for prepare metal surface before coating have an affect on adsorption of coating solution which increase efficiency of corrosion protection. Therefore, this context studied optimum method for preparation copper surface before coating with octadecanethiol (ODT) for corrosion protection in heat exchanger such as polished surface with emery paper only, used oxygen plasma, immersed in piranha solution (sulfuric acid + hydrogen peroxide), immersed in nitric acid, immersed in hydrogen peroxide, immersed in hydrogen peroxide and nitric acid, immersed in hydrochloric acid, and immersed in phosphoric acid. The ODT SAM on copper surface was characterized by contact angle measurements, Scanning Electron Microscope (SEM) and Atomic Force Microscopic (AFM). Corrosion protection ability of ODT SAM was evaluated in aqueous NaCl solution using potentiodynamic polarization. Results showed evidence that, the optimum condition of copper surface treatment for ODT SAM coating for corrosion protection was oxygen plasma treatment at -400 mmHg from ambient pressure for 20 minute

Department : Chemical Engineering

Student's Signature :

Field of Study : Chemical Engineering

Advisor's Signature :

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับการอบรมสั่งสอนการปฏิบัติงาน คำแนะนำ แนวทางในการพัฒนางานวิจัย และความช่วยเหลือในอีกหลาย ๆ ด้านมาตลอดจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษิติศ หนูทอง กรรมการ และ อาจารย์ ดร. วีรยุทธ เลิศบำรุงสุข ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือในด้านการศึกษา ทั้งยังเป็นแหล่งความรู้ให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาและทำการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่และน้องๆ สำหรับความช่วยเหลือหลาย ๆ ด้านและให้กำลังใจในการทำวิจัยด้วยดีเสมอมา

และสุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องในครอบครัวทุกคนที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6 แผนงาน.....	5
บทที่ 2.....	6
บทที่ 3.....	13
3.1. กระบวนการเกิดการกีดกันในทองแดง.....	13
3.1.1. ทฤษฎีการเกิดการกีดกันในทองแดง.....	13
3.1.2. ประเภทของการกีดกันในทองแดง.....	14

3.2.	การป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงโดยการเคลือบผิวแบบ การเรียงตัวชั้นเดียว (Self-Assembled Monolayer; SAM).....	18
3.2.1.	ลักษณะของสารเคลือบผิว	18
3.2.2.	ทฤษฎีการเคลือบผิว.....	19
3.2.3.	ทฤษฎีการเตรียมผิวก่อนการเคลือบผิว	19
3.2.4.	การยึดจับของสารเคลือบผิว.....	21
3.3.	เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle Measurement).....	22
3.4.	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	24
3.5.	กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM).....	27
3.6.	เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเคมี (Potentiostat).....	29
บทที่ 4	31
4.1.	วัสดุและสารเคมีที่ใช้.....	31
4.2.	ขั้นตอนการเคลือบผิวทองแดง.....	31
4.3.	เครื่องมือในการทดลองและการวิเคราะห์ผล	37
บทที่ 5	39
5.1.	เครื่องวัดมุมสัมผัส.....	39
5.2.	เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเคมี (Potentiostat).....	49
5.3.	กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope : AFM)	59
5.4.	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM).....	69
บทที่ 6	74
6.1.	สรุปผลการทดลอง	74

6.2. ข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	76
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	81

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.6.1 แผนงานในการทำการวิจัย.....	5
ตารางที่ 5.1.1 ผลจากการวัดแผ่นทองแดงด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส.....	47
ตารางที่ 5.2.1 สรุปการคำนวณหาความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนจาก กราฟโพลาลาไลเซชัน.....	57
ตารางที่ 5.3.1 ความขรุขระของพื้นผิวทองแดงโดยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม.....	67

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1.1 การเกิดสนิมของเหล็ก.....	13
ภาพที่ 3.2.1 โครงสร้างของการ SAM บนพื้นผิวตัวดูดซับ.....	18
ภาพที่ 3.2.2 การดูดซับสารเคมีบนพื้นผิวตัวดูดซับ.....	21
ภาพที่ 3.3.1 มุมเชื่อมต่อระหว่างของแข็ง ของเหลว และแก๊ส.....	22
ภาพที่ 3.3.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องวัดมุมสัมผัส.....	23
ภาพที่ 3.5.1 หลักการทำงานของ AFM ต่อพื้นผิวของวัตถุ.....	28
ภาพที่ 3.6.1 ส่วนประกอบของโพเทนชิโอสแตท.....	29
ภาพที่ 3.6.2 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมี.....	30
ภาพที่ 3.6.3 การหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน.....	30
ภาพที่ 4.2.1 วิธีการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น.....	32
ภาพที่ 4.2.2 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์โดยใช้ออกซิเจน พลาสมา.....	32
ภาพที่ 4.2.3 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายปรีนยา.....	33
ภาพที่ 4.2.4 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายกรดไนตริก.....	33
ภาพที่ 4.2.5 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	34
ภาพที่ 4.2.6 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และ กรดไนตริก.....	34
ภาพที่ 4.2.7 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก.....	35

ภาพที่ 4.2.8 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกและกรดไนตริก.....	35
ภาพที่ 4.3.1 เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบโคโลนาดีสชาร์จ.....	37
ภาพที่ 5.1.1 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายเท่านั้น.....	39
ภาพที่ 5.1.2 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดง โดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	40
ภาพที่ 5.1.3 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายปิรันยาที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที.....	40
ภาพที่ 5.1.4 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที.....	41
ภาพที่ 5.1.5 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....	41
ภาพที่ 5.1.6 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที.....	42
ภาพที่ 5.1.7 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที.....	42

ภาพที่ 5.1.8 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไป แช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที.....	43
ภาพที่ 5.1.9 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายเท่านั้น.....	43
ภาพที่ 5.1.10 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดย ใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	44
ภาพที่ 5.1.11 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายปรีนยาที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที.....	44
ภาพที่ 5.1.12 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที.....	45
ภาพที่ 5.1.13 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....	45
ภาพที่ 5.1.14 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที.....	46
ภาพที่ 5.1.15 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที.....	46

ภาพที่ 5.1.16 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วย กระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที.....	47
ภาพที่ 5.1.17 มุมสัมผัสก่อนและหลังการเคลือบผิวทองแดง เมื่อเรียงลำดับจากมุมสัมผัส ก่อนการเคลือบผิวมากไปหาน้อย.....	48
ภาพที่ 5.2.1 ผล Potentiostat ของทองแดงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว.....	49
ภาพที่ 5.2.2 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น....	50
ภาพที่ 5.2.3 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมา ที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	50
ภาพที่ 5.2.4 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว นำไปแช่ในสารละลายปรีรญาที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที.....	51
ภาพที่ 5.2.5 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว นำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที.....	51
ภาพที่ 5.2.6 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว นำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....	52
ภาพที่ 5.2.7 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว นำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที.....	52

ภาพที่ 5.2.8 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว นำไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที.....	53
ภาพที่ 5.2.9 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว นำไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที.....	53
ภาพที่ 5.2.10 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -100 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	54
ภาพที่ 5.2.11 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -200 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	54
ภาพที่ 5.2.12 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -300 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	55
ภาพที่ 5.2.13 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 5 นาที.....	55
ภาพที่ 5.2.14 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 10 นาที.....	56
ภาพที่ 5.2.15 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 20 นาที.....	56

ภาพที่ 5.2.16 มุมสัมผัสก่อนและหลังการเคลือบผิวของแดงเปรียบเทียบกับความสามารถ ในการป้องกันการกัดกร่อน.....	58
ภาพที่ 5.3.1 ผล AFM ของทองแดงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว.....	59
ภาพที่ 5.3.2 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น.....	60
ภาพที่ 5.3.3 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธี การกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	60
ภาพที่ 5.3.4 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว นำไปแช่ในสารละลายปิรันยาที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที.....	61
ภาพที่ 5.3.5 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำ ไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที.....	61
ภาพที่ 5.3.6 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำ ไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....	62
ภาพที่ 5.3.7 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำ ไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที.....	62
ภาพที่ 5.3.8 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำ ไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที.....	63
ภาพที่ 5.3.9 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำ ไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที.....	63

ภาพที่ 5.3.10 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมา ที่ความดัน -100 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	64
ภาพที่ 5.3.11 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมา ที่ความดัน -200 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	64
ภาพที่ 5.3.12 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -300 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	65
ภาพที่ 5.3.13 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมา ที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 5 นาที.....	65
ภาพที่ 5.3.14 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมา ที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 10 นาที.....	66
ภาพที่ 5.3.15 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมา ที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 20 นาที.....	66
ภาพที่ 5.4.1 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ไม่ได้เคลือบผิว.....	69
ภาพที่ 5.4.2 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทราย แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที.....	70
ภาพที่ 5.4.3 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทราย แล้วนำไปแช่ในสารละลายปิรันยาที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที.....	70

ภาพที่ 5.4.4 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทราย แล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมา ที่ความดัน -200 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	71
ภาพที่ 5.4.5 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทราย แล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมา ที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที.....	71
ภาพที่ 5.4.6 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทราย แล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมา ที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 20 นาที.....	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากในกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยวัสดุที่ใช้เป็นผนังแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลากหลายประเภท เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel) เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) ทองเหลือง (Brass) และทองแดง (Copper) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมักจะประสบปัญหาหลายประการ เช่น การกัดกร่อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การเติบโตของจุลินทรีย์ และการเกิดตะกอน เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการเกิดการกัดกร่อนของผิวโลหะส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน โดยจะส่งผลให้เกิดการรั่วซึมและทำให้สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ซึ่งค่าบำรุงรักษาและการเสื่อมสมรรถนะนี้เองที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการทางอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดวิธีที่ใช้ป้องกันการถูกกัดกร่อนของผิวโลหะภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยวิธีที่แพร่หลายมากคือ การนำเอาสารอินทรีย์มาเคลือบผิวโลหะ เพื่อป้องกันการสัมผัสกันระหว่างของเหลวและผิวโลหะ แต่การเคลือบผิวโลหะนั้นจะเพิ่มความต้านทานของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ดังนั้นจึงมีการพัฒนากระบวนการเคลือบผิวโลหะ ให้มีความหนาของชั้นเคลือบที่บางมาก เช่น วิธีการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียว (Self-Assembled Monolayer; SAM) [1]

ขั้นตอนการเคลือบผิวโลหะโดยวิธี SAM แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ 1) การเตรียมพื้นผิวโลหะเพื่อให้การดูดซับสารอินทรีย์เป็นไปได้อย่างเหมาะสม และ 2) การเคลือบผิวด้วยสารอินทรีย์ โดยงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นในการพัฒนาความรู้ทางด้านการเคลือบผิวโลหะด้วยสารอินทรีย์ [1-16] แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาการเตรียมพื้นผิวโลหะน้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาขั้นตอนการเตรียมพื้นผิวของโลหะ โดยการศึกษาจากงานวิจัยก่อนหน้า [6] พบว่าวิธีการเตรียมพื้นผิวสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของสารอินทรีย์ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการป้องกันการเกิดตะกอนด้วย โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมผิวโลหะหลากหลายวิธี เช่น การแช่ในสารละลายกรดต่างๆ การใช้พลาสมา เป็นต้น ซึ่งวิธีการเตรียมผิวโดยใช้พลาสมานั้นน่าสนใจมาก

เพราะนอกจากจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายแล้ว ยังลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย อีกทั้งขั้นตอนการทำไม่ยุ่งยากซับซ้อน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงสนใจการเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อนของทองแดง โดยการศึกษาสภาพที่เหมาะสมที่สุดของวิธีการเตรียมผิวแผ่นทองแดง เพื่อการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียวของออกไซด์เคโนไทฮอล (Octadecanethiol; ODT) โดยจะทดสอบคุณสมบัติของการเปียก (Wettability) ของแผ่นทองแดงด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส เพื่อพิจารณาความสามารถในการป้องกันการเกาะตัวของโมเลกุลของน้ำ และทดสอบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนด้วยเทคนิคทางไฟฟ้าเคมี (Potentiostat) โดยนำแผ่นทองแดงที่เคลือบผิวแล้วไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของการเตรียมผิวทองแดงที่สภาวะต่างๆ นอกจากนี้ยังศึกษาการเรียงตัวของ ODT บนผิวทองแดง เพื่อวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของการเกาะตัวของ ODT บนพื้นผิวทองแดงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) เมื่อใช้วิธีการเตรียมผิวที่สภาวะต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

หาสภาวะที่ดีที่สุดในการเตรียมผิวทองแดงก่อนการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียว (Self-Assembled Monolayer) ของออกไซด์เคโนไทฮอล (Octadecanethiol) เพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อนของพื้นผิวทองแดง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะผลของความดันโดยทดลองที่ -100, -200, -300 และ -400 mmHg, และระยะเวลาในการเตรียมผิวโดยทดลองที่ 5, 10, 15, และ 20 นาที โดยใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาก่อนการเคลือบผิวทองแดงด้วยออกไซด์เคนไทออล (Octadecanethiol)
2. เปรียบเทียบการป้องกันการกัดกร่อน เมื่อใช้วิธีการเตรียมผิวด้วยออกซิเจนพลาสมากับวิธีอื่นๆ
 - 2.1 ขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น
 - 2.2 ขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายปรีร์นยา (สารละลาย $H_2SO_4 + H_2O_2$ ซึ่งมีอัตราส่วนของความเข้มข้น 5:1) ที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที
 - 2.3 ขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที
 - 2.4 ขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
 - 2.5 ขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที
 - 2.6 ขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที
 - 2.7 ขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการป้องกันการกัดกร่อนในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 mol/L โดยใช้วิธีการทางไฟฟ้าเคมี (Potentiostat/Galvanostat)
4. ศึกษาความสามารถในการป้องกันการเกาะตัวของน้ำบนพื้นผิวโดยการใช้เครื่องวัดมุมผิวสัมผัส (Contact angle)
5. ศึกษาความหนาของชั้นเคลือบผิวโดยใช้เครื่องมือ Scanning Electron Microscope (SEM)
6. ศึกษาความสม่ำเสมอและความขรุขระของการเคลือบผิวทองแดงโดยใช้เครื่องมือวัด คือ Atomic force microscopy (AFM)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมพื้นผิวทองแดงก่อนที่จะทำการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. รวบรวมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย
3. ทำการทดลองและเก็บผลการทดลอง
4. วิเคราะห์การทดลองและสรุปผล
5. จัดทำรายงานการวิจัย

1.6 แผนงาน

ตารางที่ 1.6.1 แผนงานในการทำการวิจัย

	งาน	เดือน																							
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
1.6.1	รวบรวมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←—————→																							
1.6.2	เตรียมและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย				←—————→																				
1.6.3	ทำการทดลองและเก็บผลการทดลอง										←—————→														
1.6.4	วิเคราะห์การทดลองและสรุปผล														←—————→										
1.6.5	จัดทำรายงานการวิจัย											←—————→													

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงโดยใช้สารอินทรีย์มาเคลือบผิวแบบการเรียงตัวเป็นชั้นเดียว (Self-assembled monolayer; SAM) นั้นมีการวิจัยกันมาเป็นเวลานาน เช่น ในงานวิจัยของ Jennings, G.K. และ P.E. Laibinis [1] ได้ทำการศึกษาการเคลือบผิวของทองแดงด้วยวิธีการเรียงตัวเป็นชั้นเดียว (SAM) ของสารจำพวก Alkanethiol ที่มีความยาวของโมเลกุลต่างกัน คือ Octadecanethiol ($C_{18}H_{37}SH$) และ docosanethiol ($C_{22}H_{45}SH$) มาเปรียบเทียบกับ การเคลือบผิวโดยการเคลือบแบบการเรียงตัวสองชั้น (Bilayer assembled) โดยชั้นแรกเคลือบด้วย 22-hydroxydocosanethiol ($HSC_{22}H_{44}OH$) แล้วเคลือบอีกชั้นหนึ่งด้วย Octadecyltrichlorosilane ($C_{18}H_{37}SiCl_3$) เพื่อดูการต้านทานการเกิดสนิมทองแดงในบรรยากาศที่มีความชื้น (100% Humidity) โดยที่ทำการเตรียมแผ่นทองแดงเพื่อเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียวโดยให้ความร้อนกับทองแดงภายในเครื่องระเหย (evaporator) เพื่อให้ระเหยภายใต้ความดัน 2×10^{-6} torr เพื่อให้ทองแดงไปจับเป็นชั้นบางๆ (1000 \AA) บนพื้นผิวของซิลิคอน หลังจากนั้นใส่สารเคลือบผิวจำพวก Alkanethiol ที่เราจะนำมาเคลือบผิวโดยเป็นสารละลายความเข้มข้น $1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ เข้าไปในเครื่องระเหยให้ระเหยไปเกาะเคลือบผิวทองแดงประมาณ 40 นาที หลังจากนั้นนำออกมาล้างด้วยเอทานอล แล้วทำให้แห้งด้วยไนโตรเจน ส่วนการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวสองชั้นนั้นทำโดยการเตรียมชั้นของทองแดงเหมือนเดิม แต่ส่วนขั้นตอนการเคลือบผิวนั้นใช้ 22-hydroxydocosanethiol ($HSC_{22}H_{44}OH$) ความเข้มข้น $1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ ใส่เข้ามาในเครื่องระเหยเป็นเวลาประมาณ 40 นาที แทน จากนั้นนำออกมาล้างด้วยเอทานอล แล้วทำให้แห้งด้วยไนโตรเจน จากนั้นนำแผ่นทองแดงที่เคลือบผิวครั้งแรกแล้วและ Octadecyltrichlorosilane ($C_{18}H_{37}SiCl_3$) ความเข้มข้น $0.5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ เข้าไปในเครื่องระเหยเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำออกมาล้างด้วย isooctane แล้วทำให้แห้งด้วยไนโตรเจน หลังจากนั้นนำไปทดสอบด้วย X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) เพื่อดูปริมาณการเกิดสารประกอบ CuO หรือสนิมทองแดง ซึ่งผลปรากฏว่า Alkanethiol ที่มีโมเลกุลยาวกว่าจะป้องกันการเกิด CuO ได้ดีกว่า Alkanethiol ที่มีโมเลกุลสั้น และการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวสองชั้นนั้นไม่ได้ช่วยป้องกันการเกิด CuO ได้มากกว่าการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียวเลย

หลังจากได้ทราบว่าการเคลือบผิวแบบเรียงตัวชั้นเดียวช่วยป้องกันการกัดกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว จากนั้นในงานวิจัยของ Koo, Ja-Ryong, et al. [6] ได้ทำการศึกษาถึงผลของวิธีการเตรียมผิวแพลตตินัมก่อนการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียวของสาร Octadecanethiol ($C_{18}H_{37}SH$) เพื่อใช้เป็นฉนวนป้องกันกระแสไฟฟ้าข้ามผ่านในวงจรรีเลย์ทรานซิสต์ โดยทำการทดลองโดยนำแพลตตินัมมาผ่านการสปัตเตอริง(Sputtering) บนพื้นผิวซิลิคอน แล้วนำไปเตรียมผิว โดยวิธีแรกใช้การเตรียมผิวด้วยการแช่แผ่นตัวอย่างในสารละลายปิรันยา (สารละลาย $H_2SO_4 + H_2O_2$ ซึ่งมีอัตราส่วนของความเข้มข้น 5:1) ที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water) ส่วนวิธีที่สองนั้นใช้การเตรียมผิวโดยการนำแผ่นตัวอย่างไปใส่ในเครื่องสร้างยูวีโอโซน กำลังไฟ 110 Watt เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นจึงนำแผ่นตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมผิวทั้งสองไปแช่ในสารละลาย Octadecanethiol ในเอทานอล ความเข้มข้น 0.002 mol/L เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำแผ่นตัวอย่างขึ้นมาจากสารเคลือบผิวแล้วล้างด้วยเอทานอล 3 ครั้ง แล้วนำไปทำให้แห้งโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน โดยหลังการเคลือบผิวแล้วนั้น นำแผ่นตัวอย่างไปเคลือบผิวด้วยตัวนำไฟฟ้าอีกชั้นหนึ่ง โดยการทำให้ไทเทเนียมระเหยมาเคลือบผิวที่ความดัน 10^{-6} torr เพื่อให้ได้ชั้นตัวนำขนาดความหนา 5 นาโนเมตร แล้วนำไปทดสอบการข้ามผ่านของไฟฟ้าระหว่างชั้นแพลตตินัมและไทเทเนียม ซึ่งผลปรากฏว่าการเตรียมผิวด้วยสารละลายปิรันยานั้นทำให้สารเคลือบผิวเกาะบนพื้นผิวแพลตตินัมได้ดีกว่าการเตรียมผิวด้วยการใช้หลอดรังสียูวีโอโซน ซึ่งทำให้แผ่นตัวอย่างที่ใช้การเตรียมผิวด้วยสารละลายปิรันยามีความสามารถในการป้องกันการข้ามผ่านของกระแสไฟฟ้ามากกว่าการเตรียมผิวด้วยการใช้หลอดรังสียูวีโอโซน

จากงานวิจัยที่กล่าวมานั้น ทำให้ทราบว่าการเตรียมผิวก่อนการเคลือบผิวมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการยึดจับของสารเคลือบผิว ซึ่งวิธีการเคลือบผิวจากงานวิจัยต่าง ๆ นั้นมีหลากหลายวิธี อาทิเช่น จากงานวิจัยของ Appa Rao, et al. [17] ทำการเตรียมผิวทองแดงก่อนการเคลือบผิวโดยการแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L เป็นเวลา 30 วินาที โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการเคลือบผิวทองแดงแบบการเรียงตัวชั้นเดียวด้วยสารประกอบ 5-Methoxy-2-(octadecylthio)benzimidazole (MOTBI) เพื่อป้องกันการกัดกร่อน โดยทำการเตรียมผิวโดยการตัดแผ่นทองแดงออกเป็นขนาด 1 cm. x 1 cm. x 0.2 cm. แล้วนำไปขัดด้วยกระดาษทราย หลังจากนั้นก็ขัดด้วยผงอลูมินาบนเครื่องขัดแบบจานหมุน (rotating disk) แล้วล้างด้วยอะซิโตนและน้ำกลั่น หลังจากนั้นก็ทำให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที เมื่อผ่านขั้นตอนการขัดแผ่นทองแดงแล้วนั้นก็เตรียมผิวต่อด้วยการนำแผ่นทองแดงที่ขัดแล้วนั้นไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L เป็นเวลา 30 วินาที และล้างด้วยน้ำกลั่น หลังจากนั้นนำไปแช่ในสารละลายของ MOTBI ในเอทานอล ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ที่ความเข้มข้น 0.001-0.010 mol/L เป็นเวลา 3-24 ชั่วโมง โดยเมื่อนำไปทดสอบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนในสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 8.4×10^{-3} mol/L พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การนำไปแช่ในสารละลาย MOTBI ที่ความเข้มข้น 0.01 mol/L เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทดสอบการป้องกันการกัดกร่อนในสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.02 – 0.20 mol/L (แช่เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) พบว่าทุกความเข้มข้นของ NaCl ที่ทดสอบมีค่าการป้องกันการกัดกร่อนมากกว่า 98% ทั้งสิ้น จึงนำไปทดสอบในสารละลาย NaCl เป็นเวลา 30 นาที – 24 ชั่วโมง (ที่ความเข้มข้น 0.02 mol/L อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) พบว่าทุกเวลาในการแช่ NaCl ที่ทดสอบมีค่าการป้องกันการกัดกร่อนมากกว่า 98% ทั้งสิ้น สุดท้ายจึงนำไปทดสอบในสารละลาย NaCl ที่อุณหภูมิ 30 – 60 องศาเซลเซียส (ที่ความเข้มข้น 0.02 mol/L เป็นเวลา 30 นาที) พบว่าทุกอุณหภูมิของ NaCl ที่ทดสอบมีค่าการป้องกันการกัดกร่อนมากกว่า 97% ทั้งสิ้น ดังนั้นจึงสรุปว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการเคลือบผิวทองแดงด้วยสารละลาย MOTBI คือที่ความเข้มข้น 0.01 mol/L เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

นอกจากนั้นในงานวิจัยของ Chijung Kim, et al. [18] ใช้การเตรียมผิวแผ่นโพลีอีไมด์ก่อนการเคลือบผิวด้วยทองแดงด้วยการใช้ไนโตรเจนและอาร์กอนพลาสมา โดยเสนอวิธีการเตรียมผิวของโพลีอีไมด์ก่อนที่จะนำมา SAM พื้นผิวด้วยทองแดง โดยใช้ไนโตรเจนและอาร์กอนพลาสมา เพื่อนำมาใช้เป็นแผงวงจรไฟฟ้า แทนการแช่ในสารละลายดีบุกคลอไรด์ (SnCl_2) โดยการนำแผ่นโพลีอีไมด์มาทำความสะอาดพื้นผิวโดยแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำมาเข้าเครื่องอาร์กอนและไนโตรเจนพลาสมาที่ความดัน 150 mTorr เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่ในสารละลาย PdCl_2 และ HCl เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจึงนำมาเคลือบผิวทองแดงด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี โดยนำแผ่นโพลีอีไมด์ที่เตรียมผิวแล้วนั้นไปแช่ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจึงนำไปทดสอบการเกาะติดของทองแดง โดยผลที่ได้ คือ การเกาะของทองแดงบนผิวโพลีอีไมด์ที่เตรียมผิวด้วยการใช้ไนโตรเจนและอาร์กอนพลาสมามีความทนทานกว่าเมื่อใช้การเตรียมผิวโดยการแช่ในสารละลายดีบุกคลอไรด์

ในงานวิจัยของ Kim K.J., et al. [19] ทำการเตรียมผิวทองแดงก่อนการเคลือบผิวด้วยการแช่ในสารละลาย 30% ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยทำการเคลือบผิวของเครื่องควบแน่นไอน้ำที่ทำจากทองแดงด้วย n-octadecyl mercaptan เพื่อสร้างพื้นผิวของทองแดงภายในเครื่องควบแน่นไอน้ำให้มีลักษณะไม่ชอบน้ำ เพื่อให้ไอน้ำที่กลั่นตัวภายในเครื่องควบแน่นไอน้ำแสดงสมบัติเป็น drop wise โดยจะทำให้การถ่ายเทความร้อนทำได้ดีขึ้น ซึ่งเริ่มการทดลองจากการนำแผ่นทองแดงมาขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120, 180, 220, 320, 600 และ 1000 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำแผ่นทองแดงที่ขัดผิวแล้วไปเตรียมผิวก่อนการเคลือบผิวโดยการแช่ในสารละลาย 30% ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาแช่ในสารละลาย n-octadecyl mercaptan ความเข้มข้น 2.5×10^{-3} mol/L หลังจากนั้นนำไปทดสอบหาค่ามุมสัมผัสด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส โดยได้ค่ามุมสัมผัสที่ 148.46° ซึ่งทำให้พื้นผิวแสดงสมบัติเป็น drop wise ตามที่ต้องการ

ในงานวิจัยของ Myung M. Sung, et al. [2] ทำการเตรียมผิวทองแดงก่อนการเคลือบผิวด้วยการแช่ในสารละลาย 30% ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยได้ศึกษาความทนทานของ Alkanethiol ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยเลือกใช้ Alkanethiol ที่มีความยาวของโมเลกุลต่างกัน คือ C4(1-butanethiol), C8(1-octanethiol) และ C16(1-hexadecanethiol) อะตอม มาทดสอบ ซึ่งใช้การเตรียมผิวทองแดงโดยการขัดผิวทองแดงด้วยกระดาษทราย แล้วนำแผ่นทองแดงไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงนำไปแช่สารละลายกรดไนตริก 7 mol/L เป็นเวลา 1 นาที แล้วหลังจากนั้นจึงนำไปเคลือบผิวโดยสารละลาย Alkanethiol เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำมาทดสอบในเครื่องควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อุณหภูมิที่ทดสอบในช่วง 25-220 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนอุณหภูมิแล้วปรับให้คงที่เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำไปวัดหาสาร SAM บนผิวทองแดงโดยใช้ X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) เพื่อดูปริมาณสาร SAM ที่เหลืออยู่ ซึ่งผลที่ได้คือ Alkanethiol ทั้งสามชนิดสามารถเกาะอยู่ได้อย่างแข็งแรงที่อุณหภูมิน้อยกว่า 140 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิมากกว่า 160 องศาเซลเซียสสาร SAM ทั้งสามชนิดไม่สามารถที่จะเกาะอยู่บนพื้นผิวทองแดงได้อีก

