

การชุบนิเกิลบนโลหะทองแดงด้วยไฟฟ้า

ELECTRODEPOSITION OF NICKEL ON COPPER
SUBSTRATE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRODEPOSITION OF NICKEL ON COPPER
SUBSTRATE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2018
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การชุบนิเกิลบนโลหะทองแดงด้วยไฟฟ้า Electrodeposition of Nickel on Copper Substrate
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกมลวรรณ จันทเขต รหัสนักศึกษา 58050434 นางสาวปนิษฐา ไชยครนกิจไพศาล รหัสนักศึกษา 58050498
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.บุญณมา ศิริพันธ์โนน ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ กรรมการ	
ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การชุบนิกเกิลบนโลหะทองแดงด้วยไฟฟ้า
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกมลวรรณ จันทร์เขต รหัสนักศึกษา 58050434 นางสาวปนิษฐา โชครณกิจไพศาล รหัสนักศึกษา 58050498
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์

บทคัดย่อ

การชุบนิกเกิลด้วยไฟฟ้าในปัจจุบันเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากนิกเกิลมีคุณสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อนในบรรยากาศได้ดี และการผสมสารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถทำได้ง่าย ไม่ใช่สภาวะที่รุนแรงในการชุบ โครงการพิเศษนี้จึงทำขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของชั้นฟิล์มนิกเกิลบนโลหะทองแดง และยังใส่สารละลาย HAuCl_4 ที่ได้จากการละลายทองคำเปลวที่ปริมาณต่างกัน พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลที่ไม่ผสมทอง อาจเพราะเป็นผลมาจากการที่มีคลอไรด์อยู่ภายในชั้นฟิล์มมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน

คำสำคัญ : การกัดกร่อน การชุบนิกเกิล ทองแดง พฤติกรรมการกัดกร่อน โลหะผสมนิกเกิลทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Electrodeposition of Nickel on Copper Substrate
Students	Miss Kamonwan Chantakhet Student ID 58050434 Miss Panittha Chokthanagidpisan Student ID 58050498
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Asst.Prof.Dr.Sutha Sutthiruangwong

Abstract

The Nickel plating is widely used due to its high corrosion resistance. Accordingly, this special project is focusing on the studying of corrosion behavior of nickel thin film. In addition, HAuCl_4 solution from gold leaf at different weight is founded to increase the corrosion current density when compared to Au-free sample. This might be from chloride presenting in the film.

Keywords : Corrosion, Nickel plating, Copper, Corrosion behavior, Ni-Au alloy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องการชูนิกเกิลบนโลหะทองแดงด้วยไฟฟ้าจะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้หากขาดบุคคลเหล่านี้ที่คอยให้คำปรึกษาและการช่วยเหลือตลอดการทำโครงการ กลุ่มของผู้วิจัยจึงอยากขอบคุณบุคคลที่จะเอ่ยถึงดังต่อไปนี้ได้แก่ บิดามารดา ที่คอยสนับสนุนและช่วยเหลือค่าใช้จ่ายบางส่วนในการทำโครงการ อาจารย์สุธา สุทธิเรืองวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำเกี่ยวกับการจัดทำโครงการและรวมถึงคณาจารย์ในภาควิชาเคมีทุกท่าน และที่แก่นักวิทยาศาสตร์ที่คอยให้คำสั่งสอนและการช่วยเหลือแนะนำรวมทั้งเพื่อนๆในสาขาเคมีอุตสาหกรรมที่คอยให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอดจนเสร็จสิ้นการทำโครงการในครั้งนี้