ในงานวิจัยของ David A. Hutt, et al. [5] ทำการเตรียมผิวทองแดงก่อนการเคลือบผิวด้วยการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 10 นาที โดยได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของชั้นเคลือบผิวทองแดง โดยเลือกใช้สารเคลือบผิวเป็น Octadecanethiol (ODT) ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้การเตรียมพื้นผิวก่อนการ SAM คือ ขัดผิวทองแดงด้วยกระดาษทรายจนเรียบ แล้วนำแผ่นทองแดงไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำขึ้นมาล้างด้วยไอโซโพรพานอล (2-propanol) แล้วทำการเคลือบผิวโดยนำแผ่นทองแดงไปแช่ใน ODT ความเข้มข้น 0.01 mol/L เป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นมาล้างด้วยสารละลายผสมระหว่างไอโซโพรพานอลกับกรดอะซิติก เพื่อให้กรดอะซิติกกำจัดสารประกอบของสนิมทองแดงที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคลือบผิว แล้วนำแผ่นทองแดงที่เคลือบผิวเสร็จแล้ว ไปเก็บในสภาวะอุณหภูมิต่างๆ โดยเลือกเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ (20-30 °C), ในตู้เย็น (4 °C) และในเครื่องแช่แข็ง (-30 °C) แล้วเปรียบเทียบการสลายตัวของชั้นเคลือบผิวหลังการเก็บไว้ 10 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า การเก็บรักษาแผ่นทองแดงหลังการเคลือบผิวแล้วที่อุณหภูมิ -30 °C นั้นสามารถช่วยป้องกันการสลายตัวของชั้นเคลือบผิวได้

นอกจากนั้นในงานวิจัยของ Wang P., et al. [16] ซึ่งใช้การเตรียมผิวทองแดงก่อนการเคลือบผิวด้วยการแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% นาน 10 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่ต่อในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L เป็นเวลา 30 วินาที โดยได้ศึกษาการเคลือบผิวทองแดงด้วยสาร 1-dodecanethiol (DT) ในสารละลาย micellar เพื่อป้องกันการกัดกร่อน ซึ่งเริ่มการทดลองจากการนำแผ่นทองแดงมาขัดด้วยกระดาษทรายจนถึงเบอร์ 2000 หลังจากนั้น นำแผ่นทองแดงที่ขัดผิวแล้วไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% นาน 10 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ต่อจากนั้นนำแผ่นทองแดงที่เตรียมผิวเรียบร้อยแล้วไปแช่ในสารละลายของ DT ความเข้มข้น 0.01 mol/L และ สารละลาย Cetane trimethyl ammonium bromide (CTAB) ความเข้มข้น 0.11 mol/L ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ หลังจากนั้นนำแผ่นทองแดงที่เคลือบผิวแล้วมาล้างด้วยเอทานอล แล้วทำให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน โดยทดสอบการป้องกันการกัดกร่อนโดยการนำแผ่นทองแดงที่เคลือบผิวแล้วไปแช่ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 mol/L ผลการทดลองปรากฏว่า การป้องกันการกัดกร่อนนั้นแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการแช่แผ่นทองแดงในสารเคลือบผิว โดยจะให้การป้องกันการกัดกร่อนที่ 95.10% เมื่อแช่แผ่นทองแดงในสารเคลือบผิว 5 นาที และหลังจากที่แช่แผ่นทองแดงในสารเคลือบผิวมากกว่า 1 ชั่วโมง จะให้การป้องกันการกัดกร่อนที่ 98.94% ซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดการกัดกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เวลาในการแช่สารเคลือบผิวน้อย

ซึ่งจากวิธีการเตรียมผิวแบบต่างๆดังที่ได้เสนอไปแล้วนั้น พบว่าไม่มีงานวิจัยใดรายงานถึงวิธีการเตรียมผิวก่อนการเคลือบผิวทองแดงที่เหมาะสมที่สุดต่อการใช้เพื่อป้องกันการกัดกร่อนทองแดง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เพื่อเตรียมผิวก่อนการเคลือบผิวทองแดงเพื่อป้องกันการกัดกร่อน

นอกจากจะศึกษาวิธีการเคลือบผิวแล้วนั้นยังมีงานวิจัยเพื่อการเลือกใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่เหมาะสมต่อการวัดประสิทธิภาพของการป้องกันการกัดกร่อน โดยจากงานวิจัยของ B V Appa Rao, et al [12] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงโดยใช้สารเคลือบผิวเป็น 3-methyl-5-octadecylsulfanyl-[1,2,4]triazole-4-ylamine (MOSTY) โดยทำการทดสอบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนจากสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.02 mol/l และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.02 mol/L ด้วยวิธีต่างๆ คือ น้ำหนักที่ลดลงหลังการกัดกร่อน (Weight loss analysis) การหากระแสที่กัดกร่อนโดยวิธีทางเคมีไฟฟ้า (Potentiodynamic polarization) และการหาความต้านทานการกัดกร่อนโดยวิธีทางไฟฟ้า (Impedance study) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมผิวทองแดงโดยการขัดแผ่นทองแดงด้วยกระดาษทราย แล้วนำแผ่นทองแดงที่ผ่านการขัดแล้วไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L เป็นเวลา 30 วินาที หลังจากนั้นจึงนำไปแช่ในสารละลาย MOSTY ที่ความเข้มข้น 0.01 mol/L เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อเสร็จแล้วจึงนำไปทดสอบด้วยเครื่องมือต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมา ซึ่งผลที่ได้ คือ การทดสอบการป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า ทั้งการวัดกระแสที่ทำให้กัดกร่อน และความต้านทานการกัดกร่อนนั้น สามารถนำมาใช้แทนการวัดน้ำหนักที่ลดลงหลังการกัดกร่อนได้ โดยค่าการป้องกันการกัดกร่อนที่วัดได้นั้นมีความใกล้เคียง และไปในทางเดียวกัน

นอกจากนั้นในงานวิจัยของ H.Y.Ma, et al [20] ได้ทำการศึกษาการใช้เครื่องมือทางไฟฟ้าเคมีเพื่อศึกษาผลของการป้องกันการกัดกร่อนของทองแดง โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารเคลือบผิวเป็น Alkanethiol ที่มีจำนวนคาร์บอน 6(1-hexanethiol), 12(1-dodecanethiol) และ 18(1-octadecanethiol) อะตอม มาทำการศึกษา ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การเตรียมผิวโดยการขัดแผ่นทองแดงด้วยกระดาษทราย แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L เป็นเวลา 20 วินาที แล้วหลังจากนั้นจึงทำการเคลือบผิว โดยนำไปแช่ในสาร Alkanethiol ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.001 mol/L เป็นเวลา 1, 4 และ 24 ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลของเวลาในการแช่สารเคลือบผิวด้วย หลังจากนั้นจึงนำไปทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.2 mol/L ซึ่งผลที่ได้ คือ การใช้เครื่องมือทางไฟฟ้าเคมีสามารถวัดประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นทองแดงได้ นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตการเกิดการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting corrosion) ที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวของทองแดง เมื่อแช่แผ่นทองแดงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกได้

บทที่ 3

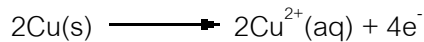
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1. กระบวนการเกิดการกัดกร่อนในทองแดง [21-23]

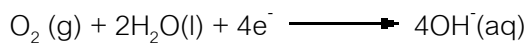
3.1.1. ทฤษฎีการเกิดการกัดกร่อน

การกัดกร่อน หมายถึง การเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าหรือเคมีที่เกิดขึ้นมาระหว่างทองแดงกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้ทองแดงที่ถูกกัดกร่อนสูญเสียสภาพความแข็งแรงไปก่อนถึงเวลาอันสมควร

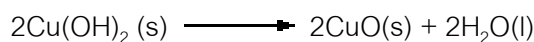
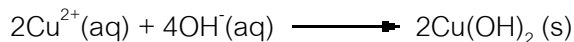
การกัดกร่อนนั้นเกิดจากการที่ทองแดงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทองแดงให้อิเลคตรอนออกไป โดยทองแดงที่เสียอิเลคตรอนไปแล้วจะเปลี่ยนเป็น อีออนทองแดงประจุบวก ดังสมการ



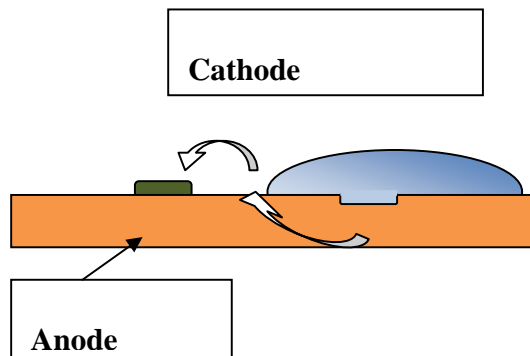
อีกส่วนหนึ่งของทองแดงจะมีออกซิเจนมาทำปฏิกิริยารีดักชันโดยมีน้ำเป็นส่วนประกอบ ดังสมการ



ซึ่งอีออนที่หลุดออกมาจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่อง ต่อไปดังสมการ



ซึ่ง CuO(s) คือสนิมทองแดงนั่นเอง



ภาพที่ 3.1.1 การเกิดสนิมของเหล็ก

3.1.2. ประเภทของการกัดกร่อน

- 1) การกัดกร่อนทั่วผิวหน้า (General or Uniform Corrosion) การกัดกร่อนแบบนี้เห็นอยู่ทั่วไป โลหะจะถูกกัดกร่อนอย่างสม่ำเสมอทั่วผิวของโลหะนั้น โดยปกติจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า การกัดกร่อนเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอบนผิวหรือเป็นบริเวณกว้าง มีผลให้โลหะบางเรื่อยๆ หรือมีน้ำหนักหายไป คือ เบาลงเรื่อยๆ การกัดกร่อนประเภทนี้ในแง่ของเทคนิคไม่ค่อยเป็นปัญหาและไม่ก่อให้เกิดอันตรายรุนแรงเท่าใดนัก เนื่องจากสามารถหาอัตราการกัดกร่อนและออกแบบเพื่อ พร้อมทั้งทำนายอายุการใช้งานของชิ้นส่วนที่เกิดการกัดกร่อนแบบนี้ได้ และเปลี่ยนใหม่เมื่อถึงเวลาอันควร
- 2) การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion) โลหะแต่ละชนิดจะมีค่าศักย์เฉพาะตัว ดังนั้นถ้าหากมีโลหะ 2 ชนิด สัมผัสกันอยู่และมี สารละลายอิเล็กโตรไลต์และส่วนโลหะเชื่อมต่อนำไฟฟ้า หรือต่อกันอย่างครบวงจรไฟฟ้าเคมีเมื่อเวลาผ่านไป โลหะที่ศักย์ต่ำกว่าจะเกิดการกัดกร่อน(อานอด) ขณะที่โลหะที่มีศักย์สูงกว่าจะไม่กัดกร่อน(คาโธด) ความต่างศักย์ของโลหะทั้งสอง ยิ่งมากเท่าไร ความรุนแรงก็มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งความต่างศักย์จะทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนระหว่างวัสดุทั้งสอง ทำให้เพิ่มอัตราการกัดกร่อนของโลหะ ที่มีค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อนน้อย และจะลดอัตราการกัดกร่อนของโลหะที่มีค่าความต้านทานมากกว่า โดยปกติโลหะที่มีค่าความต่างศักย์มากจะมีการกัดกร่อนค่อนข้างน้อยหรือแทบจะไม่เกิดเลย เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าและความแตกต่างของโลหะ จึงมีการเรียกการกัดกร่อนแบบนี้ว่า Galvanic Corrosion หรือ Two-metal Corrosion ปริมาณกระแสและการกัดกร่อนขึ้นกับความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะทั้งสอง

- 3) **การกัดกร่อนในที่อับ (Crevice Corrosion)** การกัดกร่อนในที่อับคือการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่อับบนผิวโลหะที่สัมผัสโดยตรงกับสารกัดกร่อน การกัดกร่อนประเภทนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณของสารละลายที่ค้างอยู่ตามพื้นที่ที่เป็นหลุมหรือพื้นที่ที่เป็นซอก บริเวณแคบๆที่มีสารละลายเข้าไปซึ่งอยู่ได้เป็นเวลานานโดยไม่มี การถ่ายเท ทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจน ในน้ำหรือสารละลายภายในซอกไม่เท่ากับภายนอก ทำให้เกิดการครบเซลล์การกัดกร่อนชนิดเซลล์ความเข้มข้น โดยบริเวณในซอกจะเกิดเป็นขั้วแอโนดคือเกิดการสูญเสียเนื้อโลหะ
- 4) **การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion)** เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาก โดยเฉพาะกับโลหะที่ได้พัฒนาให้มีฟิล์ม ป้องกันการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้าได้แล้ว แต่เมื่อฟิล์มบางแตกแยกออกเฉพาะบางที่ ก็จะเกิดการกัดกร่อนเฉพาะ ที่กัดกร่อนลึกลงไปเรื่อยๆ ทำให้สังเกตเห็นได้ยากเนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนได้ปกคลุมเอาไว้ การกัดกร่อนแบบนี้ทำให้ทำนายได้ยาก โดยทั่วไปการกัดกร่อนแบบรูเข็มมักจะเกิดทิศทางเดียวกันกับแรงโน้มถ่วงของโลก แต่การเกิดการกัดกร่อนในแนวอื่นก็เกิดขึ้นได้แต่น้อย การกัดกร่อนแบบรูเข็มนั้นเป็นลักษณะที่ทำให้เป็นรูหรือหลุมในเนื้อโลหะ ซึ่งรูเหล่านี้อาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ได้ แต่โดยส่วนมากจะมีขนาดเล็ก โดยบางครั้งจะเห็นรูกระจายอยู่ห่างกัน หรืออาจอยู่ใกล้กันจนดูคล้ายผิวโลหะที่ขรุขระ นอกจากนั้นการกัดกร่อนแบบรูเข็มยังเป็นการกัดกร่อนที่ก่อให้เกิดความเสียหายและรุนแรงที่สุด ซึ่งทำให้อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือชิ้นส่วนต่างๆ เกิดความเสียหายเนื่องจากการเจาะลึกด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมดที่น้อย ทำให้ยากที่จะตรวจสอบพบเพราะมีขนาดเล็ก และยังยากที่จะตรวจวัดเชิงปริมาณได้เพราะความลึกและจำนวนของรูที่เปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะเฉพาะสภาวะใดสภาวะหนึ่ง นอกจากนั้นยังยากที่จะทำนายได้จากการทดสอบในห้องทดลองอีกด้วย โดยบางครั้งอาจใช้เวลานานจึงปรากฏสภาพของการกัดกร่อน ซึ่งจากเหตุผลทั้งหมดนี้ทำให้การกัดกร่อนแบบรูเข็มเป็นรูปแบบการกัดกร่อนที่รุนแรง และความเสียหายที่เกิดขึ้นมักจะเกิดอย่างฉับพลัน

- 5) **การกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular Corrosion)** โดยปกติขอบเกรน มักจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าเนื้อเกรนอยู่แล้ว โดยขอบเกรนจะแสดงตัวเป็นขั้ว อานอด(สูญเสียเนื้อโลหะ) ภายในเกรนจะแสดงตัวเป็นขั้วคาโทด หากบริเวณขอบ เกรนมีอนุภาคอื่นๆมาตกตะกอนอยู่หรือมีธาตุหนึ่งมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งจะทำให้ ขอบเกรนถูกกัดกร่อนหรือทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นอีก เมื่อการกัดกร่อนเกิดขึ้นได้ ระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นที่ที่แสดงตัว เป็นอานอดจะเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไป การ กัดกร่อนก็จะเกิดกระจายอยู่ทั่วไปในบริเวณที่เป็นอานอด และคาโทด โดยจะ เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แต่ถ้าบริเวณขอบเกรนแสดงตัวเป็นอานอดตลอดเวลา การกัดกร่อนก็จะเกิดเฉพาะบริเวณขอบเกรนตลอดเวลา เป็นการกัดกร่อนที่ เรียกว่าการกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular corrosion)
- 6) **การกัดกร่อน-สึกกร่อน (Erosion Corrosion)** เมื่อมีการเสียดสีและการสึก กร่อนต่อโลหะในสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้ด้วยนั้น จะมีผลรวมของ การกระทำต่อโลหะ อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เชิงกล และเชิงเคมีซึ่งส่งผลให้ เกิดการการทำลายและการเสื่อมสภาพของโลหะอย่างรวดเร็ว การกัดกร่อน ประเภทนี้เริ่มจากการกัดกร่อนที่มีของไหล ไหลผ่านโลหะและมักไหลด้วยความเร็วสูง หากของไหลนี้มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง เมื่อโลหะเริ่มสึกจะทำให้โลหะเกิด การกัดกร่อนได้ง่ายขึ้น หากโลหะนั้นมีฟิล์มปกคลุมผิวได้ การไหลของของไหล อาจทำให้ฟิล์มถูกทำลายไปบางส่วน ถ้าฟิล์มนี้สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้อย่างง่าย และรวดเร็ว การกัดกร่อนก็จะไม่รุนแรงนัก แต่ถ้าฟิล์มใหม่เกิดขึ้นได้ช้าก็ทำให้ การกัดกร่อนเกิดขึ้นรุนแรง และรวดเร็ว
- 7) **การกัดกร่อนแบบถูครูด (Fretting Corrosion)** เป็นการกัดกร่อนที่เกิดใน สภาวะบรรยากาศปกติ บริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโลหะ เมื่อโลหะนั้นกำลังถูก แรงแกระทำ

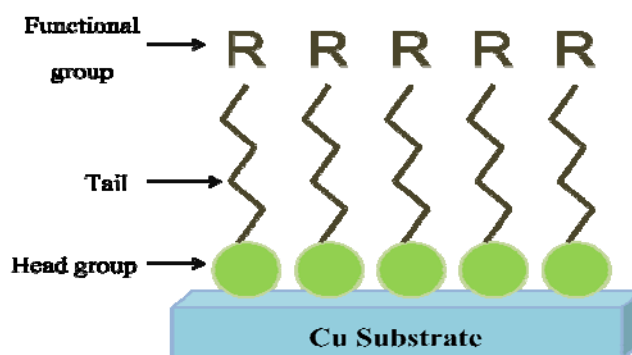
- 8) **การกัดกร่อนแบบรูพรุน (Cavitation Corrosion)** เป็นรูปแบบหนึ่งของการกัดกร่อนเฉพาะที่ ซึ่งเกิดจากผลรวมของความเสียหายบนผิวโลหะเป็นแห่งๆ อันเนื่องมาจากฟองอากาศที่มาจับตัวกันซ้ำแล้วซ้ำเล่า หรือเนื่องมาจากการกัดเซาะทางเคมีต่อพื้นที่ที่ถูกทำลาย การกัดกร่อนแบบนี้อาจพบได้ในสภาพไหลปั่นป่วน (Turbulent flow) ของของเหลว ซึ่งการเกิดและการแตกของฟองก๊าซซ้ำแล้วซ้ำเล่าอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันในบางบริเวณซึ่งลดต่ำลงกว่าหรือเพิ่มสูงกว่าความดันไอของของเหลว โดยการสับต่ออย่างรวดเร็วของการเกิดและการแตกของฟองอากาศนี้ทำให้เกิด shock ที่ทรงพลังซึ่งสามารถทำลายผิวโลหะหรือวัสดุได้เป็นจุดๆ ถ้ามีผิวออกไซด์บางบนโลหะ shock wave จะไปฉีกเอา protective film ออก ทำให้โลหะเปลือยและว่องไวต่อการกัดกร่อน โดยโลหะเปลือยจะสัมผัสกับอิเล็กโตรไลต์ในบางจุด ซึ่งพื้นผิวตรงนั้นอาจปรากฏให้เห็นลักษณะรูพรุนๆ คล้ายฟองน้ำ ลักษณะการเสียหายจะคล้ายกับการกัดกร่อนแบบรูเข็ม
- 9) **การกัดกร่อนแบบได้ชั้นเคลือบ (Filiform corrosion)** เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายใต้ชั้นเคลือบ เช่น การทาสีพลาสติกบนผิวเหล็กกล้า หรือการเคลือบแล็กเกอร์บนผิวแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก จัดเป็นการกัดกร่อนในที่อับประเภทหนึ่ง พบได้กับโลหะที่มีการทาเคลือบผิวเพื่อป้องกัน การกัดกร่อนทั่วผิวหน้า เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน แมกนีเซียม และอลูมิเนียม ที่เคลือบผิวด้วยดีบุก เงิน ทอง ฟอสเฟต สีนํ้ามันและแล็กเกอร์ โดยการกัดกร่อนแบบนี้มีผลให้สภาพผิวของชิ้นงานเสียไปเท่านั้น แต่ไม่ได้ทำความเสียหายแก่โครงสร้างของชิ้นงาน ดังนั้นงานที่ต้องการผิวที่ดี เช่น กระป๋องอาหาร รถยนต์ จึงต้องระวังปัญหาจากการกัดกร่อนภายใต้ผิวเคลือบ ซึ่งจะเกิดการกัดกร่อนลุกลามเป็นบริเวณกว้าง โดยเป็นผลจากการเกิดการกัดกร่อนภายใต้บริเวณจำกัด คือ ภายใต้ผิวเคลือบ ทำให้สนิมและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น วนเวียนอยู่ภายใต้ผิวเคลือบแล้วส่งผลต่อเนื่องให้เกิดเป็นบริเวณกว้างขึ้น การกัดกร่อนแบบนี้เริ่มจากบริเวณหนึ่งซึ่งเรียกว่าส่วนหัว (active head) แล้วไปปรากฏสนิม เช่น สีนํ้าตาลแดงของสนิมเหล็กในส่วนหาง (inactive tail)

3.2. การป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงโดยการเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียว (Self-Assembled Monolayer; SAM)

3.2.1. ลักษณะของสารเคลือบผิว

วิธีการเคลือบผิวทองแดงแบบเป็นฟิล์มบางชั้นเดียว (Self-assembled monolayer; SAM) คือ การทำให้โมเลกุลของสารประกอบชนิดหนึ่งมาเรียงตัวกันเป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิวของตัวดูดซับ (Substrate) ดังแสดงในภาพที่ 3.2.1 โดยจะเห็นว่าสารประกอบที่นำมาใช้เคลือบผิวนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ด้านหัว (Head group) และด้านหาง (Tail group) โดยในการเลือกสารที่จะมาใช้เคลือบผิวทองแดงนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ

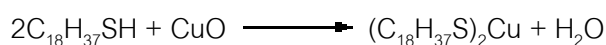
1. **ด้านหัว (Head group)** โดยที่ควรเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สามารถยึดจับกับพื้นผิวตัวดูดซับได้ดี ซึ่งโลหะแต่ละชนิดก็จะมี การยึดจับกับหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ได้ไม่เท่ากัน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้การเคลือบผิวทองแดงเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ดังนั้นหมู่ฟังก์ชันที่เหมาะสมที่จะเลือกนำมาใช้ เช่น หมู่เอโซล (azoles group) หมู่เอมีน (amines group) และ หมูกรดอะมิโน (amino acids group) เป็นต้น
2. **ด้านหาง (Tail group)** โดยปกติการเลือกหมู่ฟังก์ชันนั้นเลือกจากการใช้งาน เช่น หากต้องการให้น้ำไม่เกาะก็ต้องเลือกสารเคลือบผิวที่ด้านหางเป็นสารไม่มีขั้ว เนื่องจากน้ำเป็นสารมีขั้ว ดังนั้นถ้าเราใช้สารที่ด้านหางไม่มีขั้วน้ำก็จะไม่มาเกาะที่พื้นผิว ซึ่งถ้าต้องการป้องกันการกัดกร่อนโดยน้ำนั้นหมู่ฟังก์ชันที่เหมาะสมที่จะเลือกนำมาใช้ เช่น หมู่แอลคิล (alkyl group) หมู่แอริล (aryl group) เป็นต้น



ภาพที่ 3.2.1 โครงสร้างของการ SAM บนพื้นผิวตัวดูดซับ

3.2.2. ทฤษฎีการเคลือบผิว

การเคลือบผิวแบบการเรียงตัวชั้นเดียวนั้นเกิดจากการที่สารเคลือบผิว ซึ่งในการทดลองครั้งนี้เลือกใช้สารออกตะดีเคนไธออล (ODT) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบทองแดงออกไซด์ (CuO) ที่บริเวณพื้นผิวของทองแดง ดังสมการ



โดยจากสมการจะเห็นว่าสารออกตะดีเคนไธออลจะไปสร้างพันธะกับทองแดงที่พื้นผิวตามภาพที่

3.2.1 เกิดเป็นสารประกอบกับทองแดงซึ่งมีลักษณะเป็นฟิล์มบางขึ้นมาเคลือบบริเวณผิวหน้าของทองแดง ทำให้ออกซิเจนไม่สามารถเข้ามาทำปฏิกิริยารีดักชันกับพื้นผิวได้ (จากสมการการกัดกร่อนในหัวข้อที่ 3.1.1 ทฤษฎีการกัดกร่อน) ดังนั้นจึงป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงได้

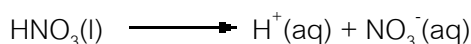
3.2.3. ทฤษฎีการเตรียมผิวก่อนการเคลือบผิว

จากสมการการเคลือบผิวจะเห็นว่าการสร้างฟิล์มของสารเคลือบผิวนั้น สารเคลือบผิวต้องมาทำปฏิกิริยากับสารประกอบทองแดงออกไซด์ (CuO) จึงจะเกิดเป็นฟิล์มบางขึ้นมา ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพของการป้องกันการกัดกร่อนสามารถทำได้โดยการเตรียมผิวทองแดงให้ผิวของทองแดงเป็นสารประกอบทองแดงออกไซด์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มการดูดซับสารเคลือบผิวบนพื้นผิวทองแดงนั่นเอง โดยวิธีการเตรียมผิวนั้นทำได้หลากหลายวิธี อาทิเช่น

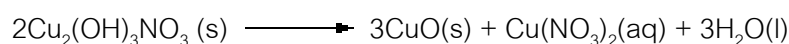
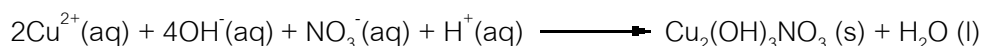
1. การแช่แผ่นทองแดงในสารละลายประเภทกรด เนื่องจากสารละลายประเภทกรดนั้นสามารถแตกตัวออกเป็นไฮโดรเนียมไอออนได้ดีเมื่ออยู่ในน้ำจากสมการการกัดกร่อนของทองแดง



และสมการการแตกตัวของกรด(ใช้กรดไนตริกเป็นตัวอย่าง)



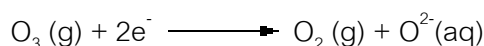
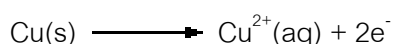
ซึ่งอิออนที่หลุดออกมาจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่อง ต่อไปดังสมการ



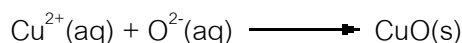
ซึ่ง CuO(s) นี้เองที่จะทำปฏิกิริยากับสารเคลือบผิวเกิดเป็นฟิล์มบางได้ตามสมการในหัวข้อที่

3.2.2 ทฤษฎีการเคลือบผิว

2. การใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของโลหะโดยใช้ออกซิเจนพลาสมา คือ การกระตุ้นให้เกิดลพลาสมา โดยอาศัยการสปาร์คจากไฟฟ้าแรงดันสูงผ่านตัวกลางซึ่งเป็นก๊าซออกซิเจน โดยลพลาสมาจะทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัวแล้วรวมตัวกันเป็นก๊าซไอโซน ซึ่งจะ去做ปฏิกิริยาที่พื้นผิวทองแดงเกิดเป็นสารประกอบทองแดงออกไซด์ (Copper oxide) ดังสมการ



ซึ่งอิออนที่หลุดออกมาจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่อง ต่อไปดังสมการ



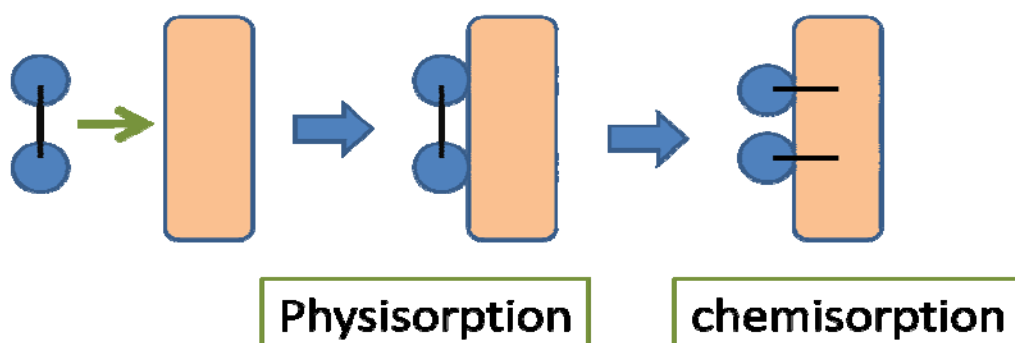
ซึ่ง CuO(s) นี้เองที่จะทำปฏิกิริยากับสารเคลือบผิวเกิดเป็นฟิล์มบางได้ตามสมการในหัวข้อที่

3.2.2 ทฤษฎีการเคลือบผิว

3.2.4. การยึดจับของสารเคลือบผิว

การเคลือบผิวของผงนั้นสารเคลือบผิวสามารถยึดจับกับผิวของทองแดงได้ โดยเป็นผลมาจากกาที่พื้นผิวของทองแดงดูดซับสารเคลือบผิวเข้ามาด้วยแรงระหว่างโมเลกุล ซึ่งแยกออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

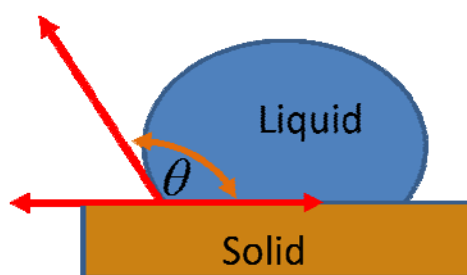
1. การยึดจับด้วยแรงระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน (Physisorption) คือ การที่สารเคลือบผิวมายึดจับกับพื้นผิวของทองแดงโดยที่โมเลกุลของสารเคลือบผิวไม่ได้ทำพันธะเคมีกับพื้นผิวของทองแดง โดยส่วนใหญ่จะยึดจับกับพื้นผิวด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals force) ซึ่งเป็นการเกาะตัวบนพื้นผิวอย่างอ่อน
2. การยึดเกาะด้วยพันธะทางเคมี (Chemisorption) คือ การที่สารเคลือบผิวมายึดจับกับพื้นผิวของทองแดงโดยที่โมเลกุลของสารเคลือบผิวไปทำพันธะเคมีกับพื้นผิวของทองแดง ทั้งการทำพันธะไอออนิก และพันธะโควาเลนต์ ซึ่งเป็นการเกาะตัวบนพื้นผิวด้วยพันธะที่แข็งแรง



ภาพที่ 3.2.2 การดูดซับสารเคมีบนพื้นผิวตัวดูดซับ

3.3. เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle Measurement) [24-26]

เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle measurement) เป็นเครื่องวัดมุมที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในขณะที่หยดของเหลวลงบนพื้นตัวอย่าง ดังภาพที่ 3.3.1 โดยปกติแล้วการวัดมุมสัมผัสนั้นจะใช้น้ำเพื่อบ่งบอกถึงคุณสมบัติของการเปียก (Wettability) ของพื้นตัวอย่าง ถ้ามุมสัมผัสของของเหลวน้อยกว่า 90° นั้นให้ถือว่าพื้นผิวนั้นเป็นพื้นผิวที่ชอบน้ำ (Hydrophobic surface) และถ้ามุมสัมผัสของของเหลวมากกว่า 90° นั้นให้ถือว่าพื้นผิวนั้นเป็นพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic surface) โดยที่มุมที่ของเหลวทำนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของพื้นตัวอย่าง เช่น ความขรุขระของพื้นผิว ความสกปรก การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับพื้นผิว หรือความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของของแข็ง เป็นต้น



ภาพที่ 3.3.1 มุมเชื่อมต่อระหว่างของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

เครื่องมือที่ใช้วัดมุมสัมผัสนั้นมีส่วนประกอบพื้นฐาน ดังภาพที่ 3.3.2 คือ

1. **เข็มหยดน้ำ** มีหน้าที่บังคับการไหลของหยดน้ำ โดยที่ต้องทำให้น้ำหยดออกมาได้ที่ปริมาณเท่ากันทุกครั้ง โดยปกติแล้วจะใช้น้ำหยดเล็กมากๆ (< 1 ไมโครลิตร) ในการหยดแต่ละครั้ง
2. **แท่นวางชิ้นงาน** มีหน้าที่วางชิ้นงานและต้องปรับเปลี่ยนขึ้น-ลงได้ เพื่อที่จะเลื่อนชิ้นงานขึ้นไปรับหยดน้ำที่ไหลออกมาจากเข็มหยดน้ำ เนื่องจากการถ่วงปล่อยให้หยดน้ำไหลลงมาบนชิ้นงานนั้นจะทำให้ น้ำกระจายตัวออกไม่เกาะกันเป็นหยด

3. **กล้องความละเอียดสูง** มีหน้าที่ถ่ายรูปผิวสัมผัสระหว่างหยดน้ำและชิ้นงาน เพื่อนำไปวัดค่ามุมสัมผัสของของเหลว
4. **หลอดไฟ** มีหน้าที่ส่องผ่านหยดน้ำ เพื่อให้กล้องความละเอียดสูงสามารถถ่ายเห็นขอบของหยดน้ำได้ชัดเจน



ภาพที่ 3.3.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องวัดมุมสัมผัส

3.4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) [27, 28]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ช่วยขยายตาประเภทกล้องจุลทรรศน์ ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนฉายหรือส่องกราดไปบนผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบให้ได้ข้อมูลของลักษณะพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรืออาจบันทึกภาพบนแผ่นฟิล์มได้

ส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญของ SEM

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun) อยู่ด้านปลายบนสุดของ Column ซึ่งต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูงที่ต่อจากถังแปลงไฟฟ้าแรงสูงซึ่งแปลงจากไฟฟ้า 110, 220 V เป็นไฟฟ้าที่มีความดันไฟฟ้าสูง คือระหว่าง 1-30 kV ซึ่งเพียงพอสำหรับ SEM โดยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนประกอบด้วยหลอดโลหะทั้งสแตนท์ที่บิดเป็นรูปตัววีเรียกว่า filament และล้อมด้วยโลหะรูปกรวย (Wehnelt cylinder) มีรูอยู่ปลายกรวยเมื่อกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 1000 V ขึ้นไปเข้ามาสู่ filament หลอดตัววีดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูงประจุอิเล็กตรอนก็จะกระจายออกมาในสภาวะสุญญากาศภายใน column ประจุอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจะถูกดึงดูดด้วยแผ่นขั้วบวก (anode plate) ที่อยู่ด้านล่างของ electron gun ประจุอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกดึงผ่านรูของกรวยไปยังทิศทางที่กำหนด คือ ลงสู่สนามแม่เหล็กที่สามารถรวบรวมประจุอิเล็กตรอนที่มีอยู่ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นเพียงพอสำหรับฉายลงบนตัวอย่าง Electron gun นั้นสามารถทำให้ขยับเขยื้อนได้ด้วยสกรูที่อยู่รอบๆ ด้านนอก electron gun ทั้งนี้เพื่อปรับให้ electron gun อยู่ในแนวตรงได้ศูนย์กลางหรือตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กของเลนส์สนามแม่เหล็กภายใน column ใน SEM สมัยใหม่นอกจากจะมีปั๊มหรือสกรูที่ช่วยปรับ electron gun ให้ได้ศูนย์แล้วยังมีขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณแผ่น anode เพื่อจะช่วยปรับลำแสงอิเล็กตรอนให้อยู่ศูนย์กลางของสนามแม่เหล็กในเลนส์ชุดแรกขดลวดดังกล่าวเรียกว่า alignment coil ซึ่งสามารถควบคุมและปรับได้ตามต้องการโดยหมุนและปรับปั๊ม (alignment knobs) บนแผงของ console unit เหตุที่ต้องปรับ electron gun ก็เพื่อจะให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์เป็นรูปทรงกระบอกที่ไม่บิดเบี้ยวหรือเขวออกไปจากศูนย์กลางหากมีการบิดของลำแสงอิเล็กตรอนออกนอกทิศทางอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primary electron) บางส่วนจะถูกกั้นออกไปซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron)

2. **เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอน (electron magnetic lens & scan coils)** เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ลำแสงดังกล่าวไปตกกระทบบนผิวตัวอย่างและจะใช้สนามแม่เหล็กขับหรือผลักให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างในแนวที่ต้องการเป็นบริเวณรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เลนส์แต่ละชุดมี aperture ซึ่งเป็นโลหะประเภททองขาวของเหลือนี้อาจมีขนาดต่างๆกัน (50um-400um) และสามารถเปลี่ยนได้ตามขนาดที่ต้องการ aperture ดังกล่าวมักจะจัดไว้ในเลนส์แต่ละชุดภายในบริเวณที่ไร้สนามแม่เหล็กของเลนส์ aperture เหล่านี้ ทำหน้าที่กำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่ผ่านสนามแม่เหล็กของเลนส์แต่ละชุดให้มีรูปกรวยที่สมมาตร aperture ของเลนส์ชุดสุดท้าย ก่อนที่ลำแสงอิเล็กตรอนจะมาสัมผัสกับตัวอย่างเป็น aperture พิเศษเรียกว่า objective aperture มีไว้เพื่อกันกรองลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปกรวยขนาดเล็กที่มีความสมมาตรที่สุดโดยกำหนดขนาดและปริมาณของอิเล็กตรอนให้กระทบบนผิวตัวอย่าง เพื่อให้ภาพที่มีความลึกมากกว่าปกติขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้กราดไปบนผิวของตัวอย่าง โดยชิ้นส่วนนี้เรียกว่า scan coils ซึ่งควบคุมโดยระบบไฟฟ้าและยังควบคุมการกราดของลำแสงที่เป็นเส้นในจอรับภาพ (crt) ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทาง และเวลาเดียวกันกับลำแสงอิเล็กตรอน
3. **ช่องใส่ตัวอย่าง (specimen chamber) ของ SEM** เป็นช่องว่างใต้เลนส์สุดท้ายส่วนที่สำคัญของช่องใส่ตัวอย่าง คือ ฐานวางตัวอย่างและปุ่มควบคุมโดยใช้เพื่อองขนาดต่างๆเพื่อเลื่อนฐานนี้ให้เลื่อนไปมาภายในช่องตัวอย่างได้อย่างน้อย 6 ทิศทางฐานวางตัวอย่างที่มีส่วนประกอบและคุณสมบัติเหล่านี้เรียกว่า goniometer stage
4. **อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (collector & scintillator)** เป็นแท่งแก้วใสมีปลายมลทำด้วยพลาสติกฉาบผิวด้วยอลูมิเนียมและส่วนปลายของแท่งนี้ล้อมด้วยตาข่ายโลหะที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุ+ขนาด30-250 โวลท์ เพื่อดึงดูดประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบบนผิวของตัวอย่าง

5. อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (imaging & photographic devices) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพและภาพที่ปรากฏบนจอ CRT ก็พร้อมที่จะทำการบันทึกอุปกรณ์สร้างภาพ ซึ่งประกอบด้วยท่อนำแสงและเครื่องขยาย โดยเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ให้เป็นแสงไฟฟ้า ในการสร้างภาพเริ่มจากประจุอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประจุอิเล็กทรอนิกส์นี้จะถูกจับและรวบรวมไว้แล้วนำสู่แท่งแก้วใส่ประเภทท่อนำแสง และจะเคลื่อนไปสู่เครื่องขยายแสง (photomultiplier) ซึ่งจะเปลี่ยนแสงชนิด photons นี้ไปเป็นอิเล็กทรอนิกส์อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏในจอภาพ (crt) ที่ติดตั้งไว้บน console unit

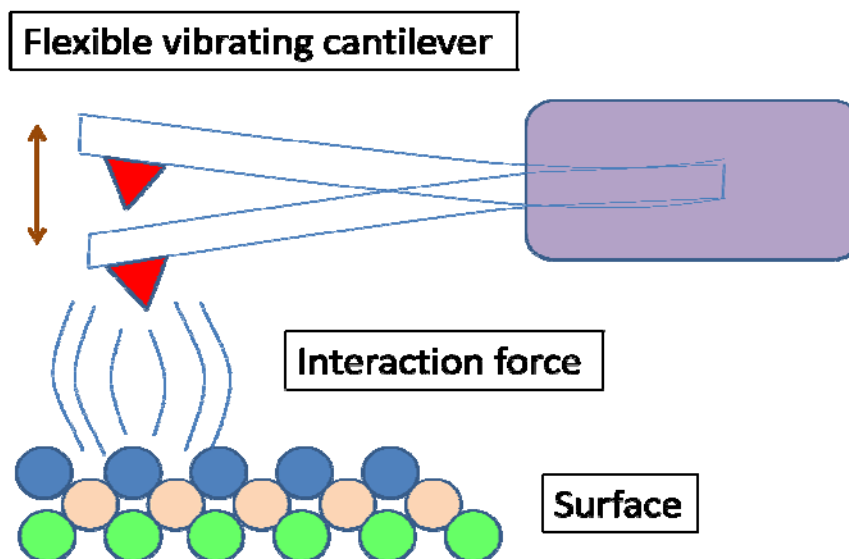
จากคำอธิบายรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบพื้นฐานต่างๆของภาพก็พอเข้าใจถึงกลวิธีการกำเนิดของภาพโดยการใช้ SEM อย่างคร่าวๆ ในตอนนี้จะสรุปให้เห็นถึงกลวิธีการเกิดภาพจาก ดั้งนี้ กลุ่มอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primary electronbeam) กระแทกกับตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับผิวตัวอย่าง ทำให้มีอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ซึ่งมีพลังงานต่ำหนีออกมาจากชั้นบางของพื้นผิว (ไม่เกิน 5 nanometer) อิเล็กตรอนประเภทนี้บางประจุ อาจหนีออกมาไม่ได้เพราะถูกดูดกลับเข้าชั้นในตัวอย่าง (ส่วนที่ลึกเกิน 5 nanometers) ก็สูญหายไปเป็นที่สุด ประจุอิเล็กตรอนบริเวณชั้นบนของผิวตัวอย่างที่หลุดออกมาจะถูกจับและรวมเป็นสัญญาณโดย collector และ scintillator ซึ่งสัญญาณนี้จะเปลี่ยนไปเป็น photon ของแสงและจะถูกส่งผ่านท่อนำแสง (lightpipe) ไปยัง photo-multiplier ซึ่งจะเปลี่ยน photon ไปเป็นอิเล็กตรอนชุดหลัง และจะถูกขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าโดย amplifier ให้มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมากมายในที่สุด สัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นถูกแปรไปเป็นภาพขาวดำที่ปรากฏบนจอโทรทัศน์หรือบนจอภาพ CRT และพร้อมที่จะบันทึกภาพ ซึ่งเกิดจากความแตกต่าง (contrast) ระหว่าง ความสว่าง(ขาว)กับความมืด(ดำ)บนจอภาพด้วยกล้องถ่ายภาพ โดยภาพที่ปรากฏบนจอภาพ CRT เป็นภาพขยายของบริเวณสี่เหลี่ยมจัตุรัสของพื้นผิวที่ลำแสงอิเล็กตรอนเคลื่อนผ่านในช่วงเวลานั้น การที่จะเพิ่มหรือลดกำลังขยายของภาพจำต้องควบคุมเนื้อที่ลำแสงอิเล็กตรอนครอบคลุม เช่น กำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิส่องกราดไปบริเวณจัตุรัสขนาดเล็กภาพที่ปรากฏจะเป็นภาพขยายขนาดใหญ่ หรือในทางกลับกันหากกำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนเคลื่อนในบริเวณที่กว้างใหญ่ภาพที่ปรากฏบนจอ CRT ก็เป็นภาพที่มีกำลังขยายต่ำ

3.5. กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) [29-31]

กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope : AFM) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางในระดับนาโน โดยอาศัยหลักการของอันตรกิริยาของแรงระหว่างอะตอม (atomic force) ระหว่างหัวเข็มวัดในระดับนาโนกับพื้นผิวของสาร และจะทำการประมวลผลออกในลักษณะของภาพพื้นผิว

Atomic Force Microscope (AFM) เป็นเครื่องมือที่ใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโน โดยเฉพาะเช่นเดียวกับ STM แต่เครื่อง AFM ถูกพัฒนาขึ้นมาหลังจากเครื่อง STM และสร้างขึ้นมาด้วยหลักการพื้นฐานเดียวกับเครื่อง STM โดยเครื่อง AFM จะสามารถทำงานได้โดยการใช้อุปกรณ์ตรวจหรือโพรบ (probe) ที่มีปลายแหลมเล็ก (เหมือนกันกับเครื่อง STM) ซึ่งติดอยู่กับคานยื่น (cantilever) ที่สามารถโก่งงอตัวได้เคลื่อนที่สัมผัสไปบนพื้นผิวของวัตถุ (ซึ่งสามารถที่จะวัด แรงกระทำที่ปลายแหลมของโพรบได้แม้ว่าจะมีขนาดน้อยมากในระดับนาโนก็ตาม) และคุณสมบัติของเครื่อง AFM ที่มีมากกว่าเครื่อง STM ก็คือ สามารถที่จะตรวจวัดพื้นผิวที่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ เช่น พื้นผิวโพลีเมอร์ เซรามิก คอมโพสิต กระจกหรือแก้ว หรือแม้แต่โมเลกุลทางชีวภาพต่าง ๆ ก็สามารถที่จะวัดได้ แต่อย่างไรก็ตามจากวิธีการทำงานโดยการเลื่อนโพรบไปบนชิ้นงานของ AFM ทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้งาน คือ สำหรับพื้นผิวที่มีความขรุขระมาก การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวอาจทำให้โพรบเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากปลายโพรบที่มีขนาดเล็กมากจะเลื่อนเข้าไปในหลุมบนพื้นผิว หลังจากนั้นจะเลื่อนไปชนกับขอบของหลุมทำให้เกิดแรงกระทำต่อโพรบซึ่งจะทำให้โพรบหักได้

หลักการการทำงานของเครื่อง AFM ดังภาพที่ 3.5.1 คือ ใช้การผ่านแสงเลเซอร์ไปที่กับส่วนปลายแหลม (tip) ของคานยื่นที่มีขนาดระดับอะตอมในระยะใกล้ ซึ่งส่วนปลายแหลมของคานนั้นจะไปสัมผัสแบบกระดกในทิศทางขึ้นและลงกับพื้นผิวของวัตถุ และเมื่อเครื่อง AFM ลากส่วนปลายแหลมผ่านโครงสร้างระดับนาโน แรงปฏิกิริยาที่กระทำในแนวตั้งฉากที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของพื้นผิวกับปลายแหลมจะดึงคาน ทำให้คานโก่งงอตัวทำให้สามารถตรวจวัดขนาดของแรงเชิงปฏิสัมพันธ์ ระหว่างความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของส่วนปลายแหลมและพื้นผิวของวัตถุ (ทำให้สามารถทราบถึงระดับพลังงานที่เกิดขึ้นได้) ซึ่งจะถูกนำมาแปรสัญญาณร่วมกันเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวที่เป็นลักษณะเชิงโครงสร้างระดับอะตอมที่มีกำลังการขยายสูงไปแสดงบนจอภาพที่เป็นมอนิเตอร์เช่นเดียวกับเครื่อง STM (และโดยหลักการเดียวกันนี้ก็สามารถที่ใช้ปลายแหลมของคานนี้ในการสร้างแรงผลัก เพื่อเคลื่อนย้ายอะตอมแต่ละตัวของโครงสร้างวัสดุได้เช่นเดียวกันอีกด้วย)



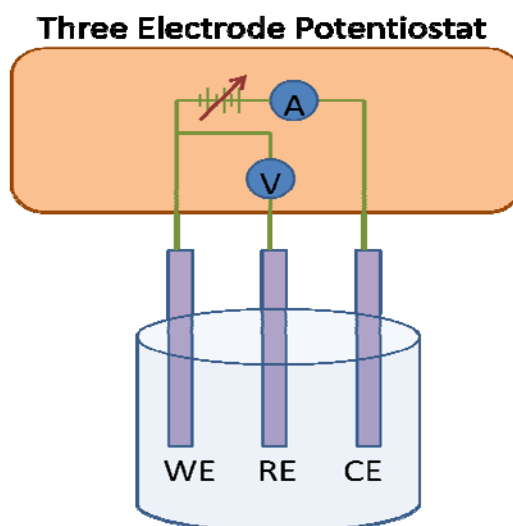
ภาพที่ 3.5.1 หลักการทำงานของ AFM ต่อพื้นผิวของวัตถุ

วิธีการทำงานของเครื่อง AFM ที่นำมาใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่

1. เป็นการสัมผัสพื้นผิวพร้อมกับการลากปลายแหลมไปบนพื้นผิวนั้นๆ ตลอดเวลา ข้อเสียของวิธีนี้คือ จะทำให้เกิดแรงต้านในแนวของการเคลื่อนที่ซึ่งขนานกับพื้นผิวขึ้น อันอาจทำให้คานของโพรบที่ใช้วัดเกิดการโก่งงอตัวหรือเกิดบิดเบี้ยวไป โดยที่มิได้เกิดจากแรงดึงดูดที่ปลายเนื่องจากแรงในแนวตั้งฉากเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ข้อมูลความสูงของพื้นผิวที่วัดได้นั้นอาจผิดไปจากความสูงที่แท้จริง
2. เป็นการสัมผัสพื้นผิวโดยให้ปลายแหลมสัมผัสกับพื้นผิวเป็นระยะเวลาสั้นๆ ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิว (คล้ายกับการใช้ปลายนิ้วเคาะโต๊ะเป็นจังหวะๆ นั่นเอง) ด้วยลักษณะการสัมผัสแบบนี้แรงต้านในแนวตั้งฉากจะไม่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากปลายแหลมสัมผัสพื้นผิวเป็นระยะสั้นๆ จึงทำให้เกิดการสั่นของคาน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้นั้นไม่คงที่หรือไม่แม่นยำได้

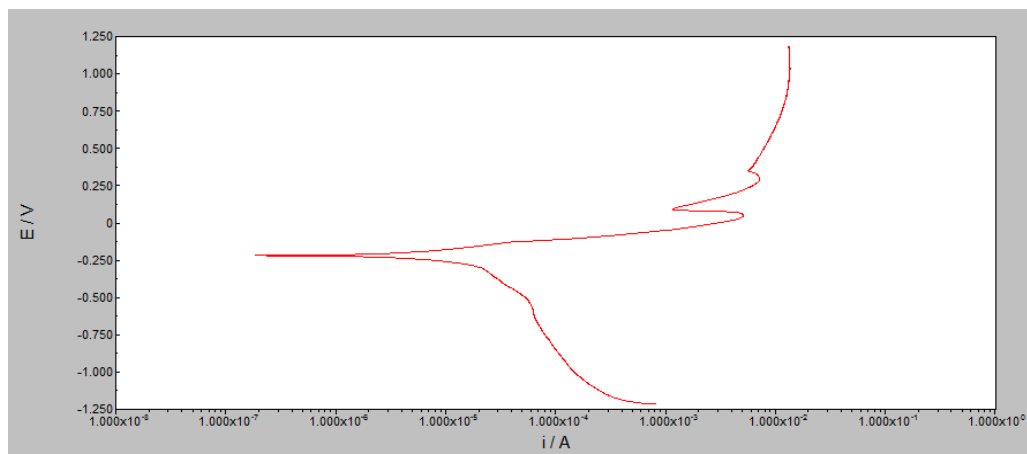
3.6. เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเคมี (Potentiostat) [32, 33]

เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเคมี (Potentiostat) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงไฟฟ้าเคมีวิธีหนึ่ง โดยมีการจัดเซลล์แบบอเล็กโทรไลต์ ดังภาพที่ 3.6.1 กล่าวคือ เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มี 3 ขั้ว คือ ขั้วใช้งาน (Working Electrode) ขั้วให้พลังงาน (Counter Electrode) และขั้วอ้างอิง (Reference Electrode) ซึ่งจำเป็นต้องให้ศักย์ไฟฟ้าที่คงที่จากภายนอกเข้าไประหว่างขั้วใช้งานและขั้วอ้างอิง โดยเพิ่มความต่างศักย์ให้กับเซลล์ขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดสภาวะ Anodic polarization ซึ่งเป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ของขั้วใช้งาน ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดกร่อนขึ้น



ภาพที่ 3.6.1 ส่วนประกอบของโพเทนชิโอสแตท

การวิเคราะห์ผลของการเครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเคมีนั้น ได้จากการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านระหว่างขั้วใช้งานและขั้วให้พลังงานเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่วัดได้มาเขียนกราฟระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.6.2



ภาพที่ 3.6.2 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมี

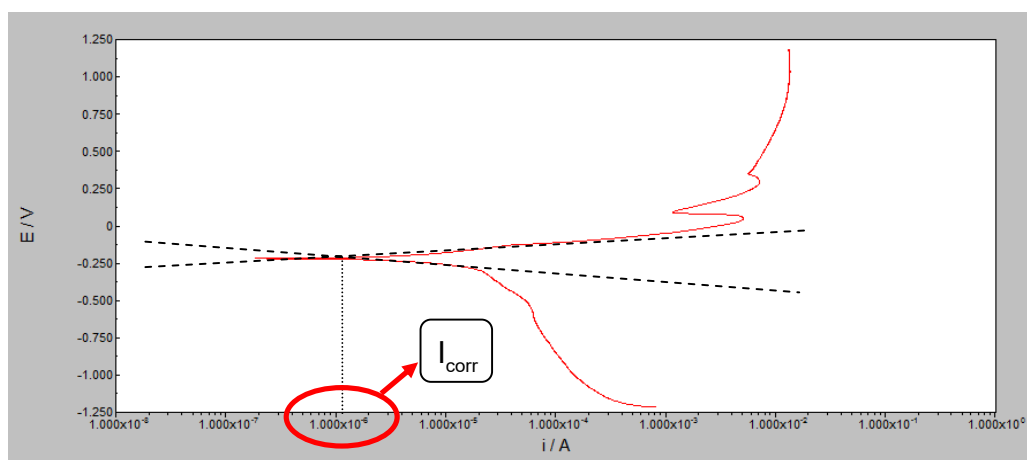
โดยจากกราฟของการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าเทียบกับความต่างศักย์ จะทำให้ทราบค่าของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนได้จากจุดตัดของ anodic polarization กับ cathodic polarization ตามภาพที่ 3.6.3 ซึ่งจะสามารถนำไปคำนวณหาค่าของการป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นทองแดงจากสมการ

$$PE(\%) = \frac{i_{corr} - i'_{corr}}{i_{corr}} \times 100$$

โดย PE คือ ประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อน (Protection efficiency)

i_{corr} คือ กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของทองแดงที่ไม่ได้เคลือบผิวป้องกันการกัดกร่อน

i'_{corr} คือ กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของทองแดงที่เคลือบผิวป้องกันการกัดกร่อน