สุดท้ายนี้หวังว่าโครงการพิเศษเล่มนี้จะมีประโยชน์ให้แก่ผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การชุบคืออะไร.....	3
2.1.1 การชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า.....	3
2.1.2 การชุบโลหะโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า.....	4
2.1.3 การชุบโลหะแบบการเปลี่ยนแปลงทางเคมี.....	4
2.1.4 การชุบโลหะแบบอื่นๆ.....	4
2.2 ทฤษฎีการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า.....	5
2.2.1 การชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า.....	5
2.2.2 กฎของฟาราเดย์ที่เกี่ยวข้องกับการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า	6
2.2.3 ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	7
2.2.4 สารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า	7
2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.....	8
2.2.6 การเติมสารเติมแต่งลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	10
2.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของชิ้นงานและกำลังการเคลือบ.....	10
2.3 การชุบทอง.....	11
2.3.1 การชุบรองพื้น.....	12
2.3.2 ชนิดของน้ำยาชุบทอง	12
2.3.3 ถังชุบทอง.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 ขั้วแอโนดที่ใช้ในการชุบทอง.....	12
2.3.5 ราวสำหรับใช้แขวนขั้วแอโนด.....	12
2.3.6 ค่ากะรัต.....	13
2.3.7 ความหนาในการชุบทอง.....	13
2.4 การชุบนิกเกิล.....	13
2.4.1 หลักการชุบนิกเกิลด้วยไฟฟ้า	13
2.4.2 ค่า pH และ Buffering	13
2.4.3 การปรับค่า pH	14
2.4.4 ประเภทของน้ำยาชุบนิกเกิล	14
2.4.5 ตัวล่อนิกเกิล	15
2.4.6 วิธีการกำจัดทองแดงในถังนิกเกิล	15
2.4.7 การทำดัมมี่	15
2.4.8 การชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า	15
2.4.9 การชุบนิกเกิลแบบหนา.....	16
2.5 การทำความสะอาดผิวชิ้นงานก่อนชุบ	16
2.5.1 การทำความสะอาดด้วยไฮดรอกไซด์โครเมตโรเอทิลีน.....	16
2.5.2 การทำความสะอาดด้วยด่างร้อน	16
2.5.3 การล้างด้วยไฟฟ้า.....	17
2.5.4 การทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก.....	17
2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	17
2.6.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	17
2.6.2 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	22
3.1.1 อุปกรณ์.....	22
3.1.2 สารเคมี.....	22
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.2.1 การเตรียมชิ้นงาน.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