ภาพที่ 3.6.3 การหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

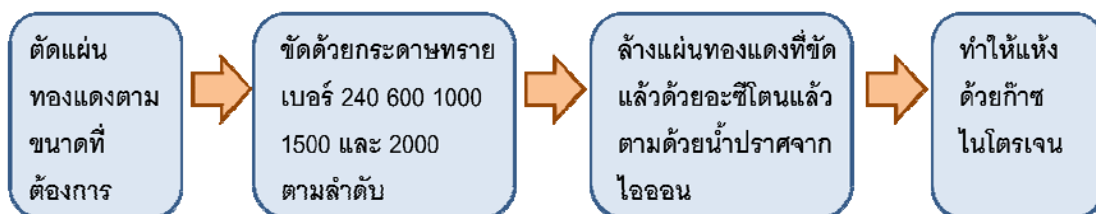
4.1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. ทองแดงบริสุทธิ์ 99.9% หนา 1 มิลลิเมตร
2. กระดาษทรายเบอร์ 240 600 1000 1500 และ 2000 ผลิตโดยบริษัท 3M ประเทศจีน
3. กรดไฮโดรคลอริก (37%) ผลิตโดยบริษัท QRèC ประเทศนิวซีแลนด์
4. กรดไนตริก (69%) ผลิตโดยบริษัท QRèC ประเทศนิวซีแลนด์
5. กรดซัลฟิวริก (98%) ผลิตโดยบริษัท QRèC ประเทศนิวซีแลนด์
6. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (30%) ผลิตโดยบริษัท QRèC ประเทศนิวซีแลนด์
7. ไอโซโพรพานอล (99.5%) ผลิตโดยบริษัท QRèC ประเทศนิวซีแลนด์
8. กรดฟอสฟอริก (85%) ผลิตโดยบริษัท QRèC ประเทศนิวซีแลนด์
9. อะซีโตน (99.5%) ผลิตโดยบริษัท QRèC ประเทศนิวซีแลนด์
10. สารออกตะตะดีเคนไทฮอล (99.7%) ผลิตโดยบริษัทโตเกียวเคมีคอลอินดัสทรี ประเทศญี่ปุ่น

4.2. ขั้นตอนการเคลือบผิวทองแดง

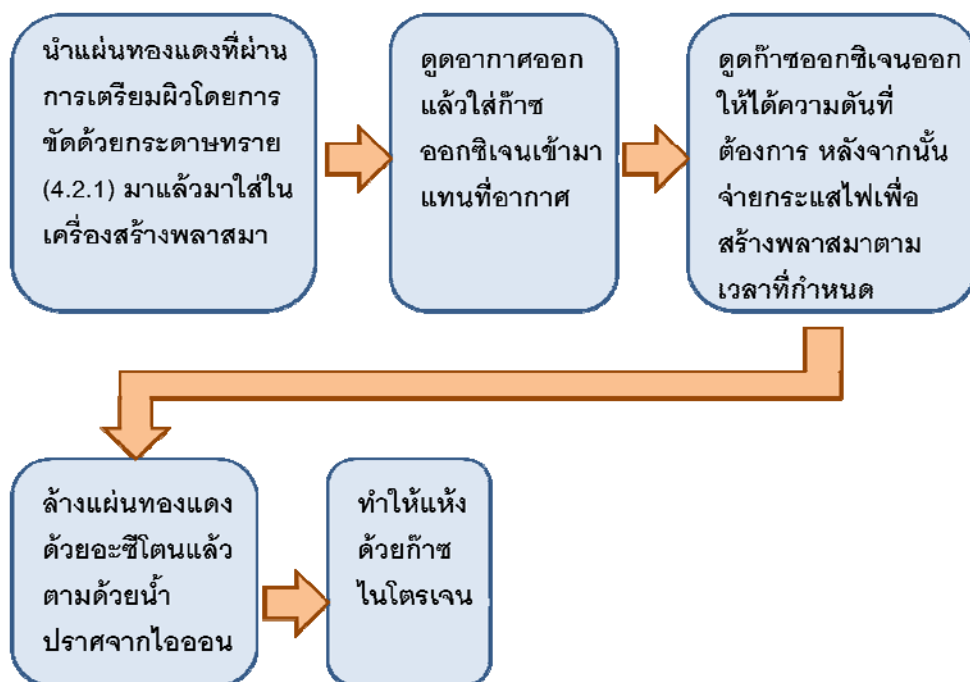
ขั้นตอนการเคลือบผิวนั้น นอกจากจะต้องนำทองแดงไปแช่ในสารเคลือบผิวแล้ว ยังต้องมีการเตรียมผิวก่อนที่จะนำไปแช่ในสารเคลือบผิวด้วย เพื่อให้โมเลกุลของสารเคลือบผิวไปเกาะกับทองแดงได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อนดีขึ้นด้วย โดยจากงานวิจัยที่ได้กล่าวไปแล้วในส่วนก่อนหน้านั้น จะเห็นว่ามีการใช้วิธีการเตรียมผิวต่างๆหลายวิธี ซึ่งทั้งเหมือนกันและแตกต่างกันออกไปหลายวิธี โดยจะแบ่งได้เป็นวิธีต่างๆได้ ดังนี้

4.2.1. ขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น [17]



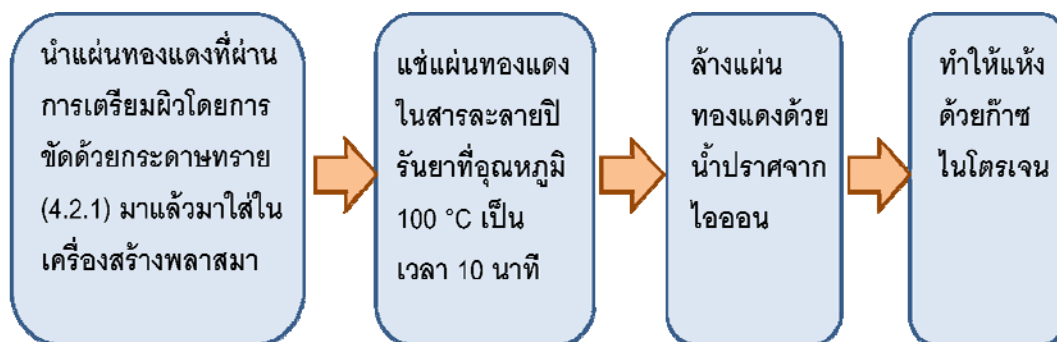
ภาพที่ 4.2.1 วิธีการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น

4.2.2. ขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจน พลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที [18]



ภาพที่ 4.2.2 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์โดยใช้ออกซิเจนพลาสมา

4.2.3. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายปิรันยา (สารละลาย $H_2SO_4 + H_2O_2$ ซึ่งมีอัตราส่วนของความเข้มข้น 5:1) ที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ เป็นเวลา 10 นาที [6]



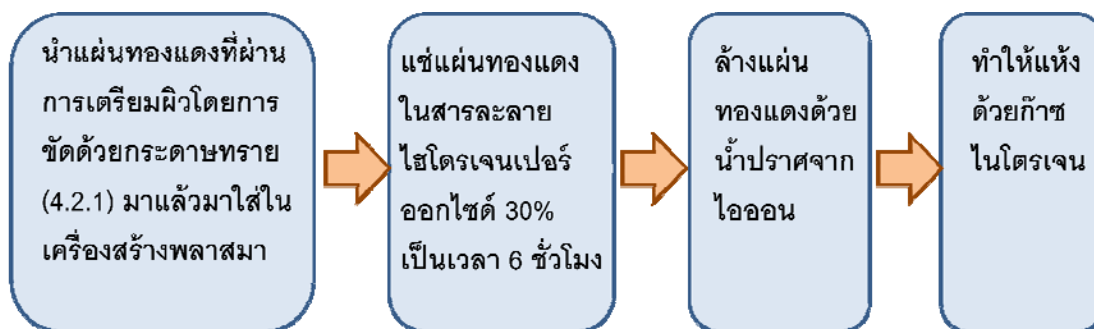
ภาพที่ 4.2.3 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายปิรันยา

4.2.4. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที [10]



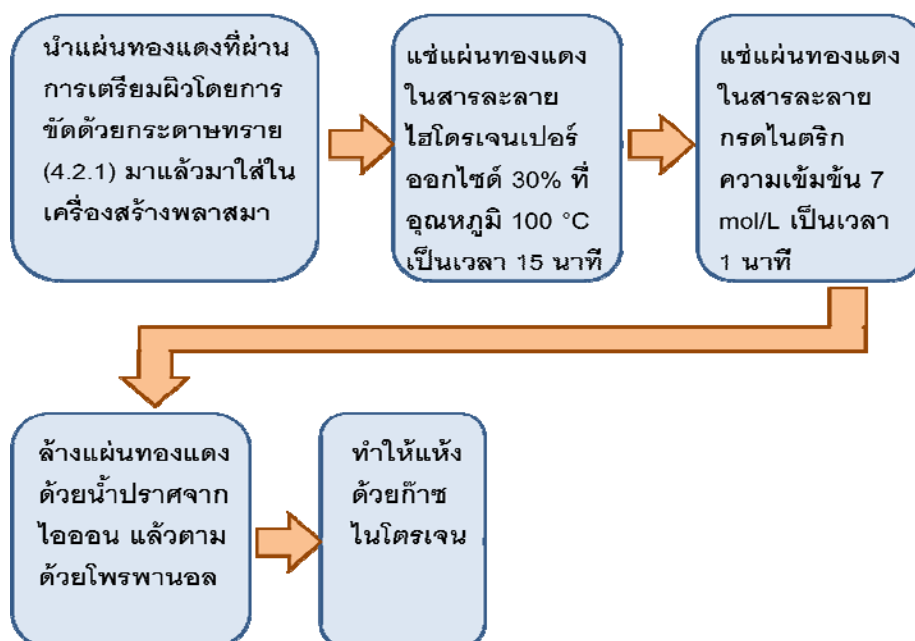
ภาพที่ 4.2.4 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายกรดไนตริก

4.2.5. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง [19]



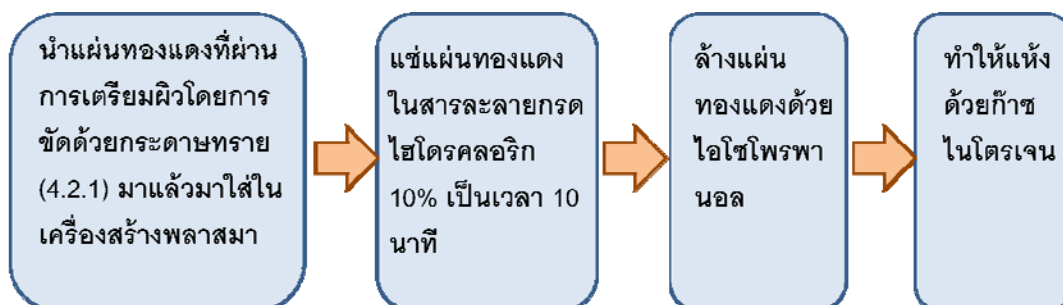
ภาพที่ 4.2.5 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.2.6. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที [2]



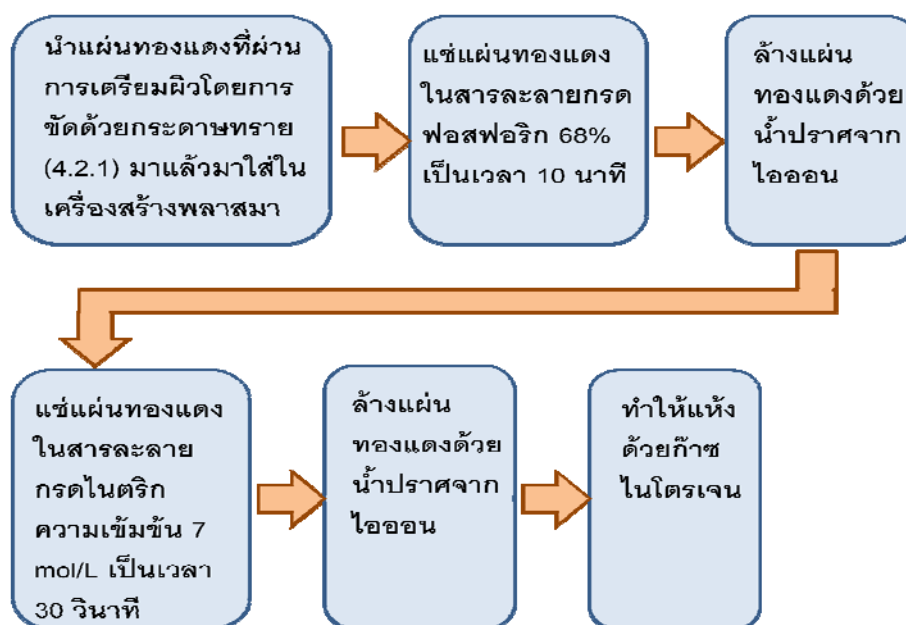
ภาพที่ 4.2.6 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดไนตริก

4.2.7. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที [5]



ภาพที่ 4.2.7 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

4.2.8. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที [16]



ภาพที่ 4.2.8 วิธีการเตรียมผิวโดยใช้วิธีการแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกและกรดไนตริก

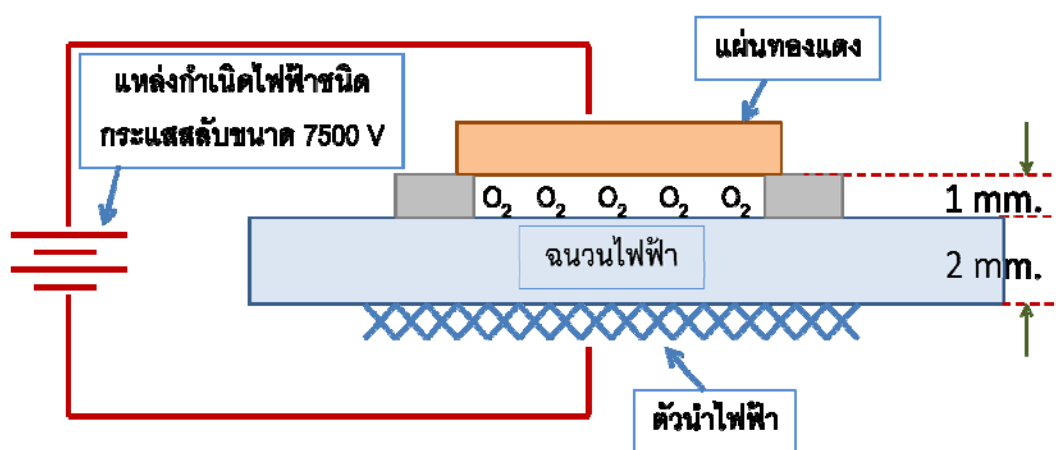
นอกจากวิธีการเตรียมผิวดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงผลของความดันและเวลาในการกระตุ้น เมื่อใช้วิธีการเตรียมผิวด้วยวิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาด้วย ซึ่งสภาวะต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ได้แก่

- 4.2.9. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -100 mmHg เป็นเวลา 15 นาที
- 4.2.10. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -200 mmHg เป็นเวลา 15 นาที
- 4.2.11. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -300 mmHg เป็นเวลา 15 นาที
- 4.2.12. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 5 นาที
- 4.2.13. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 10 นาที
- 4.2.14. ชัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 20 นาที

ซึ่งหลังจากทำการเตรียมผิวด้วยวิธีต่างๆดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปคือการเคลือบผิวด้วยสารละลายออกไซด์เคโนไทฮอล โดยที่เลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่ 0.01 mol/L เป็นเวลา 2 ชั่วโมง [2, 3, 5, 11, 13, 14, 16, 20] หลังจากนั้นนำทองแดงที่ผ่านการแช่สารเคลือบผิวแล้วมาทำให้แห้งโดยแก๊สไนโตรเจน

4.3. เครื่องมือในการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.3.1. เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบโคโรนาดีสชาร์จ (Corona Discharge) คือ การกระตุ้นให้เกิดลำพลาสมา โดยอาศัยการสปาร์คจากไฟฟ้าแรงดันสูงผ่านตัวกลาง (โดยรายละเอียดของเครื่องกำเนิดพลาสมาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นดังภาพที่ 4.3.1) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นตัวกลาง โดยลำพลาสมาจะทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัวแล้วรวมตัวกันเป็นก๊าซโอโซน ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวทองแดงเกิดเป็นสารประกอบระหว่างทองแดงและออกซิเจน (Copper oxide)



ภาพที่ 4.3.1 เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบโคโรนาดีสชาร์จ

4.3.2. เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle measurement) เพื่อวิเคราะห์สมบัติของความเปียก (Wettability) ของแผ่นทองแดง โดยใช้เครื่องทดสอบที่ผลิตโดยบริษัท TanTec Inc. หมายเลขรุ่น 2500702 และในการทดสอบแต่ละครั้งใช้หยดน้ำขนาด 1 ไมโครลิตร หยดลงบนแผ่นทองแดงขนาด 2x2 เซนติเมตร ก่อนและหลังการเคลือบผิว

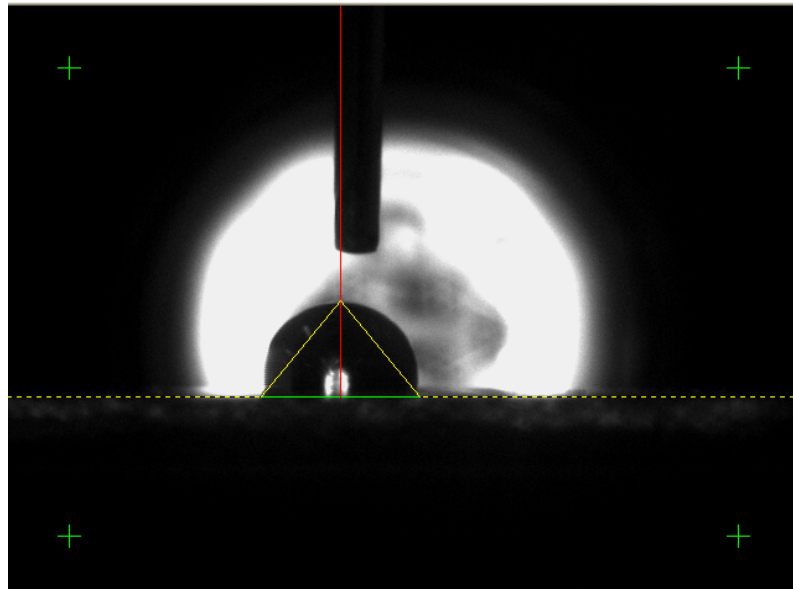
- 4.3.3. **เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเคมี (Potentiostat)** เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นทองแดงหลังการเคลือบผิว ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 0.5 mol/L เมื่อใช้แผ่นทองแดงขนาด 3x2 เซนติเมตร มาทำการเตรียมผิวทองแดงแบบต่างๆ แล้วเคลือบผิวด้วยออกไซด์ไทเทเนียม หลังจากนั้นเคลือบผิวด้วยแลกเกอร์ให้เหลือพื้นผิวในการทดสอบขนาด 1 ตารางเซนติเมตร โดยติดตั้งแผ่นทองแดงที่ขั้วใช้งาน (Working electrode) และใช้แพลทินัม (Platinum) เป็นขั้วให้พลังงาน (Counter electrode) ซึ่งมีขั้วอ้างอิง (Reference electrode) เป็นสารละลาย Ag/AgCl และทำการทดลองในช่วงความต่างศักย์ระหว่าง -1.0 ถึง 1.4 V โดยใช้ช่วงการบันทึกค่าที่ 2 mVs^{-1}
- 4.3.4. **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)** เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิวทองแดง โดยเลือกใช้แผ่นทองแดงขนาด 1x1 เซนติเมตร ในการทดสอบและเลือกใช้กำลังขยายที่ 10,000 เท่า
- 4.3.5. **กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope : AFM)** เพื่อวิเคราะห์ความขรุขระของพื้นผิวทองแดงและชั้นเคลือบ โดยเลือกใช้แผ่นทองแดงขนาด 1x1 เซนติเมตร ในการทดสอบ โดยมีพื้นที่ในการกวาดภาพ (Scan size) 15 ไมโครเมตร และอัตราการกวาดสัญญาณ (Scan rate) 1 เฮิรตซ์

บทที่ 5

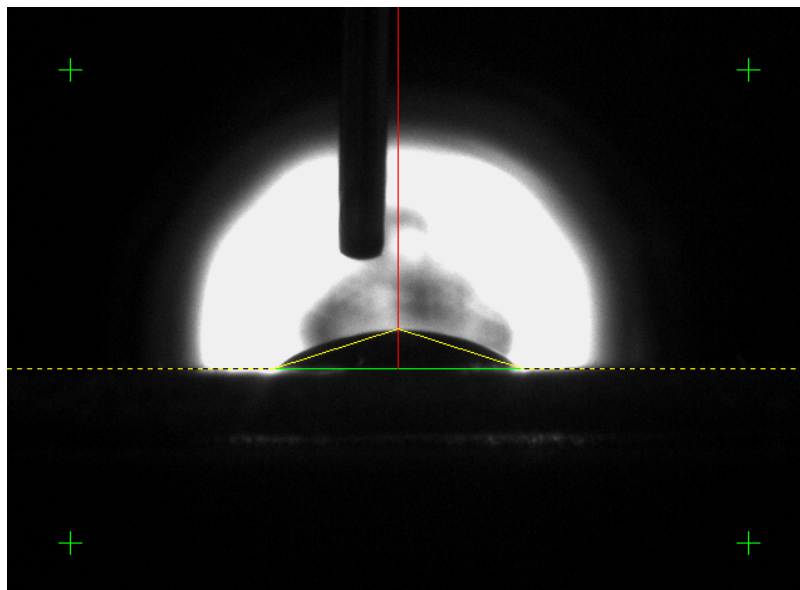
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1. เครื่องวัดมุมสัมผัส

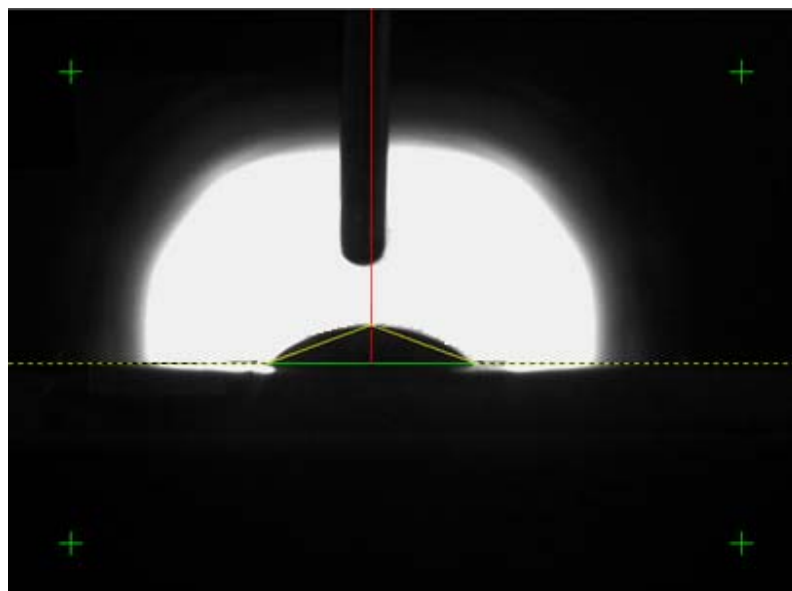
มุมสัมผัสนั้นบอกถึงสมบัติของความเปียก (Wettability) สามารถบอกได้ถึงความสามารถในการดูดซับสารเคลือบผิวบนพื้นผิวของแข็ง โดยจะทำการวัดมุมสัมผัสก่อนและหลังการเคลือบผิวของแข็ง โดยใช้น้ำปราศจากไอออนมาเป็นตัวทดสอบหามุมสัมผัส ซึ่งผลการทดลองในส่วนของมุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวนั้นแสดงในภาพที่ 5.1.1 – 5.1.8 และ มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวนั้นแสดงในภาพที่ 5.1.9 - 5.1.16 โดยสรุปผลการทดลองเป็นตารางไว้ในตารางที่ 5.1.1 และเมื่อเรียงลำดับจากมุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวมากไปหาน้อยนั้นจะได้ผลการทดลองดังภาพที่ 5.1.17 โดยที่ลำดับที่แสดงเป็นวิธีการเตรียมผิวที่แสดงไว้ในหัวข้อ 4.2 ขั้นตอนการเคลือบผิว



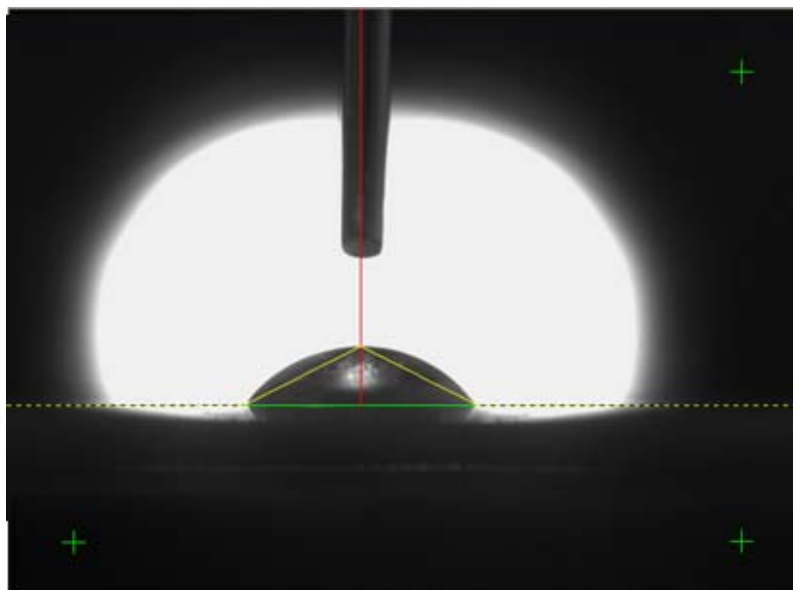
ภาพที่ 5.1.1 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น



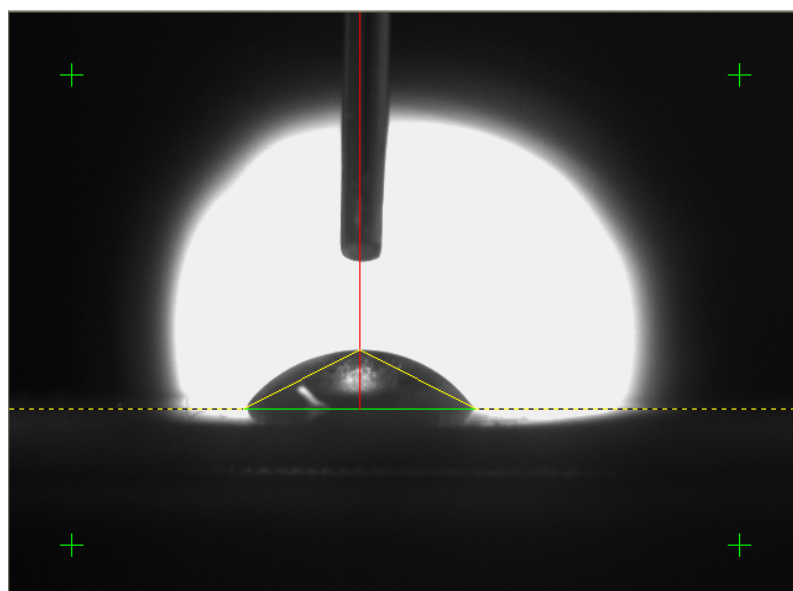
ภาพที่ 5.1.2 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



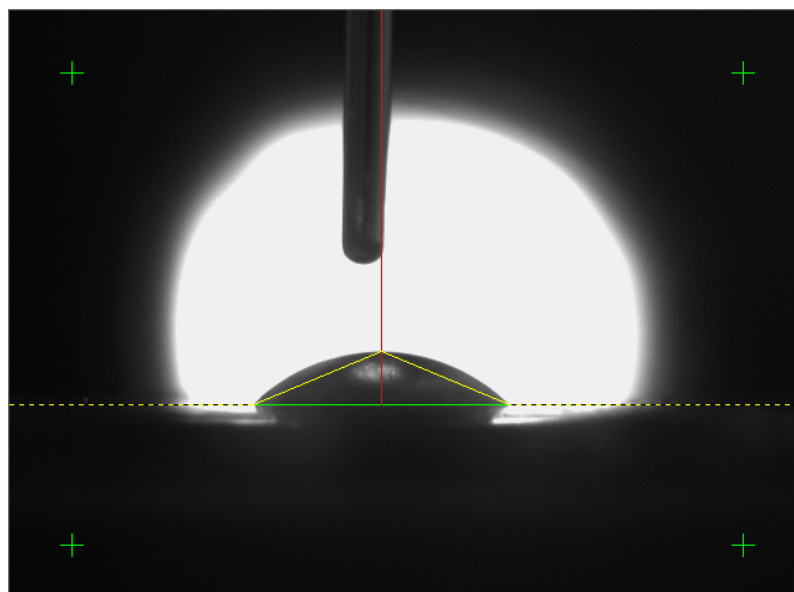
ภาพที่ 5.1.3 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายปิรันยาที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที



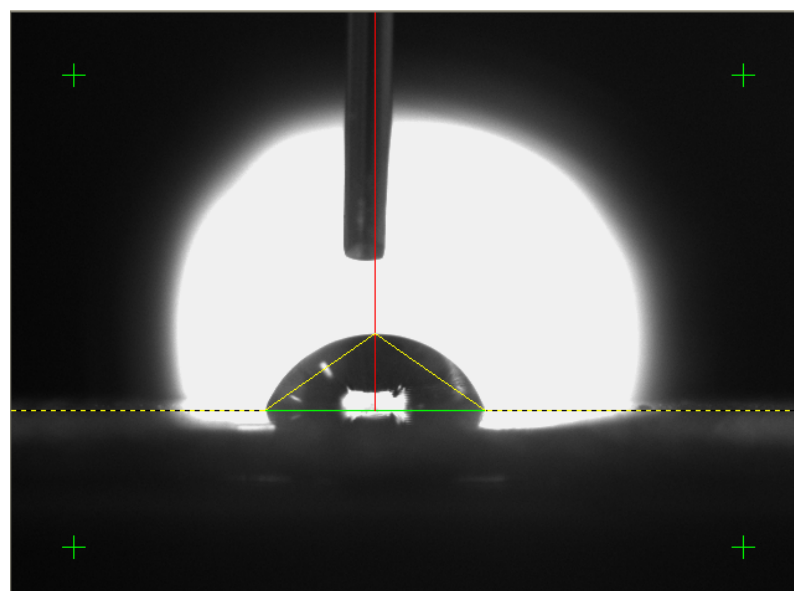
ภาพที่ 5.1.4 มุมสัมผัสผิวก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที



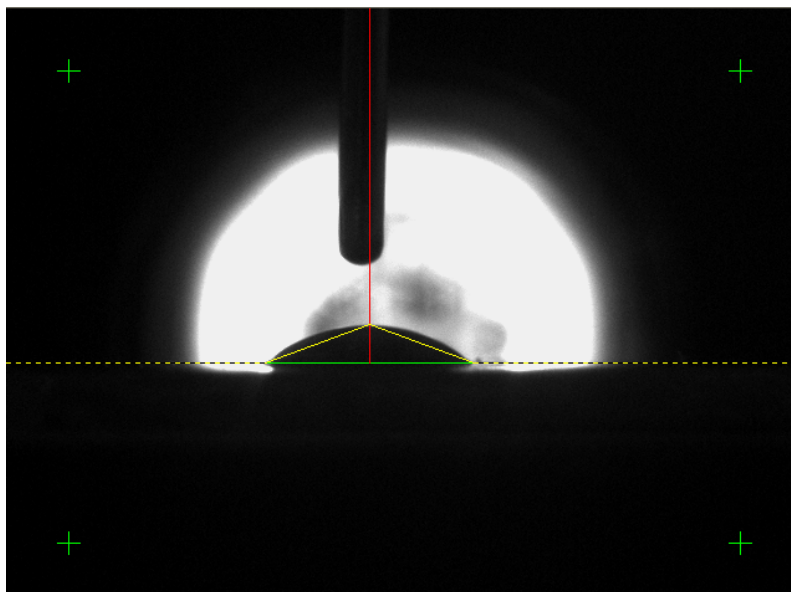
ภาพที่ 5.1.5 มุมสัมผัสผิวก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



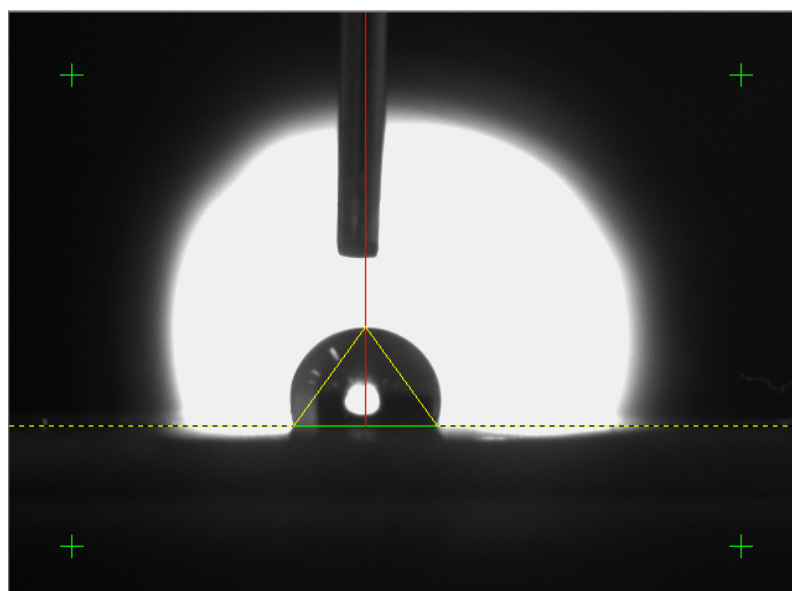
ภาพที่ 5.1.6 มุมสัมผัสผิวก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที



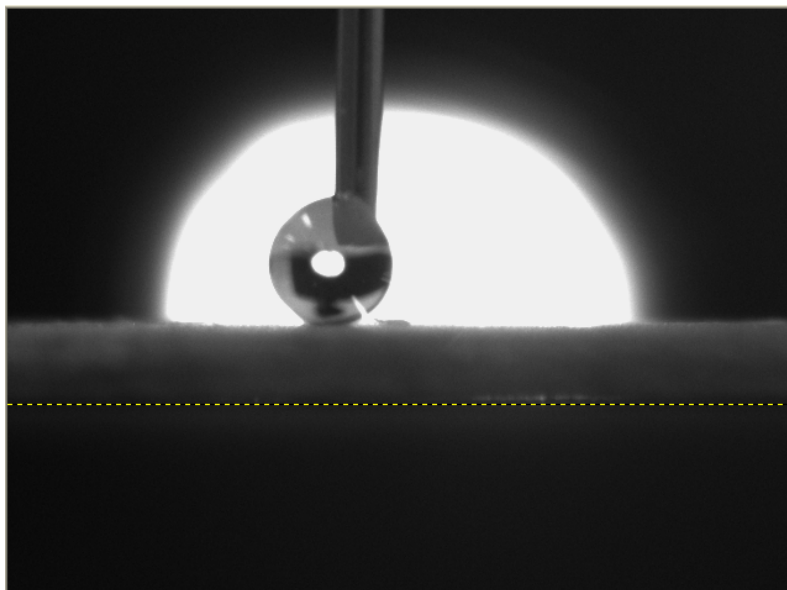
ภาพที่ 5.1.7 มุมสัมผัสผิวก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที



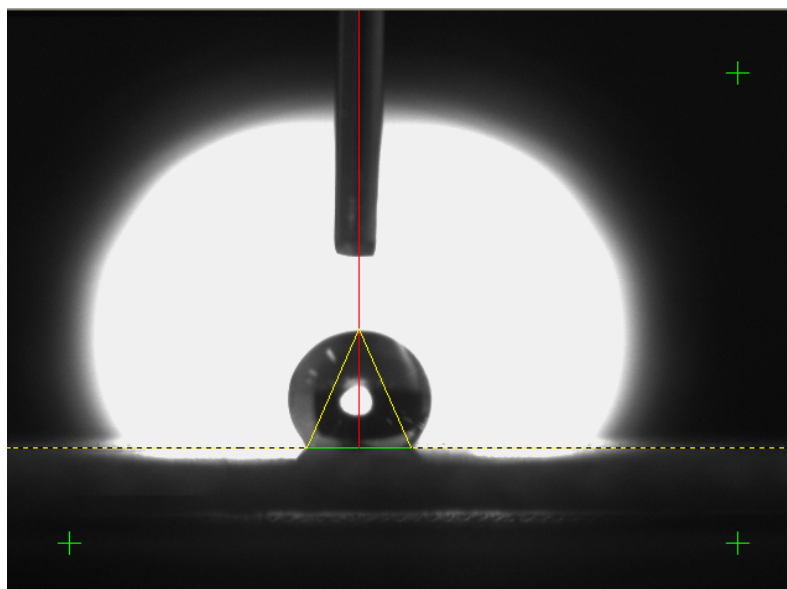
ภาพที่ 5.1.8 มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที



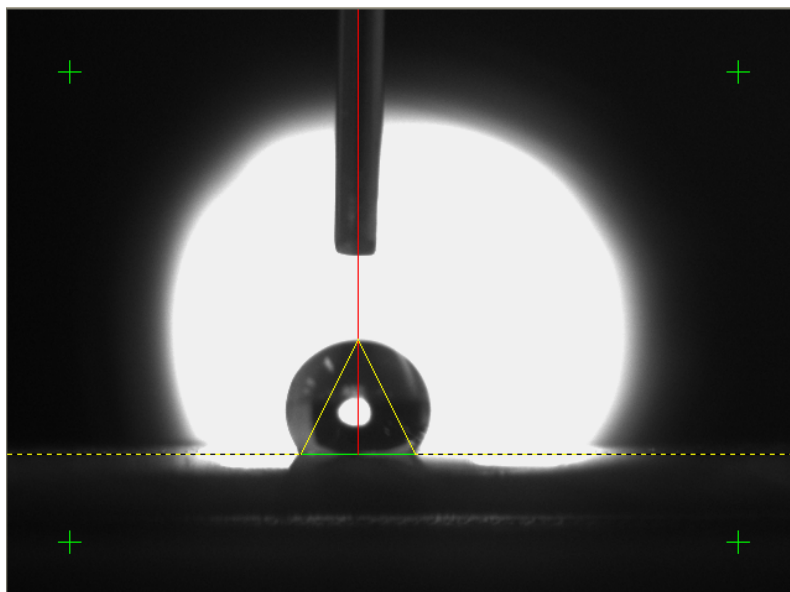
ภาพที่ 5.1.9 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น



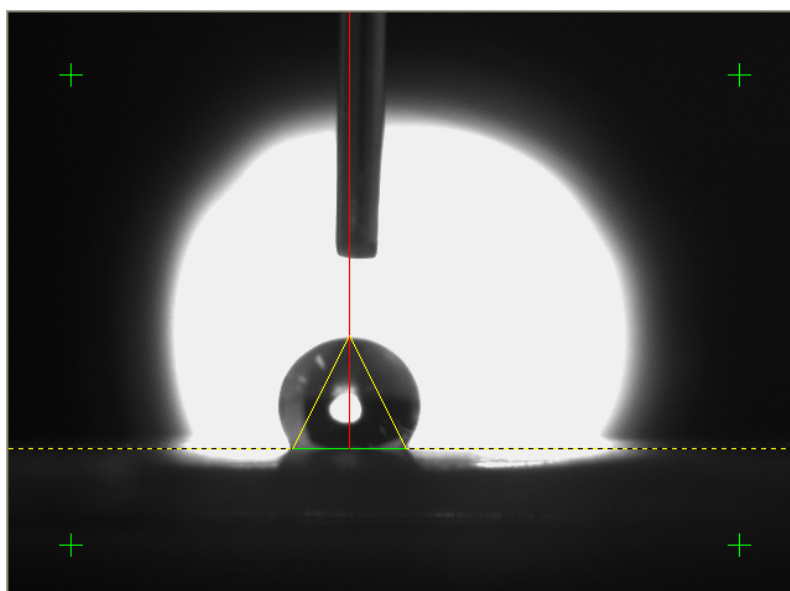
ภาพที่ 5.1.10 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



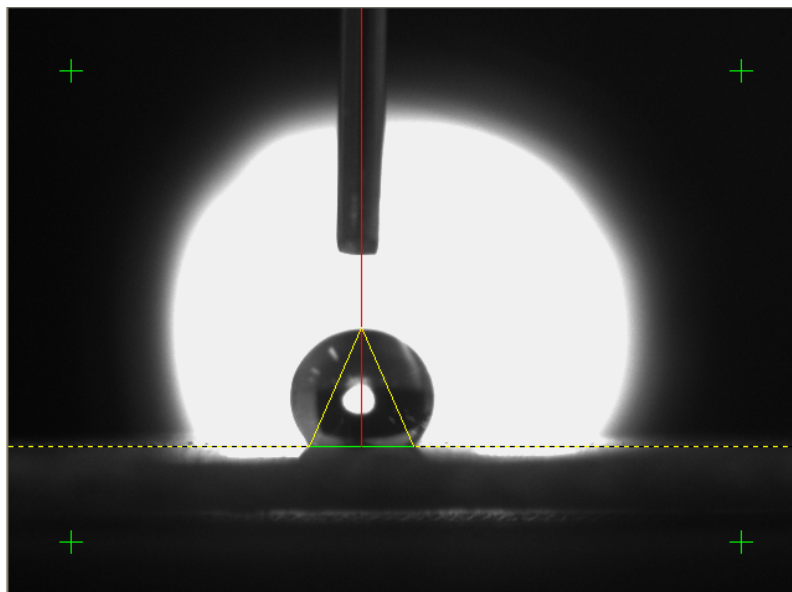
ภาพที่ 5.1.11 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายปิรinya ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที



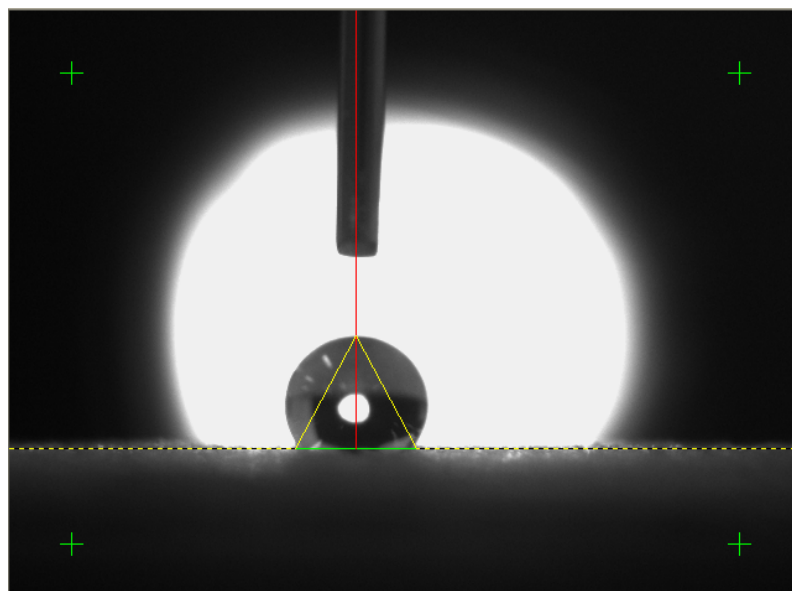
ภาพที่ 5.1.12 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที



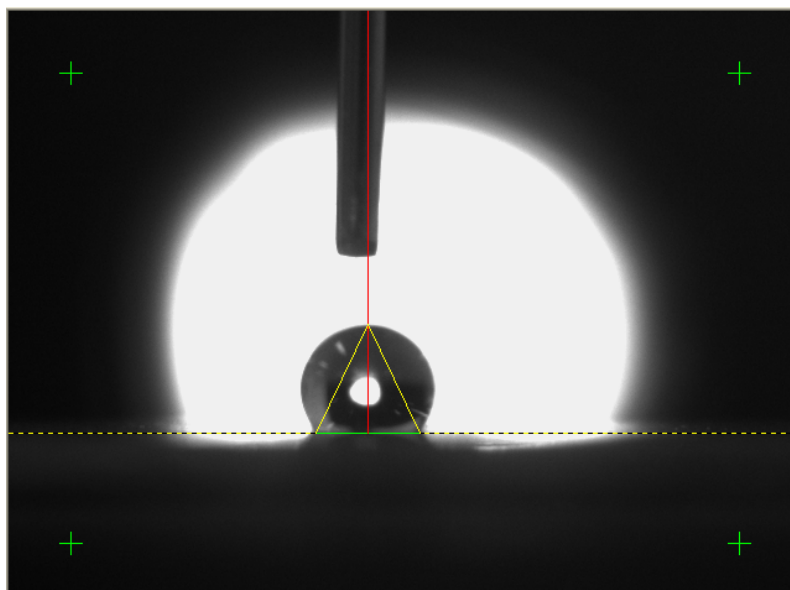
ภาพที่ 5.1.13 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 5.1.14 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที



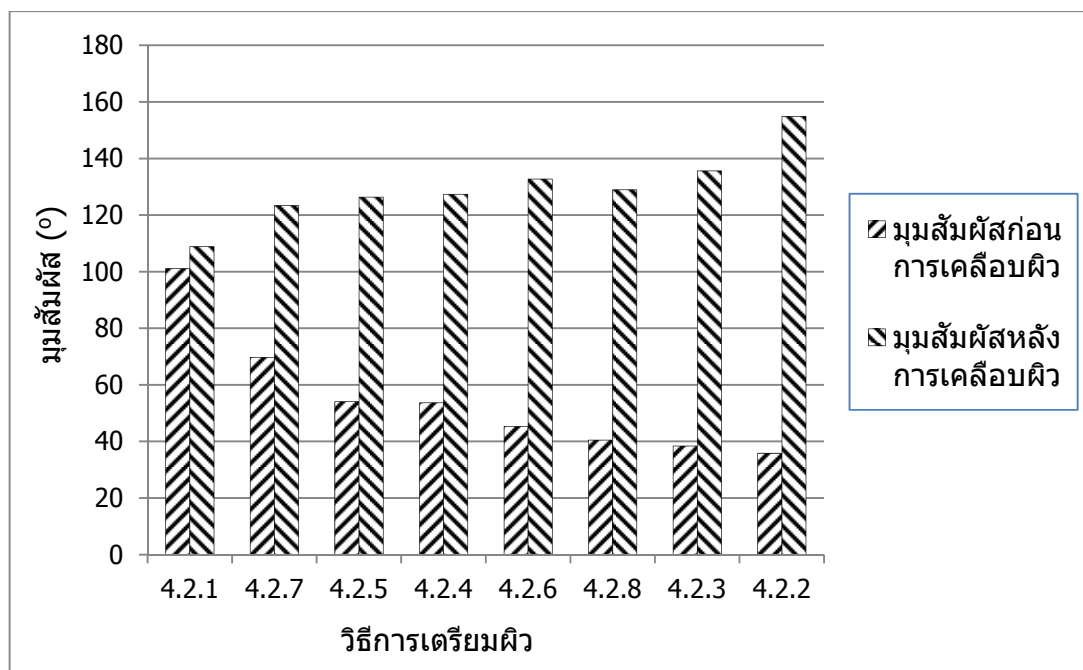
ภาพที่ 5.1.15 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที



ภาพที่ 5.1.16 มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิวของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที

ตารางที่ 5.1.1 ผลจากการวัดแผ่นทองแดงด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส

วิธีเตรียมผิว	มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิว	มุมสัมผัสหลังการเคลือบผิว
วิธีที่ 4.2.1	101.11	108.92
วิธีที่ 4.2.2	35.83	154.94
วิธีที่ 4.2.3	38.41	135.65
วิธีที่ 4.2.4	53.64	127.36
วิธีที่ 4.2.5	54.1	126.37
วิธีที่ 4.2.6	45.33	132.74
วิธีที่ 4.2.7	69.72	123.4
วิธีที่ 4.2.8	40.51	128.97

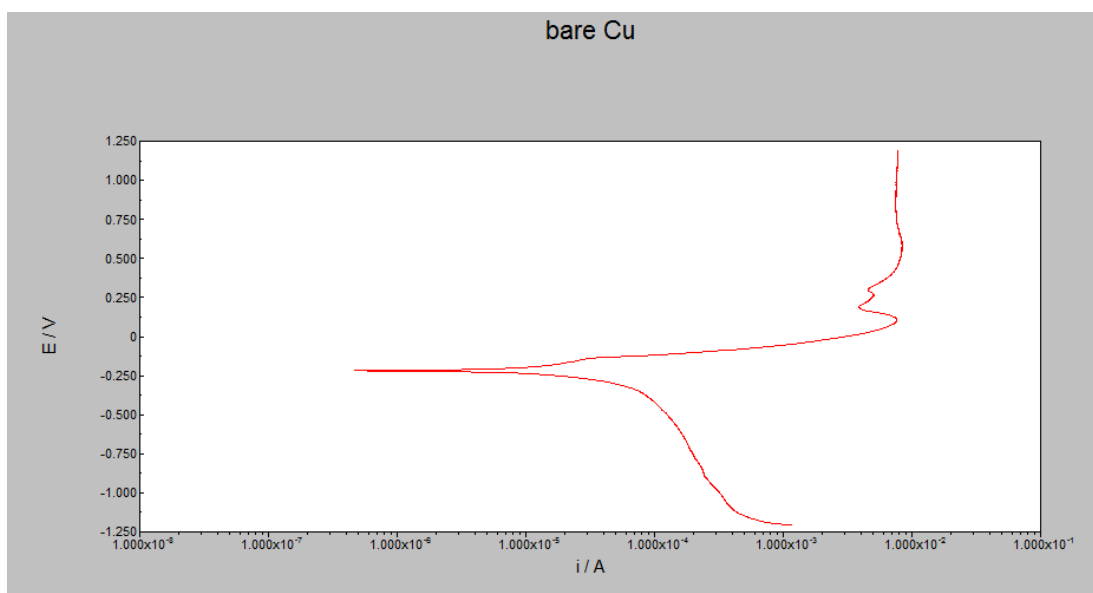


ภาพที่ 5.1.17 มอดสปอร์ก่อนและหลังการเคลือบผิวของแดง เมื่อเรียงลำดับจากมอดสปอร์ก่อนการเคลือบผิวมากไปหาน้อย

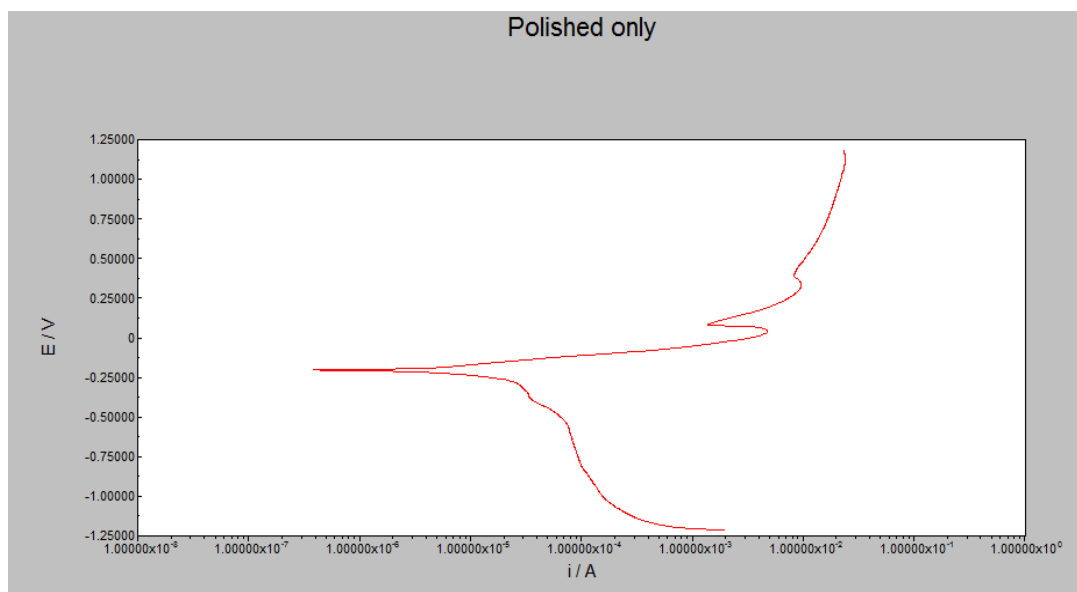
จากภาพที่ 5.1.17 จะเห็นว่าวิธีที่มอดสปอร์ก่อนการเคลือบผิวน้อยนั้น จะมีมอดสปอร์หลังการเคลือบผิวมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการที่เมื่อมีมอดสปอร์น้อย ความสามารถในการดูดซับสารที่มีขั้วทำได้มากขึ้น นั่นคือ สามารถดูดซับสารเคลือบผิว (ODT) ได้มากขึ้นนั่นเอง และวิธีการเตรียมผิวโดยการใช้พลาสติกมานั้น (วิธีที่ 4.2.2) ทำให้พื้นผิวของแดงดูดซับสารเคลือบผิวได้มากที่สุด และวิธีการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น (วิธีที่ 4.2.1) วิธีการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (วิธีที่ 4.2.7) และวิธีการแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้น (วิธีที่ 4.2.5) ทำให้พื้นผิวของแดงดูดซับสารเคลือบผิวได้น้อย

5.2. เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเคมี (Potentiostat)

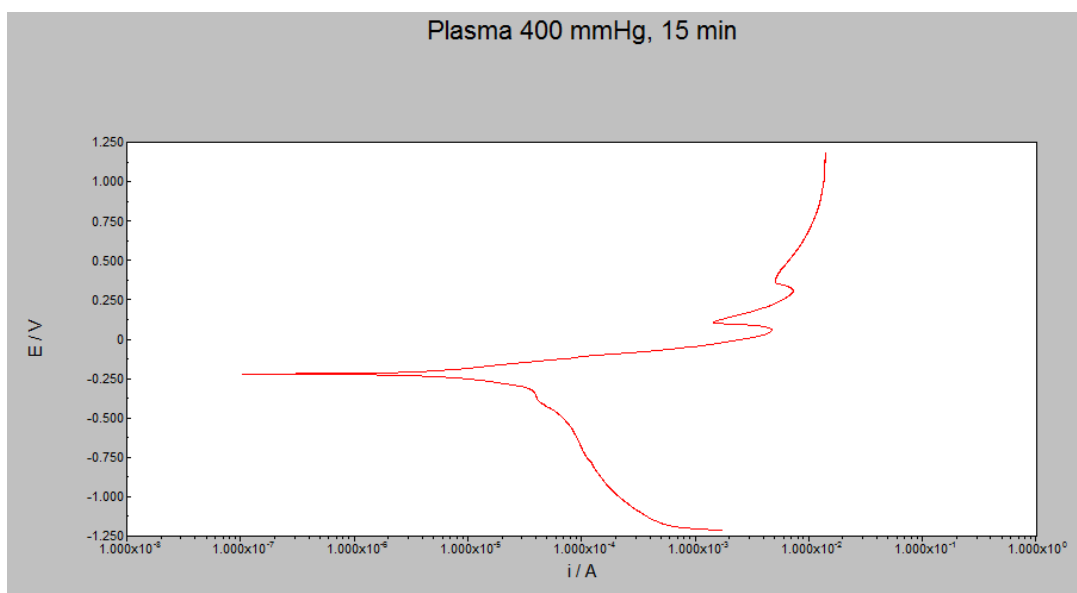
ชุดทดสอบทางไฟฟ้าเคมีนั้น ใช้เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ โดยจากผลการทดลองของเครื่องวัดมุมสัมผัสนั้น พบว่าวิธีการเตรียมผิวทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมานั้น ทำให้ผิวของทองแดงสามารถดูดซับสารเคลือบผิวได้มากที่สุด ดังนั้นในการวิเคราะห์ความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนโดยการใช้เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเคมีจึงทดลองโดยการใช้วิธีการเตรียมผิวทองแดงโดยออกซิเจนพลาสมาที่สภาวะต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการเตรียมผิวโดยการใช้ออกซิเจนพลาสมา ซึ่งผลการทดลองจากเครื่องมือทดสอบทางไฟฟ้าเคมีนั้น แสดงออกมาในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ ดังภาพที่ 5.2.1 – 5.2.15 โดยหลังจากนั้นจะนำไปหาจุดตัดของกราฟระหว่างส่วนที่เป็น anodic polarization กับ cathodic polarization เพื่อนำไปคำนวณหาความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นทองแดง โดยใช้สมการในหัวข้อ 3.6 เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงที่ผ่านการเคลือบผิวโดยใช้วิธีการเตรียมผิวแบบต่างๆนั้น แสดงสรุปในตารางที่ 5.2.1 โดยที่ลำดับที่แสดงเป็นวิธีการที่แสดงไว้ในหัวข้อ 4.2 ขั้นตอนการเคลือบผิว



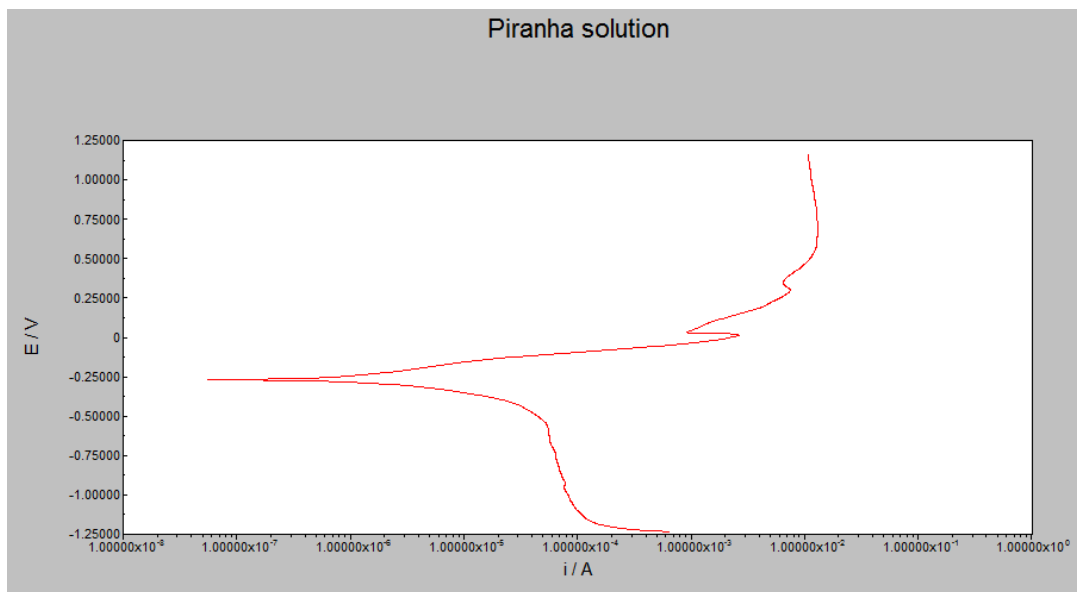
ภาพที่ 5.2.1 ผล Potentiostat ของทองแดงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว



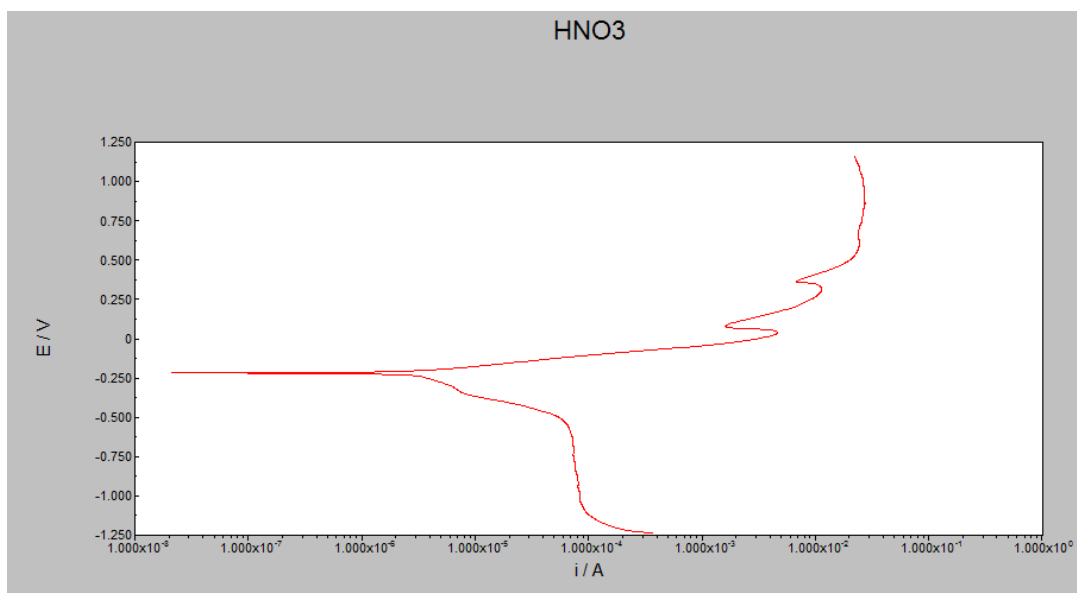
ภาพที่ 5.2.2 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น



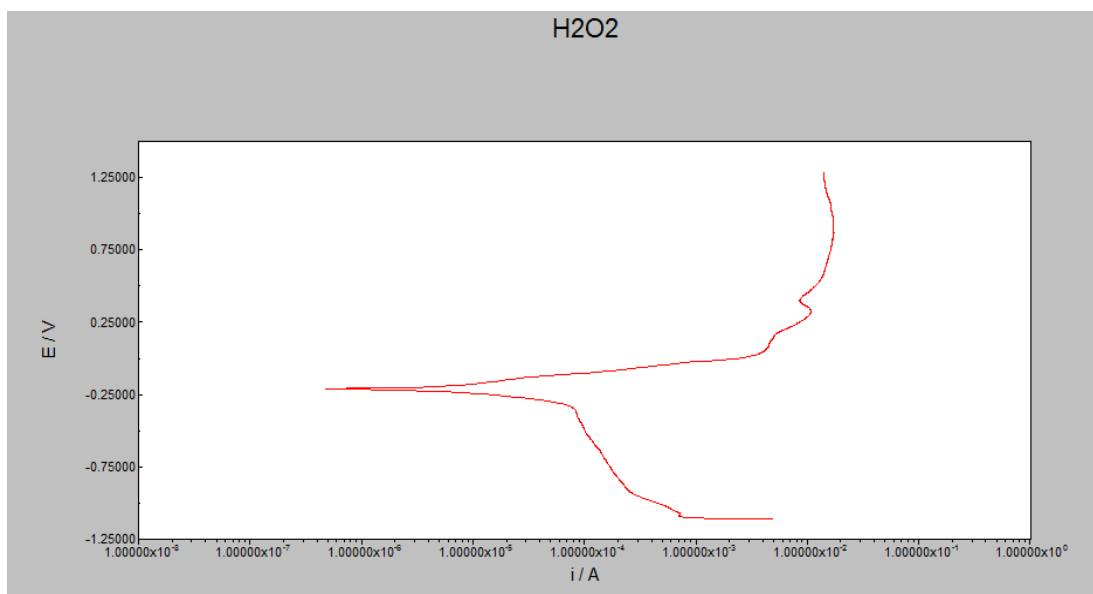
ภาพที่ 5.2.3 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



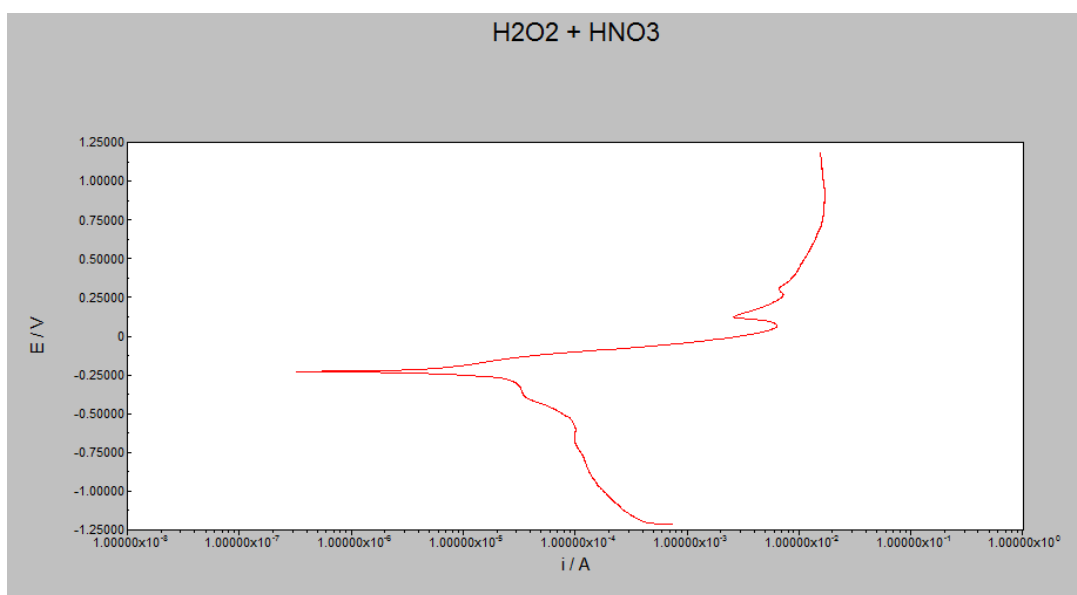
ภาพที่ 5.2.4 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายปิรันยาที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที



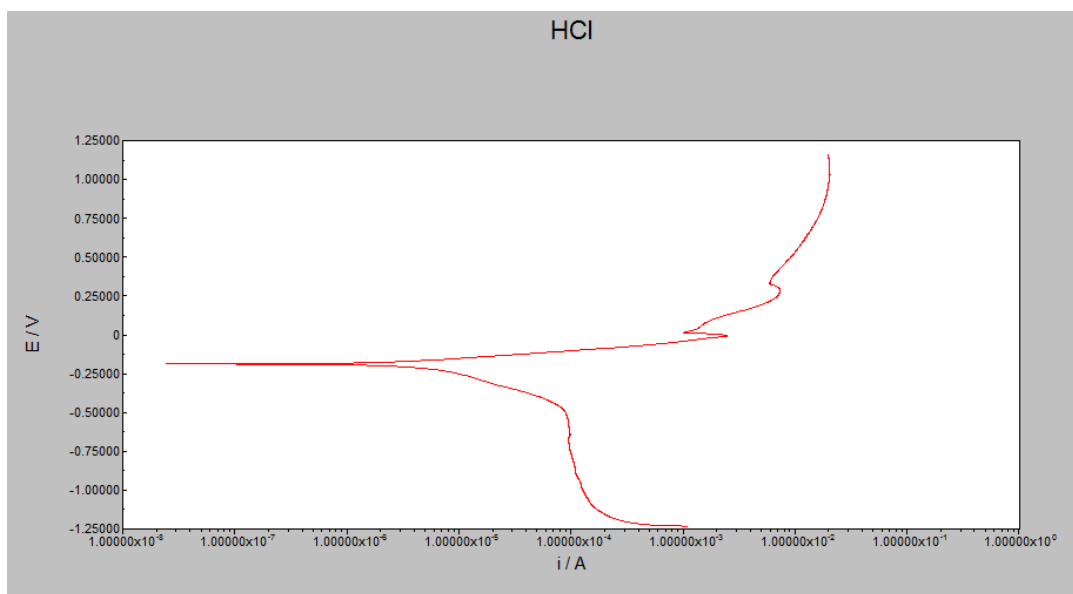
ภาพที่ 5.2.5 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที



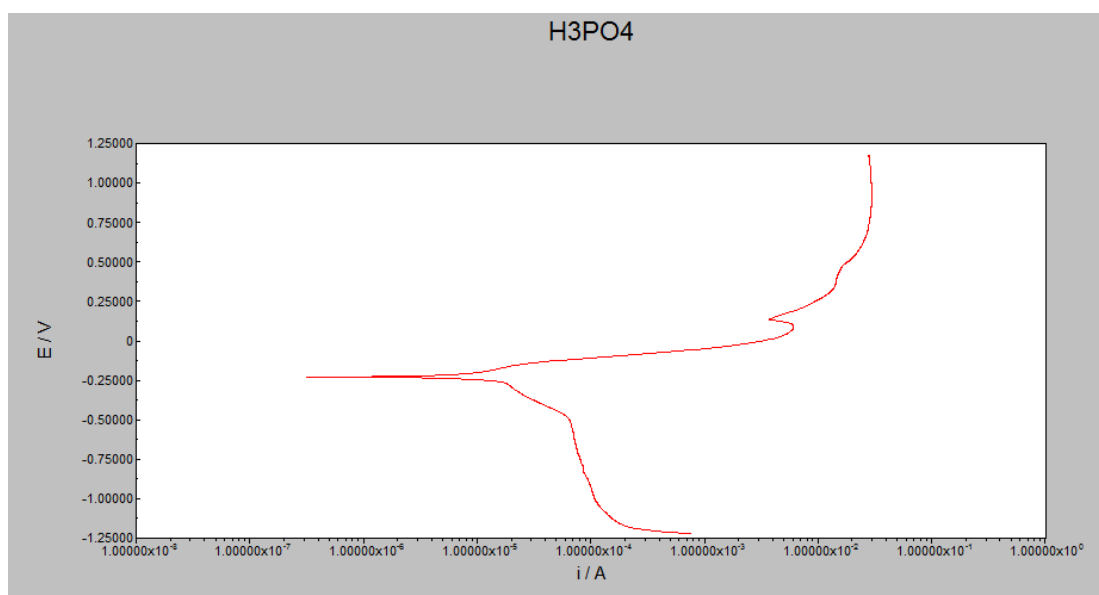
ภาพที่ 5.2.6 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว นำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



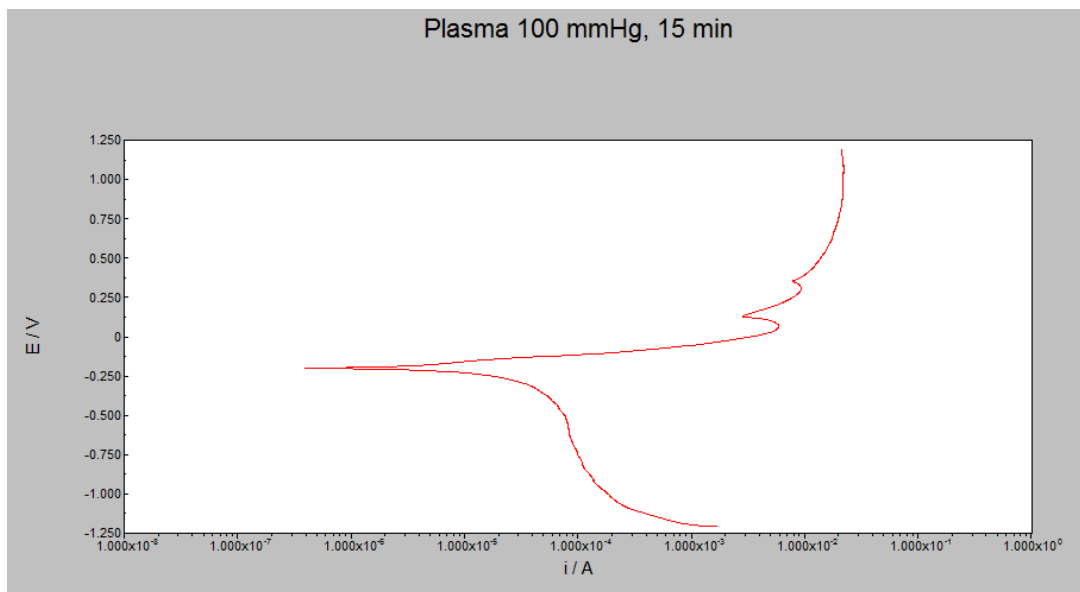
ภาพที่ 5.2.7 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว นำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที



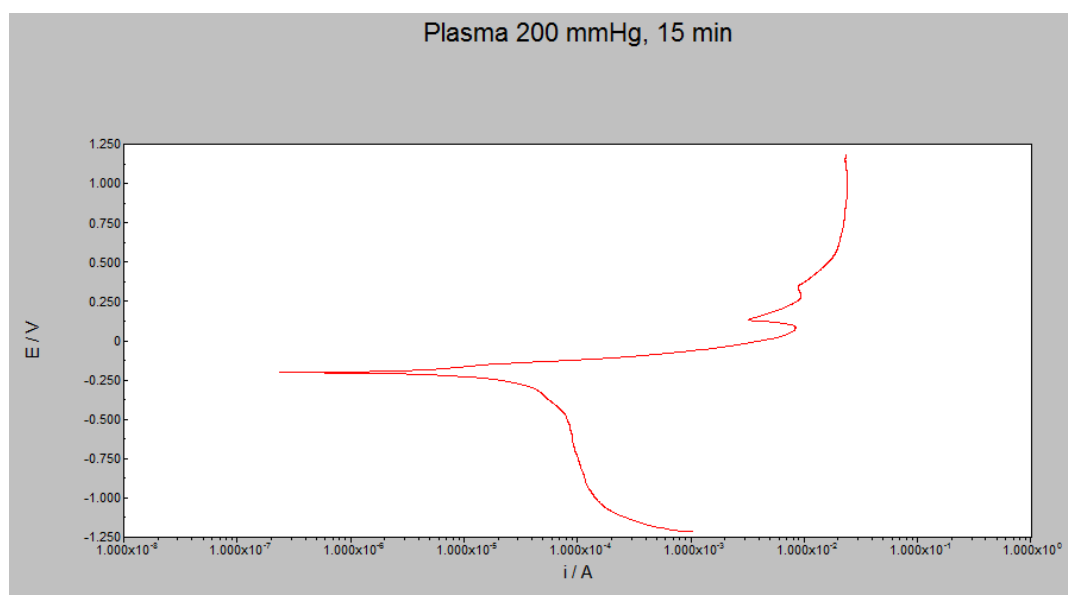
ภาพที่ 5.2.8 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที



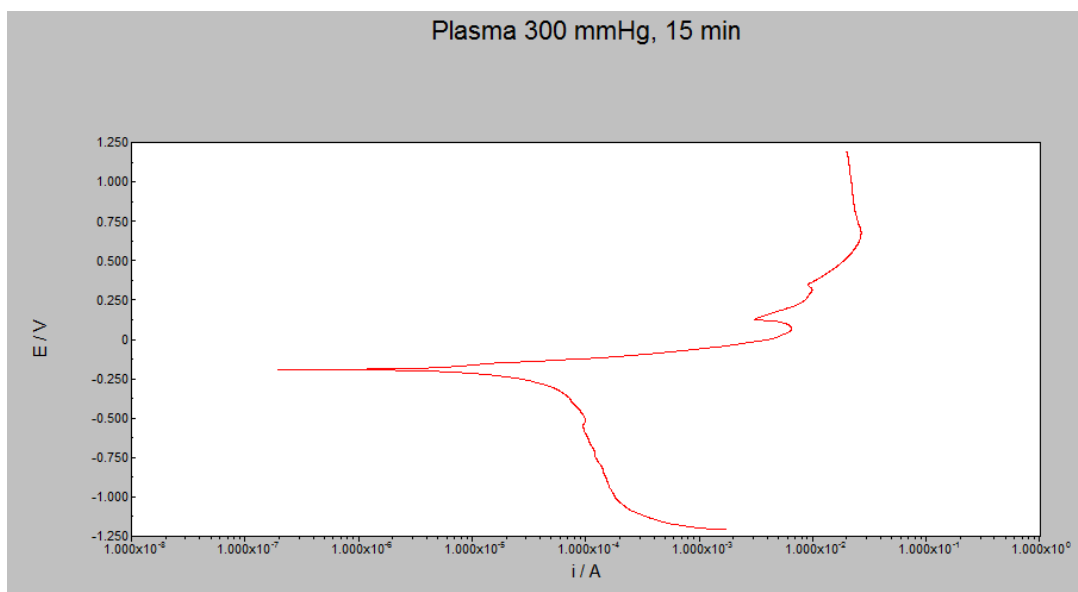
ภาพที่ 5.2.9 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที



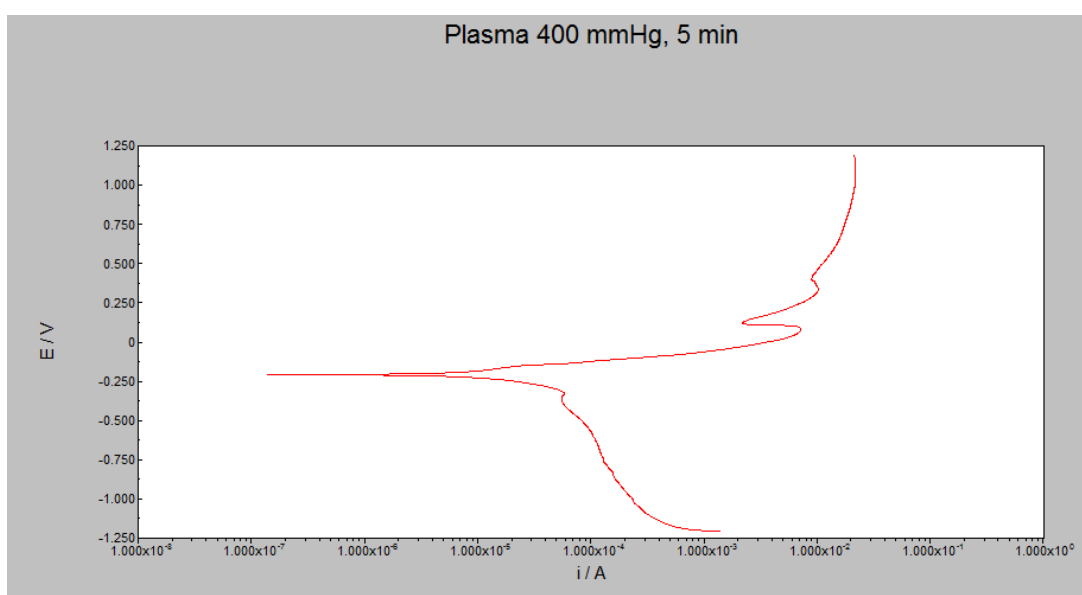
ภาพที่ 5.2.10 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -100 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



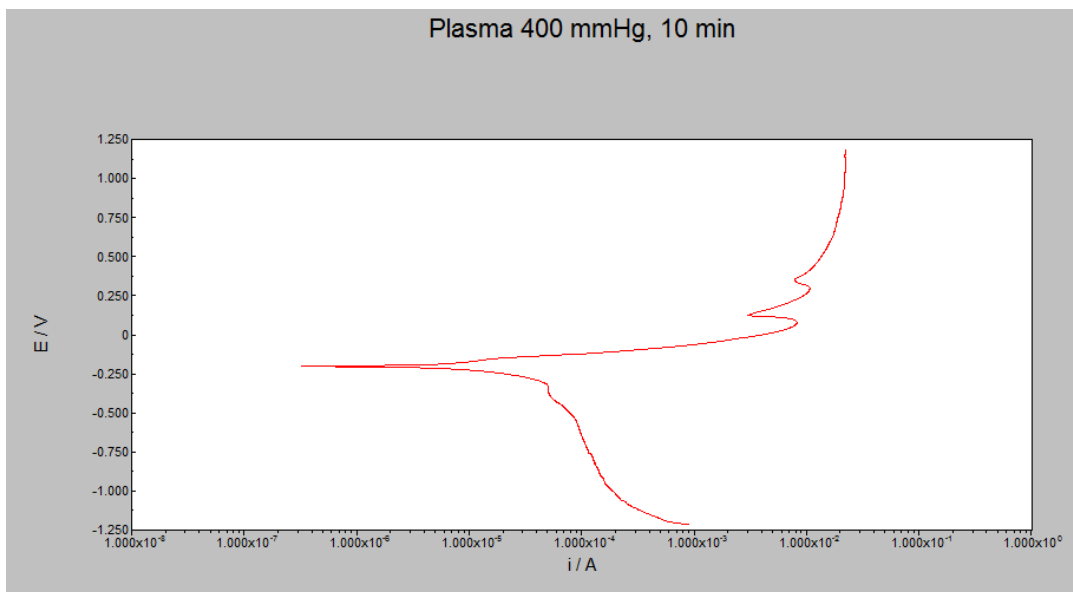
ภาพที่ 5.2.11 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -200 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



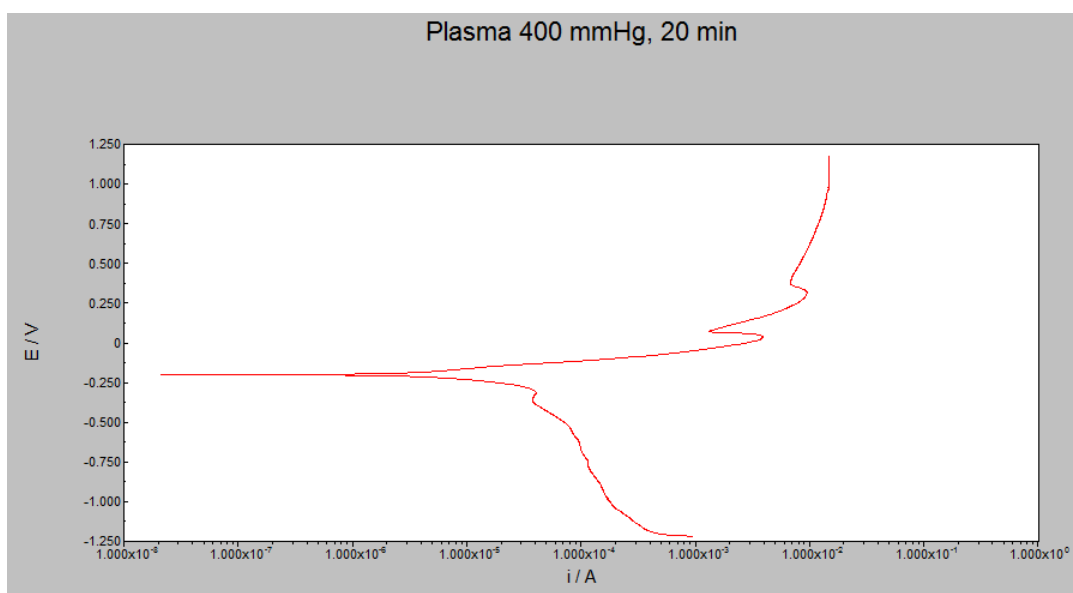
ภาพที่ 5.2.12 ผล Potentiostat ของท่อนแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของท่อนแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -300 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



ภาพที่ 5.2.13 ผล Potentiostat ของท่อนแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของท่อนแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 5 นาที



ภาพที่ 5.2.14 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 10 นาที



ภาพที่ 5.2.15 ผล Potentiostat ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว ใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 20 นาที

ตารางที่ 5.2.1 สรุปการคำนวณหาความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนจากกราฟโพล่าไลเซชัน

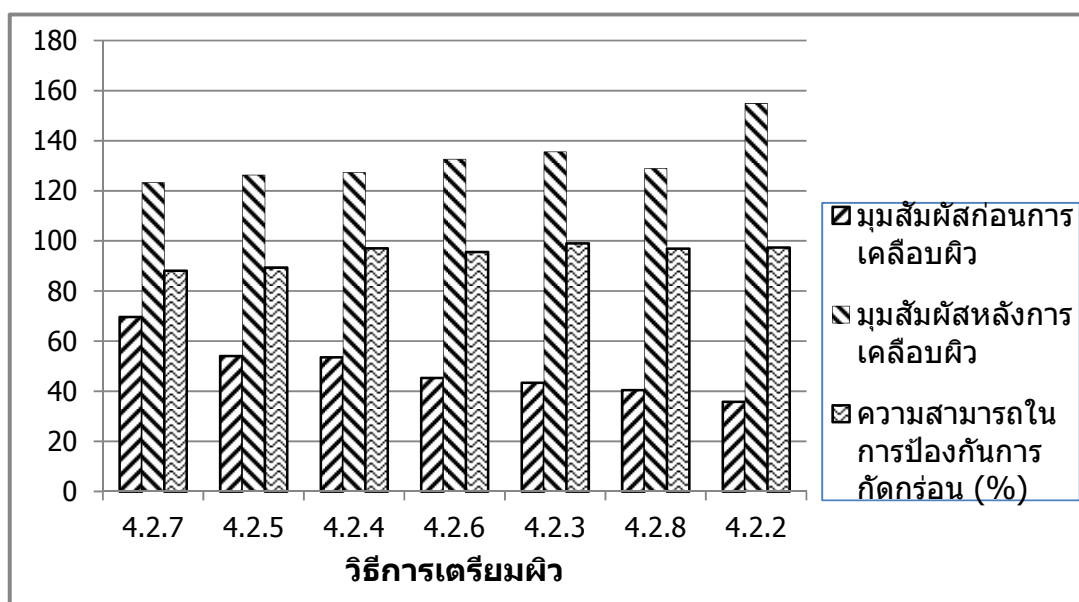
วิธีเตรียมผิว (จากภาพที่)	E _{corr,obs} (V)	E _{corr,calc} (V)	i _{corrosion} (A)	Chi-square	Protection Efficient (%)
-	-0.218	-0.218	1.781×10^{-5}	4.627×10^{-7}	-
4. 2.1	-0.205	-0.205	7.867×10^{-6}	6.046×10^{-8}	55.83
4. 2.2	-0.222	-0.222	4.586×10^{-7}	-	97.43
4. 2.3	-0.270	-0.270	1.614×10^{-7}	1.304×10^{-14}	99.09
4. 2.4	-0.217	-0.217	5.195×10^{-7}	1.121×10^{-44}	97.08
4. 2.5	-0.212	-0.212	1.890×10^{-6}	2.180×10^{-13}	89.39
4. 2.6	-0.229	-0.229	7.815×10^{-7}	1.530×10^{-9}	95.61
4. 2.7	-0.189	-0.189	2.107×10^{-6}	1.628×10^{-17}	88.17
4. 2.8	-0.228	-0.228	5.407×10^{-7}	-	96.96
4. 2.9	-0.199	-0.199	1.536×10^{-6}	7.833×10^{-14}	91.38
4. 2.10	-0.201	-0.201	1.384×10^{-6}	1.435×10^{-13}	92.23
4. 2.11	-0.193	-0.193	5.472×10^{-7}	7.006×10^{-46}	96.93
4. 2.12	-0.208	-0.208	1.162×10^{-6}	2.803×10^{-45}	93.48
4. 2.13	-0.203	-0.203	8.690×10^{-7}	1.066×10^{-17}	95.12
4. 2.14	-0.201	-0.201	6.833×10^{-8}	5.015×10^{-16}	99.62

จากตารางที่ 5.2.1 ซึ่งแสดงการป้องกันการกัดกร่อนพบว่าทองแดงที่ใช้การเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้นมีความต้านทานการป้องกันการกัดกร่อน 55.83% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การเตรียมผิวด้วยวิธีอื่นๆ ซึ่งมีค่าการป้องกันการกัดกร่อนอยู่ในช่วง 88-99% แล้วพบว่า การเตรียมผิว ก่อนการเคลือบผิวนั้นมีผลต่อการป้องกันการกัดกร่อนอย่างมาก โดยวิธีการขัดด้วยกระดาษทราย เท่านั้นไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเตรียมผิวทองแดงเพื่อป้องกันการกัดกร่อน

การเตรียมผิวโดยการแช่ในสารละลายปิรันยา การแช่ในสารละลายกรดไนตริก การนำไปแช่ ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้วตามด้วยกรดไนตริก และการนำไปแช่ในสารละลายกรด ฟอสฟอริก มีประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อนที่ดี

การเตรียมผิวโดยการใช้ออกซิเจนพลาสมานั้น ประสิทธิภาพของการป้องกันการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับความดันและเวลาที่ใช้ในการเตรียมผิว ซึ่งความดันในการทำออกซิเจนพลาสมานั้นส่งผลโดยเมื่อความดันที่ใช้เตรียมผิวน้อย การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของออกซิเจนไอออนเพื่อไปทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวจะไม่ถูกขัดขวางโดยโมเลกุลของออกซิเจนในบรรยากาศ การเข้าทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวจึงเกิดมากขึ้น และเวลาที่ใช้ทำออกซิเจนพลาสมาก็ช่วยให้ปริมาณของการทำปฏิกิริยามากขึ้น ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมผิวโดยออกซิเจนพลาสมานั้นพบว่าต้องใช้ในการเตรียมผิวที่ความดัน -400 mmHg และเวลาที่ใช้ในการเตรียมผิว 20 นาที

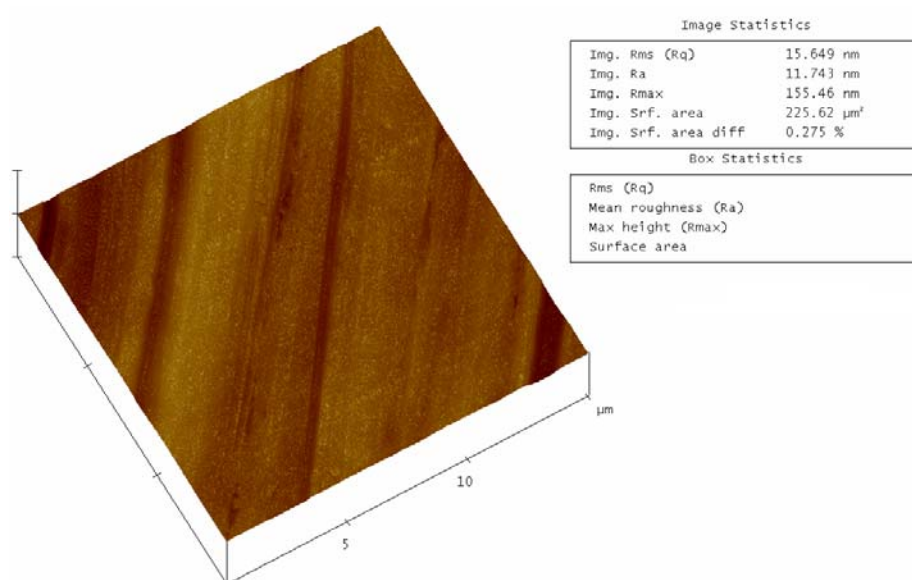
เมื่อเปรียบเทียบมุมสัมผัสก่อนและหลังการเคลือบผิวทองแดงกับการป้องกันการกัดกร่อน ดังแสดงในภาพที่ 5.2.16 พบว่าวิธีการที่มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวน้อยนั้น จะทำให้มีประสิทธิภาพของการป้องกันการกัดกร่อนมาก ซึ่งเป็นผลมาจากวิธีการที่ทำให้มุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวน้อยนั้น จะส่งผลให้ผิวของทองแดงมีความสามารถในการดูดซับสารเคลือบผิวซึ่งเป็นสารที่มีขั้วเช่นเดียวกันกับน้ำได้มาก ทำให้ความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนมีค่ามากตามไปด้วย



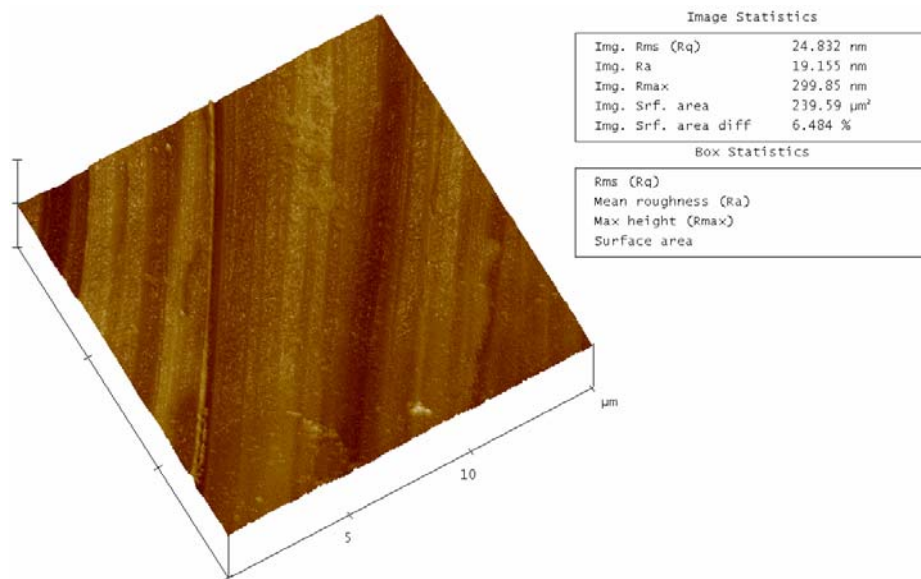
ภาพที่ 5.2.16 มุมสัมผัสก่อนและหลังการเคลือบผิวทองแดงเปรียบเทียบกับความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อน

5.3. กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope : AFM)

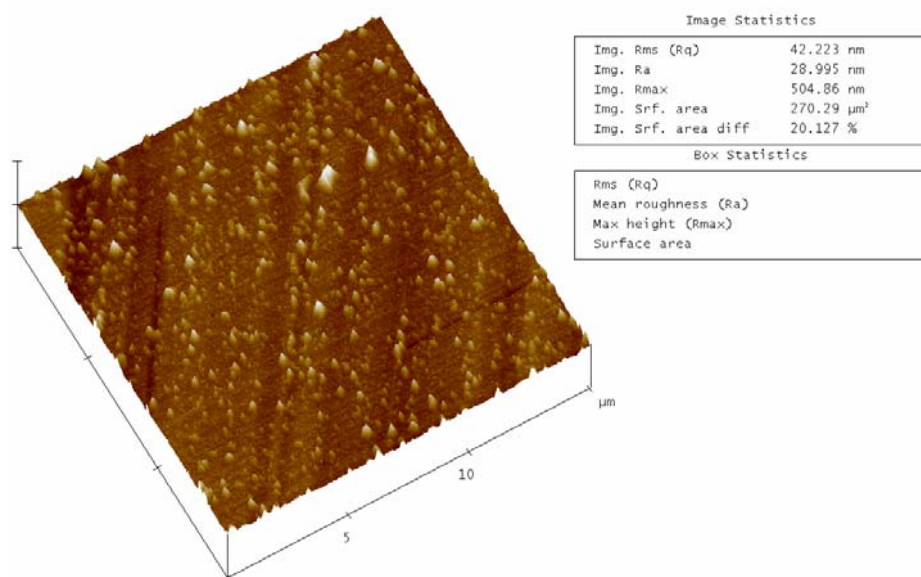
กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ (Morphology) ของวัตถุ โดยผลของการวิเคราะห์จะถูกแสดงในภาพสามมิติของลักษณะพื้นผิวทองแดง ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิวนั้นได้ โดยผลการวิเคราะห์ของทองแดงหลังเคลือบผิวด้วยวิธีการเตรียมผิวต่างๆ เป็นดังภาพที่ 5.3.1 - 5.3.15 และสามารถสรุปความขรุขระของพื้นผิวทองแดงได้เป็นดังตารางที่ 5.3.1 โดยลำดับที่แสดงเป็นวิธีการเตรียมผิวที่แสดงไว้ในหัวข้อ 4.2 ขั้นตอนการเคลือบผิว



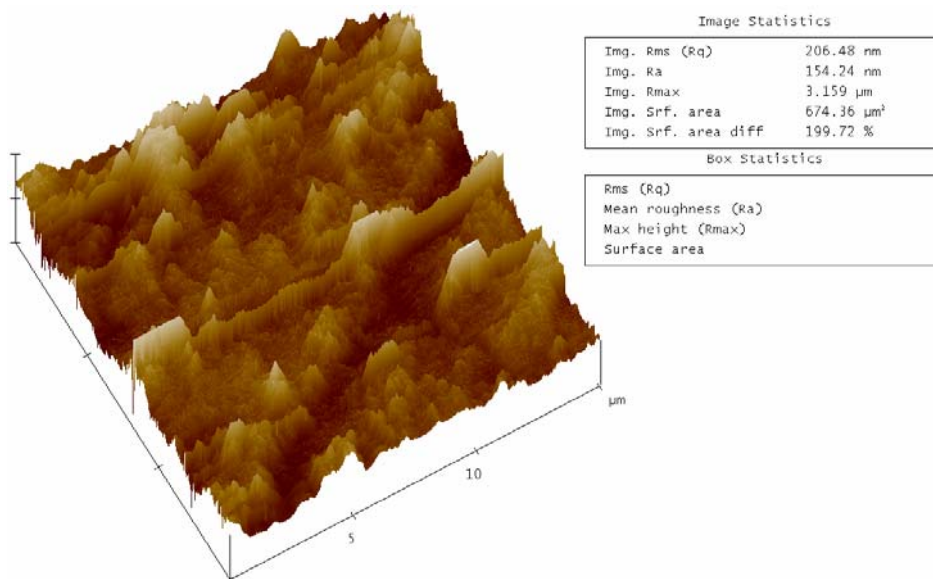
ภาพที่ 5.3.1 ผล AFM ของทองแดงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว



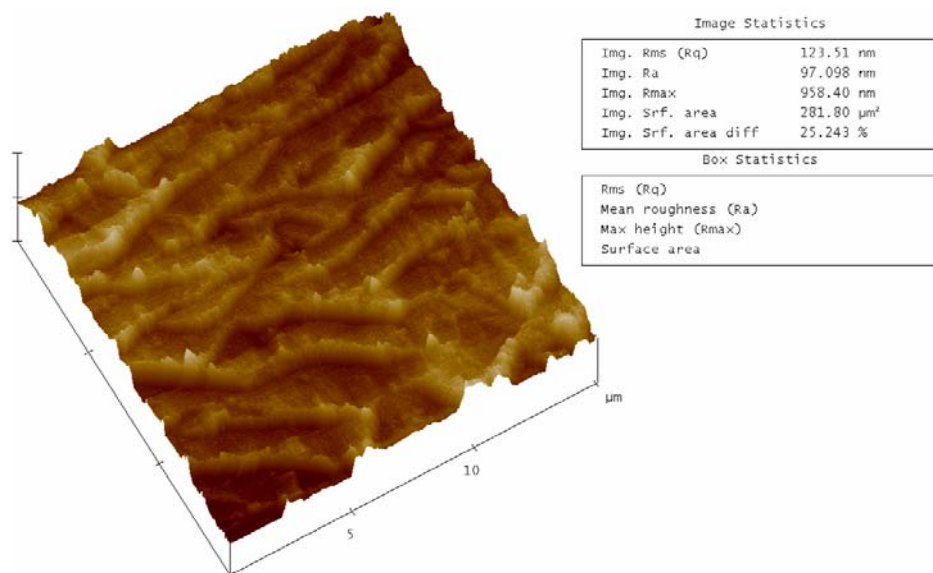
ภาพที่ 5.3.2 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเท่านั้น



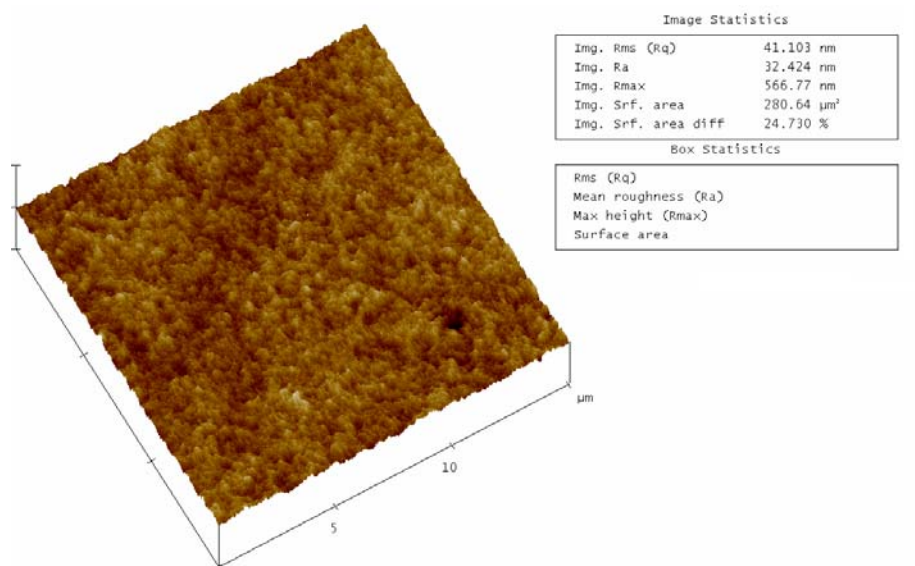
ภาพที่ 5.3.3 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน - 400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



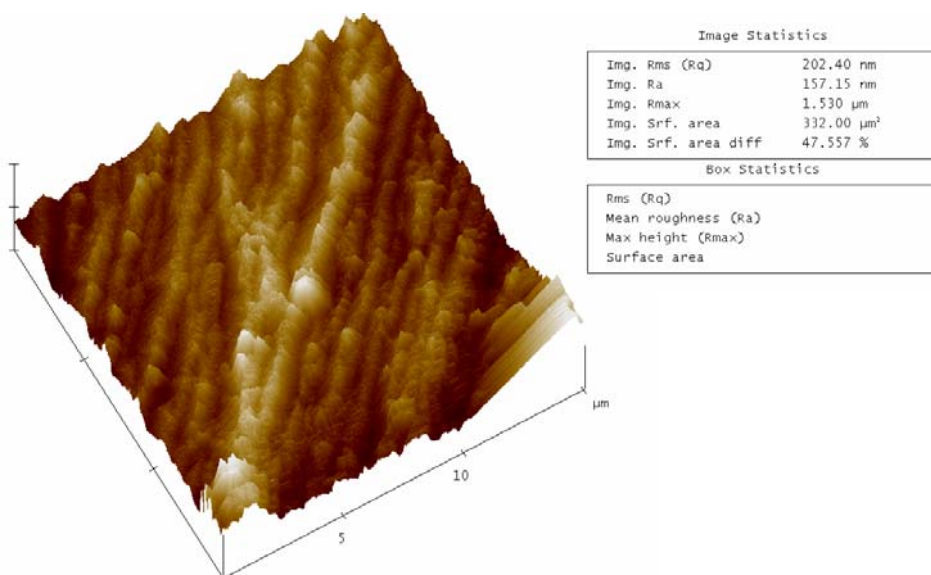
ภาพที่ 5.3.4 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการกัดด้วยกรดอะซาทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายปิรันยาที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที



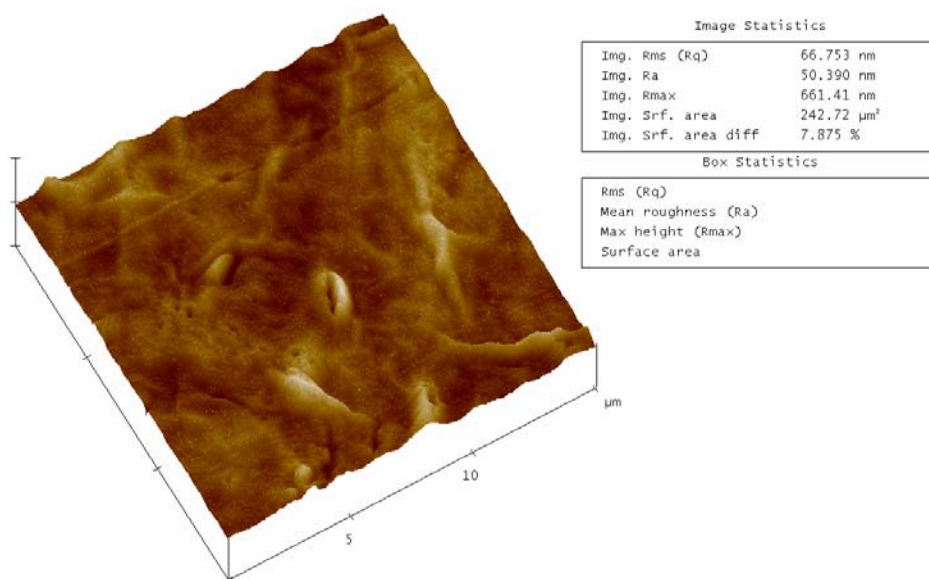
ภาพที่ 5.3.5 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการกัดด้วยกรดอะซาทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที



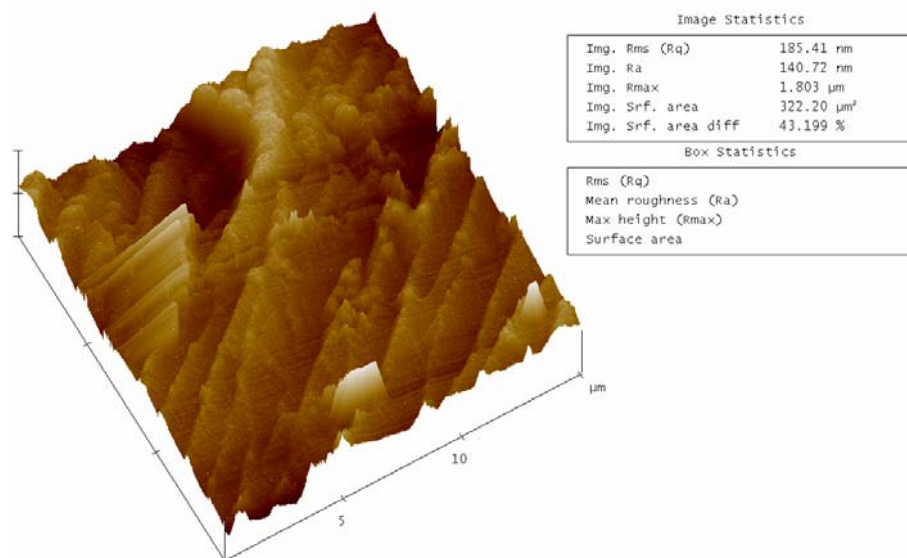
ภาพที่ 5.3.6 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขูดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



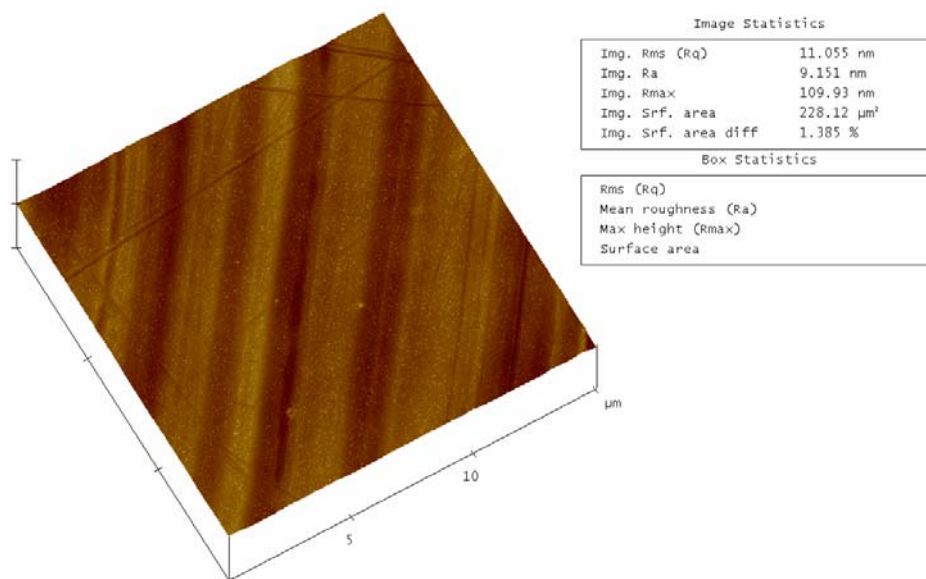
ภาพที่ 5.3.7 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขูดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที



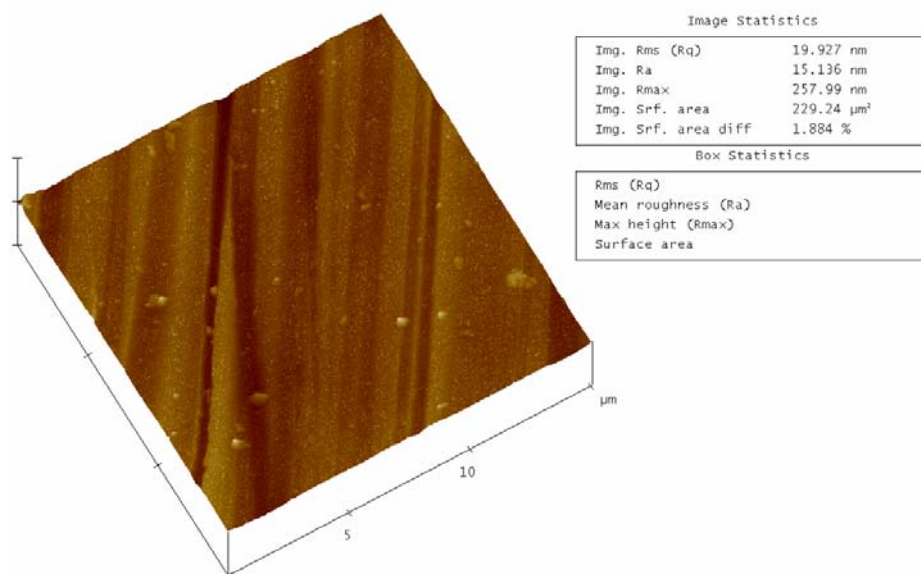
ภาพที่ 5.3.8 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที



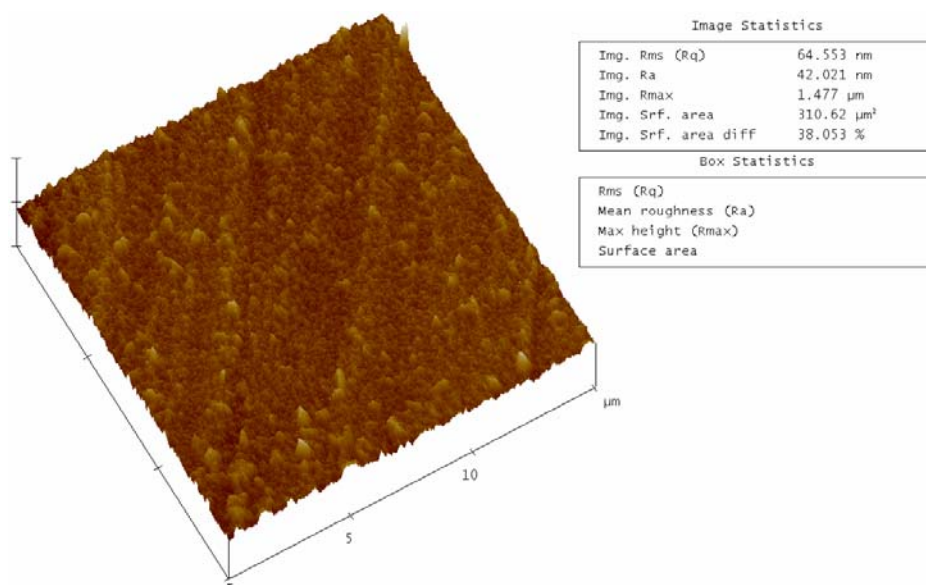
ภาพที่ 5.3.9 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก 68% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที



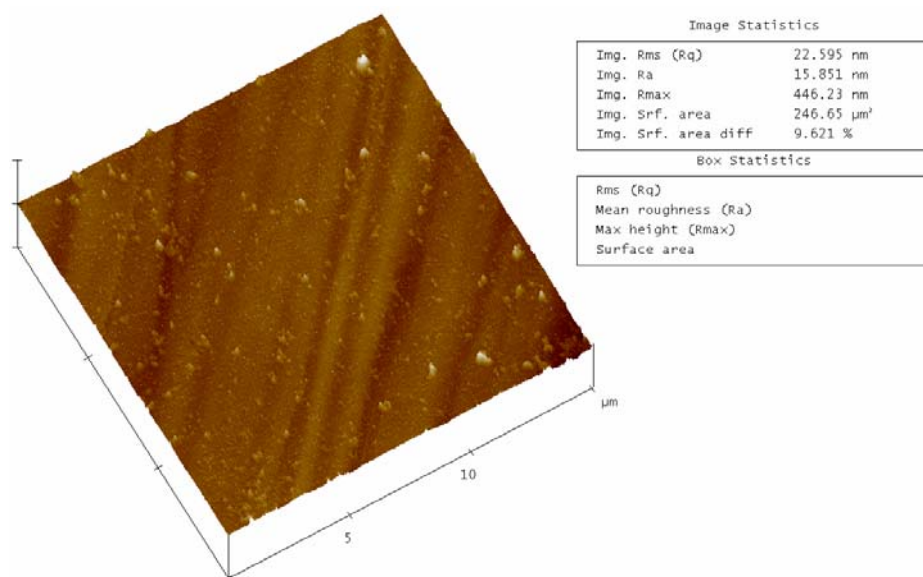
ภาพที่ 5.3.10 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน - 100 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



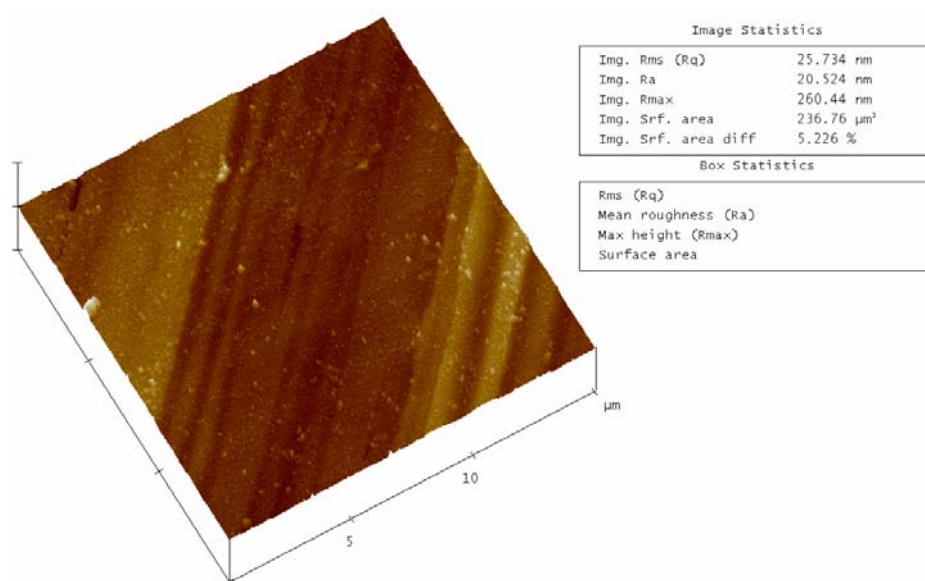
ภาพที่ 5.3.11 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน - 200 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



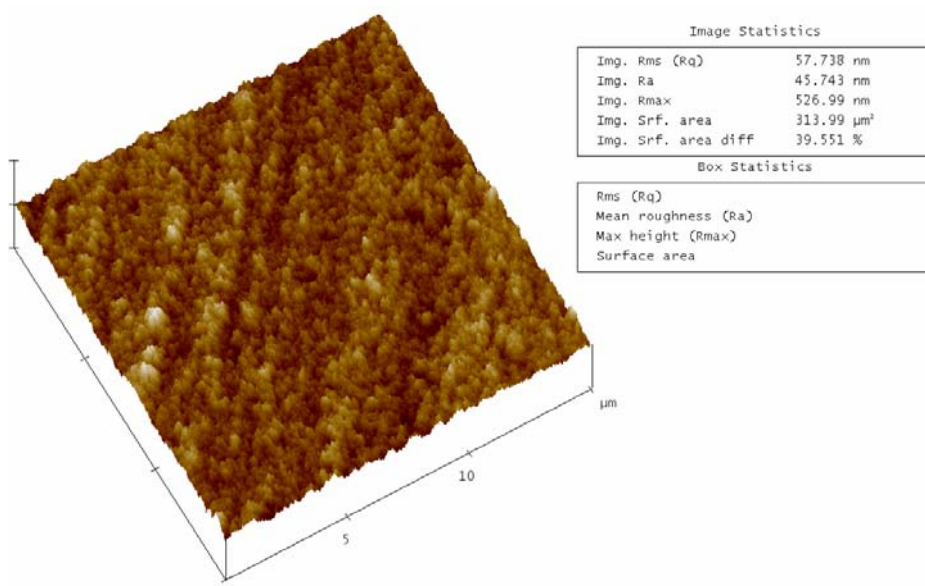
ภาพที่ 5.3.12 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน - 300 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



ภาพที่ 5.3.13 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน - 400 mmHg เป็นเวลา 5 นาที



ภาพที่ 5.3.14 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน - 400 mmHg เป็นเวลา 10 นาที



ภาพที่ 5.3.15 ผล AFM ของทองแดงที่เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน - 400 mmHg เป็นเวลา 20 นาที

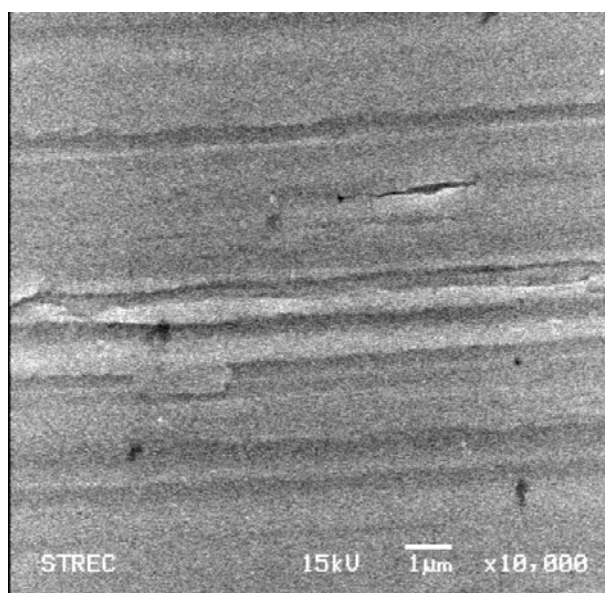
ตารางที่ 5.3.1 ความขรุขระของพื้นผิวทองแดงโดยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม

วิธีเตรียมผิว	ความขรุขระก่อนการเคลือบผิว (μm)	ความขรุขระหลังจากการเคลือบผิว (μm)	ความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อน (%)
4.2.1	0.02	0.02	55.83
4.2.2	0.02	0.04	97.43
4.2.3	0.20	0.21	99.09
4.2.4	0.29	0.12	97.08
4.2.5	0.02	0.04	89.39
4.2.6	0.29	0.20	95.61
4.2.7	0.02	0.07	88.17
4.2.8	0.23	0.19	96.96
4.2.9	0.03	0.01	91.38
4.2.10	0.02	0.02	96.41
4.2.11	0.02	0.06	96.93
4.2.12	0.02	0.02	93.48
4.2.13	0.02	0.03	95.12
4.2.14	0.02	0.06	99.62

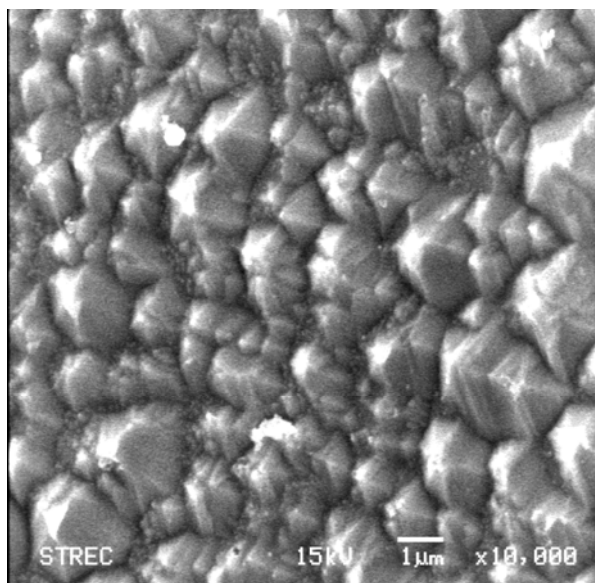
จากตารางที่ 5.3.1 จะเห็นว่า แผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการแช่แผ่นทองแดงลงในสารละลายจำพวกกรดนั้น จะมีความขรุขระมากกว่าแผ่นทองแดงที่เตรียมผิวโดยการใช้ออกซิเจนพลาสมา เนื่องจากสารละลายจำพวกกรดนั้นจะไปทำปฏิกิริยากับพื้นผิวทองแดงดังสมการในหัวข้อที่ 3.2.3 ทฤษฎีการเตรียมผิวก่อนการเคลือบผิว เกิดเป็นผลึกของสารประกอบของทองแดงไฮดรอกไซด์และหมู่ฟังก์ชันของสารละลายกรดนั้น ซึ่งเป็นผลึกที่มีขนาดใหญ่ [34, 35] ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นทองแดงออกไซด์ซึ่งเป็นผลึกที่มีขนาดเล็ก โดยที่โครงสร้างผลึกขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นนี้จะไม่ถูกทำลายไป ทำให้วิธีการเตรียมผิวโดยการแช่แผ่นทองแดงในสารละลายประเภทกรดจะทำให้พื้นผิวทองแดงมีความขรุขระมากนั่นเอง ซึ่งต่างกับการเตรียมผิวโดยการใช้ออกซิเจนพลาสมาในการเตรียมผิว ซึ่งเป็นการใช้ก๊าซไอออน ไปทำปฏิกิริยากับทองแดงแล้วทำให้เกิดสารประกอบทองแดงออกไซด์ซึ่งเป็นผลึกขนาดเล็กและกระจายตัวสม่ำเสมอ [36] บนพื้นผิวของทองแดง จึงทำให้พื้นผิวของทองแดงที่ใช้วิธีการเตรียมผิวโดยการใช้ออกซิเจนพลาสมามีพื้นผิวที่เรียบนั่นเอง

5.4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

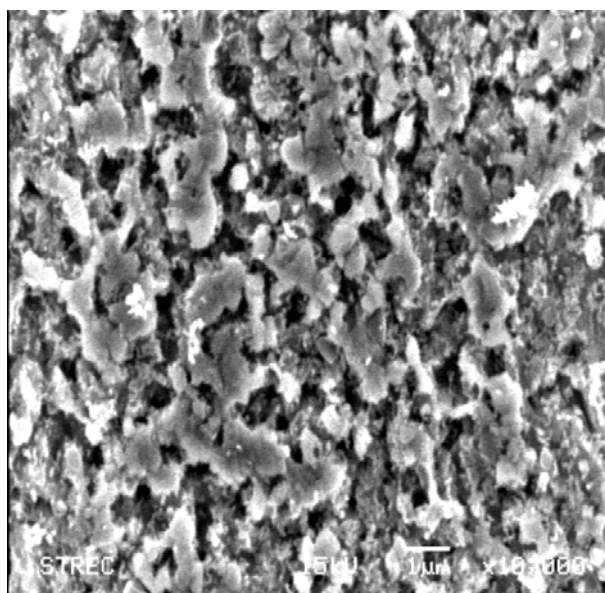
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวทองแดง เพื่อจำแนกโครงสร้างของผลึกสารประกอบทองแดงบนพื้นผิว โดยวิเคราะห์เพื่อยืนยันลักษณะผลึกของทองแดงบนพื้นผิว โดยการวิเคราะห์แผ่นทองแดงเลือกเฉพาะวิธีที่มีการป้องกันการกัดกร่อนที่สูง คือ วิธีที่ 4.2.14 (การใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 20 นาที) วิธีที่ 4.2.3 (การแช่ในสารละลายปิรันยา) และวิธีที่ 4.2.4 (การแช่ในสารละลายกรดไนตริก) โดยเปรียบเทียบกับแผ่นทองแดงที่ไม่ได้เคลือบผิว นอกจากนี้ยังเลือกวิธีที่ 4.2.12 (การใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -200 mmHg เป็นเวลา 15 นาที) และวิธีที่ 4.2.2 (การใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที) เพื่อศึกษาผลของความดันและเวลาของการเตรียมผิวโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาศึกษาด้วย โดยผลการทดลองเป็นดังภาพที่ 5.4.1 – 5.4.6



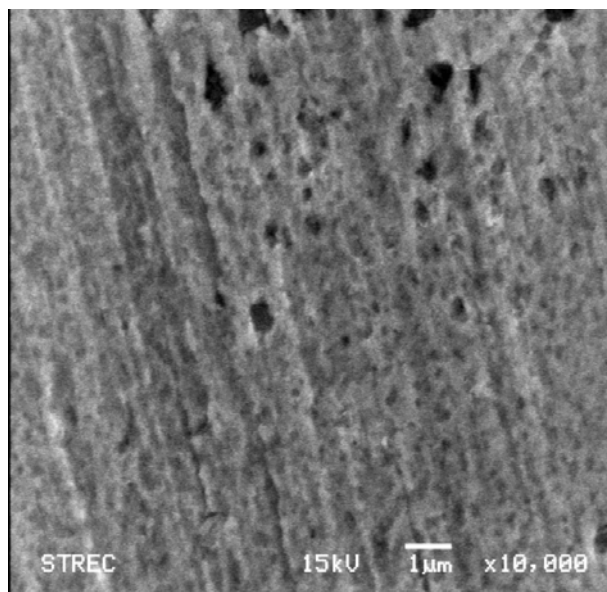
ภาพที่ 5.4.1 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ไม่ได้เคลือบผิว



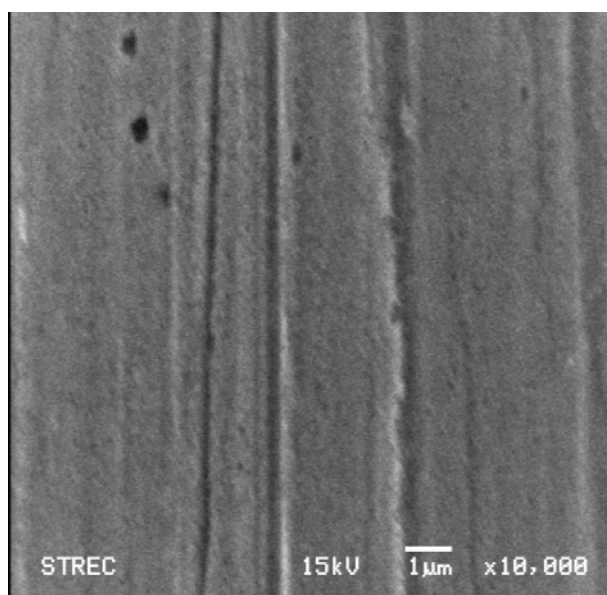
ภาพที่ 5.4.2 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 7 mol/L ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วินาที



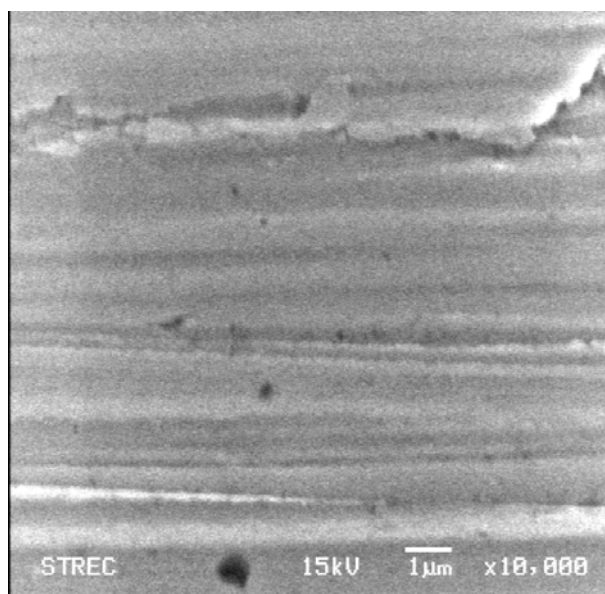
ภาพที่ 5.4.3 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วนำไปแช่ในสารละลายปิรินยาที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที



ภาพที่ 5.4.4 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทราย แล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจน พลาสมาที่ความดัน -200 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



ภาพที่ 5.4.5 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทราย แล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจน พลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 15 นาที



ภาพที่ 5.4.6 ผล SEM ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทราย แล้วใช้วิธีการกระตุ้นให้เกิดสารออกไซด์ของทองแดงโดยใช้ออกซิเจนพลาสมาที่ความดัน -400 mmHg เป็นเวลา 20 นาที

ซึ่งจากภาพที่ 5.4.1-5.4.6 นั้นจะเห็นว่าวิธีการที่ใช้การเตรียมผิวโดยการใช้ออกซิเจนพลาสมา นั้น ลักษณะพื้นผิวไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากแผ่นทองแดงที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว แต่เมื่อดูผลของการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมพบว่าเมื่อลดความดันและเพิ่มเวลาในการเตรียมผิว ต่างส่งผลให้พื้นผิวของทองแดงมีความขรุขระมากขึ้นเช่นกัน เนื่องมาจากเมื่อความดันที่ใช้เตรียมผิวน้อย การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของออกซิเจนไอออนเพื่อไปทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวจะไม่ถูกขัดขวางโดยโมเลกุลของออกซิเจนในบรรยากาศ การเข้าทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวจึงเกิดมากขึ้น และเวลาที่ใช้ทำออกซิเจนพลาสมาที่ช่วยให้ปริมาณของการทำปฏิกิริยามากขึ้น ดังนั้นจึงเกิดผลึกของทองแดงออกไซด์มากขึ้น จึงทำให้ความขรุขระของพื้นผิวมากขึ้นนั่นเอง ซึ่งจากการที่พื้นผิวมีความเรียบจึงทำให้การเกาะตัวของสารเคลือบผิวเป็นไปอย่างสม่ำเสมอในรูปแบบของการเรียงตัวชั้นเดียวของสารเคลือบผิว

วิธีการเตรียมผิวโดยการแช่แผ่นทองแดงในสารละลายกรดไนตริกนั้น จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะเห็นลักษณะของพื้นผิวมีลักษณะคล้ายผลึกคริสตัล หรือพื้นผิวมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบออร์โธรมบิก (orthorhombic) [35] ซึ่งเป็นลักษณะผลึกของสารประกอบทองแดงไฮดรอกไซด์กับหมู่นิเตรตนั่นเอง [37] ซึ่งตรงกันข้ามกับพื้นผิวของทองแดงที่ใช้การเตรียมผิวโดยแช่ในสารละลายปิรันยา คือ จะมีลักษณะของผลึกไม่ชัดเจน แม้ว่าผลึกของสารประกอบทองแดงไฮดรอกไซด์กับหมู่นิเตรตจะมีลักษณะเป็นออร์โธรมบิก (orthorhombic) [34] เช่นเดียวกันกับผลึกของไนเตรท เนื่องจากในสารละลายปิรันยามีส่วนผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ผลึกของทองแดงไฮดรอกไซด์ ให้กลายเป็นทองแดงออกไซด์ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก (monoclinic) [36] ซึ่งมีเป็นผลึกขนาดเล็ก ทำให้การก่อตัวของผลึกทองแดงไฮดรอกไซด์ถูกขัดขวาง ลักษณะพื้นผิวจึงไม่เป็นโครงสร้างผลึกนั่นเอง จากการที่พื้นผิวหลังการเตรียมผิวมีความขรุขระทำให้เมื่อเคลือบผิวด้วยออกไซด์เคโนไทบอล การกระจายตัวของการเกาะของสารเคลือบผิวจึงเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งการเรียงตัวของสารเคลือบยังไม่เป็นแบบเรียงตัวชั้นเดียว เนื่องจากความสูงต่ำของพื้นผิวที่ไม่เท่ากันนี้ ทำให้สารเคลือบผิวเกาะได้หลายชั้น

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1. สรุปผลการทดลอง

ในการเคลือบผิวทองแดงเพื่อป้องกันการกัดกร่อนจะต้องมีการเตรียมผิวเพื่อปรับสภาพพื้นผิวของทองแดงให้เหมาะสมต่อการยึดเกาะของโมเลกุลของสารเคลือบผิว โดยที่วิธีการเตรียมผิวต่าง ๆ นั้นทำให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะของโมเลกุลของสารเคลือบผิวต่างกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนของสารเคลือบผิว เพื่อศึกษาถึงการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการเตรียมผิวทองแดงสำหรับการเคลือบผิวด้วยออกไซด์เคโนไทออกอลเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การเตรียมผิวทองแดงก่อนการเคลือบผิวนั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงได้ต่างกัน
2. การวัดมุมสัมผัสก่อนการเคลือบผิวนั้น สามารถทำนายแนวโน้มของการป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงหลังการเคลือบผิวได้
3. การเตรียมผิวทองแดงก่อนการเคลือบผิวโดยการใช้ออกซิเจนพลาสมานั้น สภาวะที่เหมาะสมคือ ที่ความดัน -400 mmHg และเวลาในการเตรียมผิว 20 นาที เนื่องจากมีความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนที่ 99.62% อีกทั้งการเคลือบผิวยังเป็นแบบการเรียงตัวชั้นเดียวของสารเคลือบอีกด้วย
4. การใช้วิธีการเตรียมผิวทองแดงก่อนการเคลือบผิวโดยการแช่ในสารละลายประเภทกรด แม้ว่าจะมีความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนที่สูง แต่การเกาะตัวของสารเคลือบผิวเป็นแบบการเรียงตัวหลายชั้น จึงไม่เหมาะต่อการที่จะนำมาเคลือบผิวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากการเกาะตัวของสารเคลือบที่หนาเกินไปลดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ทำให้การส่งผ่านความร้อนทำได้น้อยลง

6.2. ข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมผิวของทองแดงเพื่อป้องกันการกัดกร่อนนั้น สำหรับงานที่ชั้นของทองแดงบางมากและต้องการความเรียบของทองแดง เช่น แผงวงจรรีเลย์ทรอนิก ระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลภาค หรือ Micro-Electro-Mechanical System (MEMS) นั้น ไม่สมควรใช้วิธีการเตรียมผิวโดยการแช่ในสารละลายประเภทกรด เนื่องจากสารละลายกรดจะไปทำลายชั้นของทองแดง ซึ่งจะไปทำให้วัสดุที่จะนำมาเคลือบผิวเสียหายได้

รายการอ้างอิง

- [1] Jennings, G.K., and Laibinis, P.E. Self-assembled monolayers of alkanethiols on copper provide corrosion resistance in aqueous environments. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 1996. 116(1-2): p. 105-114.
- [2] Sung, M.M., and Kim, Y. Self-Assembled Monolayers of Alkanethiols on Clean Copper Surfaces, Bull. Korean Chem. Soc 2011, Vol. 22, No. 7: p. 748-752.
- [3] Whelan, C.M., et al. Corrosion inhibition by self-assembled monolayers for enhanced wire bonding on Cu surfaces. Microelectronic Engineering 2003. 70(2-4): p. 551-557.
- [4] Zhang, D.Q., Gao, L.X., and Zhou, G.D. Inhibition of copper corrosion in aerated hydrochloric acid solution by heterocyclic compounds containing a mercapto group. Corrosion Science 2004. 46(12): p. 3031-3040.
- [5] Hutt, D.A. and Liu, C. Oxidation protection of copper surfaces using self-assembled monolayers of octadecanethiol. Applied Surface Science 2005. 252(2): p. 400-411.
- [6] Koo, J.-R., et al. Self Assembled Monolayer for Molecular Electronics. Japanese Journal of Applied Physics 2005. 44(1B): p. 566.
- [7] Lalitha, A., Ramesh S., and Rajeswari, S. Surface protection of copper in acid medium by azoles and surfactants. Electrochimica Acta 2005. 51(1): p. 47-55.

- [8] Telegdi, J., Rigo, T., and Kalman, E. Molecular layers of hydroxamic acids in copper corrosion inhibition. Journal of Electroanalytical Chemistry 2005. 582(1-2): p. 191-201.
- [9] Larabi, L., et al. 2-Mercapto-1-methylimidazole as corrosion inhibitor for copper in hydrochloric acid. Applied Surface Science 2006. 253(3): p. 1371-1378.
- [10] Tan, Y.S., et al. Effects of ring substituents on the protective properties of self-assembled benzenethiols on copper. Corrosion Science 2006. 48(4): p. 840-862.
- [11] Sinapi, F., et al. Comparative protective abilities of organothiols SAM coatings applied to copper dissolution in aqueous environments. Electrochimica Acta 2007. 52(16): p. 5182-5190.
- [12] Appa Rao, B.V., Yakub Iqbal, M., and Sreedhar, B. Corrosion protection of copper by self assembled monolayers. Indian Journal of Chemical Technology 2008. 16 (January 2009): p. 25-31.
- [13] Mekhalif, Z., et al. Comparative assessment of n-dodecanethiol and n-dodecaneselenol monolayers on electroplated copper. Journal of Electroanalytical Chemistry 2008. 621(2): p. 245-253.
- [14] Petrovic, Z., Metikos-Hukovic, M., and Babic, R. Modification of copper with self-assembled organic coatings. Progress in Organic Coatings 2008. 61(1): p. 1-6.
- [15] Appa Rao, B.V., Yakub Iqbal, M., and Sreedhar, B. Self-assembled monolayer of 2-(octadecylthio)benzothiazole for corrosion protection of copper. Corrosion Science 2009. 51(6): p. 1441-1452.

- [16] Wang, P., et al. Protection of copper corrosion by modification of dodecanethiol self-assembled monolayers prepared in aqueous micellar solution. Electrochimica Acta 2009. 55(3): p. 878-883.
- [17] Appa Rao, B.V., Yakub Iqbal, M., and Sreedhar, B. Electrochemical and surface analytical studies of the self-assembled monolayer of 5-methoxy-2-(octadecylthio)benzimidazole in corrosion protection of copper. Electrochimica Acta 2010. 55(3): p. 620-631.
- [18] Kim, C. Argon and Nitrogen Plasma Surface Treatments of Polyimide Films for Electroless Copper Plating, D. Jeong, Journal of the Korean Physical Society: Korea 2009. p. 621-627.
- [19] Kim, K.J., et al. Advanced Heat Exchangers Using Tunable Nanoscale-Molecular Assembly. Technical Report, University of Nevada (US), 2004.
- [20] Ma, H.Y., et al. Electrochemical characterization of copper surface modified by n-alkanethiols in chloride-containing solutions. Applied Surface Science 2003. 218(1-4): p. 144-154.
- [21] Wikipedia, the free encyclopedia. Corrosion. [Online]. 2011. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Corrosion>. [2011, May 14]
- [22] คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. โลหะวิทยาฟิสิกส์. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://www.rmutphysics.com/metal/metal.html>. [2554, สิงหาคม 25]
- [23] สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้. มหาวิทยาลัยมหิดล. ไฟฟ้าเคมีเชิงบูรณาการ. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electrochemistry>. [2554, มกราคม 9]
- [24] Biolin Scientific Inc. Contact angle. [Online]. 2009. Available from: <http://www.attension.com/?id=1092&cid=>. [2010, June 17]

- [25] KYOWA INTERFACE SCIENCE CO.LTD. Measurment of contact angle. [Online]. 2007. Available from: <http://www.face-kyowa.com/en/learning/learning1.html>. [2010, August 14]
- [26] Wikipedia, the free encyclopedia. Contact angle. [Online]. 2010. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Contact_angle. [2010, August 14]
- [27] Wikipedia, the free encyclopedia. Scanning electron microscope. [Online]. 2010. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope. [2010, December 17]
- [28] สถาบันราชภัฏจันทรเกษม. Scanning Electron Microscope. [ออนไลน์]. 2547. แหล่งที่มา: <http://www.elecnet.chandra.ac.th/learn/courses/5513101/termwork/sem/index.html>. [2553, ธันวาคม 20]
- [29] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. Atomic Force Microscope (AFM). [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: <http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php/tool.html>. [2553, ธันวาคม 15]
- [30] Wikipedia, the free encyclopedia. Atomic force microscopy. [Online]. 2010. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_force_microscopy. [2010, December 10]
- [31] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้อุ มหาลัยมหิดล. เทคโนโลยีการสร้างระดับนาโน. [ออนไลน์]. 2553 แหล่งที่มา: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/scibook/nanotech/Page/Unit4-3.html>. [2554, มกราคม 18]
- [32] Institute for Innovative Learning. Intergrated Electrochemistry. [Online]. 2010. Available from: <http://www.il.mahidol.ac.th/eng/index.php/e-media.html>. [2010, November 4]

- [33] Wikipedia, the free encyclopedia. Potentiostat. [Online]. 2010. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Potentiostat>. [2010, August 14]
- [34] Wikipedia, the free encyclopedia. Copper(II) sulfate. [Online]. 2011. Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/Copper\(II\)_sulfate](http://en.wikipedia.org/wiki/Copper(II)_sulfate). [2011, February 23]
- [35] Wikipedia, the free encyclopedia. Copper(II) nitrate. [Online]. 2011. Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/Copper\(II\)_nitrate](http://en.wikipedia.org/wiki/Copper(II)_nitrate). [2011, February 23]
- [36] Wikipedia, the free encyclopedia. Copper(I) oxide. [Online]. 2011. Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/Copper\(I\)_oxide](http://en.wikipedia.org/wiki/Copper(I)_oxide). [2011, February 23]
- [37] Bovio, B. and Locchi, S. Crystal structure of the orthorhombic basic copper nitrate, $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$. Journal of Chemical Crystallography 1982. 12(6): p. 507-517.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล	นายวุฒิชัย สุทธิพงษ์เกียรติ์
วัน เดือน ปีเกิด	29 สิงหาคม พ.ศ.2527
สถานที่เกิด	จังหวัดสุพรรณบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	21 ถนนสมบุญ-เกตุวัลย์ ตำบลตลาดหลวง อำเภอเมือง จังหวัดอ่างทอง รหัสไปรษณีย์ 14000
โทรศัพท์	086 407 8500, 035 611 045

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

พ.ศ.2545	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนหอวัง กรุงเทพฯ ผลการเรียนเฉลี่ย 3.53
พ.ศ.2549	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ผลการเรียนเฉลี่ย 2.85
พ.ศ.2549	เข้าทำงานที่บริษัท ไฮเทค เปปเปอร์ จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรกะ
พ.ศ.2550	เข้าทำงานที่บริษัท มาบตาพุดโอเลฟิน จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรโครงการ
พ.ศ.2552	เข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลการเรียนเฉลี่ย 3.75