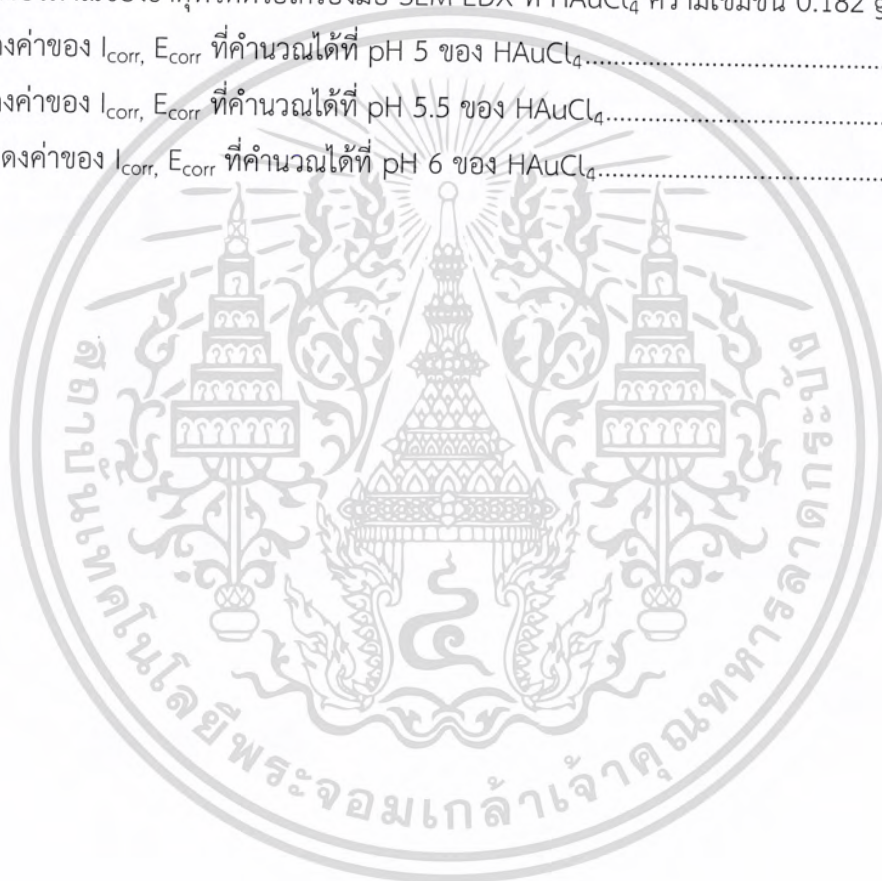
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการชุบนิกเกิล.....	23
3.2.3 การทดลองการชุบโดยใช้กระแสไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่ง.....	23
3.2.4 การทดลองการชุบนิกเกิลผสมทอง (0.1020 กรัม).....	23
3.2.5 การทดลองการชุบนิกเกิลผสมทอง (0.1820 กรัม).....	24
3.2.6 การทดลองการชุบทอง.....	24
3.2.7 การทดสอบการกัดกร่อนของการชุบนิกเกิล.....	24
3.2.8 การทดสอบการกัดกร่อนของการชุบนิกเกิล นิกเกิลผสมทองและทอง	25
3.2.9 การทดสอบการกัดกร่อนของการชุบทองที่อุณหภูมิ 200 °C.....	25
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	26
4.1 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการชุบ.....	26
4.2 การทดลองชุบด้วยไฟฟ้าโดยใช้กระแสไฟฟ้าคงที่.....	27
4.3 การทดลองการหาสภาวะสำหรับการชุบนิกเกิลผสมทอง.....	28
4.4 การทดลองชุบนิกเกิลผสมทอง.....	29
4.5 การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะทองแดงชุบนิกเกิล.....	30
4.6 การทดสอบการกัดกร่อนของทองแดงชุบนิกเกิล ทองแดงชุบนิกเกิลผสมทอง และ ทองแดงชุบทอง.....	31
4.7 การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะทองแดงชุบทองปราศจากนิกเกิลเมื่ออบตัวอย่างที่ อุณหภูมิ 200 °C.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	44
เอกสารอ้างอิง	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าของ I_{corr} , E_{corr} ที่คำนวณได้ที่ pH ต่างๆ ของนิกเกิล.....	30
4.2 แสดงค่าของ I_{corr} , E_{corr} ที่คำนวณได้ที่ pH 5 ของนิกเกิลผสม $HAuCl_4$	31
4.3 แสดงค่าของ I_{corr} , E_{corr} ที่คำนวณได้ที่ pH 5.5 ของนิกเกิลผสม $HAuCl_4$	34
4.4 แสดงค่าของ I_{corr} , E_{corr} ที่คำนวณได้ที่ pH 6 ของนิกเกิลผสม $HAuCl_4$	35
4.5 แสดงปริมาณของธาตุที่วัดด้วยเครื่องมือ SEM-EDX ตัวอย่างปราศจาก $HAuCl_4$	36
4.6 แสดงปริมาณของธาตุที่วัดด้วยเครื่องมือ SEM-EDX ที่ $HAuCl_4$ ความเข้มข้น 0.102 g/L....	37
4.7 แสดงปริมาณของธาตุที่วัดด้วยเครื่องมือ SEM-EDX ที่ $HAuCl_4$ ความเข้มข้น 0.182 g/L....	38
4.8 แสดงค่าของ I_{corr} , E_{corr} ที่คำนวณได้ที่ pH 5 ของ $HAuCl_4$	40
4.9 แสดงค่าของ I_{corr} , E_{corr} ที่คำนวณได้ที่ pH 5.5 ของ $HAuCl_4$	41
4.10 แสดงค่าของ I_{corr} , E_{corr} ที่คำนวณได้ที่ pH 6 ของ $HAuCl_4$	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การชุบทองแดงโดยใช้น้ำยาชุบคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4).....	3
2.2 ตัวอย่างการชุบบนไมใช้กระแสไฟฟ้า.....	4
2.3 กระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน.....	4
2.4 ภาพประกอบอธิบายการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต.....	5
2.5 โครงสร้างของกรดเบนซีนซัลโฟนิคและซัลโฟเนตตามลำดับ.....	8
2.6 การกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาแน่นบริเวณขั้วไฟฟ้า.....	9
2.7 สูตรโครงสร้างของ SDS, CTAB, Saccharin ตามลำดับ.....	10
2.8 บริเวณการกระจายของกระแสไฟฟ้า.....	11
2.9 ส่วนประกอบของ SEM.....	18
2.10 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD).....	19
4.1 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบด้วยนิกเกิลระยะเวลา 6 นาที ที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ.....	26
4.2 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบด้วยนิกเกิลกระแสไฟฟ้า -15 mA ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	27
4.3 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบด้วยนิกเกิลผสม HAuCl_4 ความเข้มข้น 0.102 g/L ที่ 6 นาที.....	28
4.4 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบด้วยนิกเกิลผสม HAuCl_4 ความเข้มข้น 0.102 g/L ที่ -5mA 8 นาที.....	28
4.5 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบด้วยนิกเกิลผสม HAuCl_4 ความเข้มข้น 0.182 g/L ที่ -5mA 8 นาที.....	29
4.6 กราฟโพลาริเซชันของการชุบนิกเกิลที่ pH ต่างๆ.....	30
4.7 กราฟโพลาริเซชันของการชุบนิกเกิลและนิกเกิลผสม HAuCl_4 ที่ pH 5.....	31
4.8 ผลการวิเคราะห์ XRD ของนิกเกิลผสม HAuCl_4 0.102 g/L.....	32
4.9 ผลการวิเคราะห์ XRD ของนิกเกิลผสม HAuCl_4 0.182 g/L.....	32
4.10 กราฟโพลาริเซชันของการชุบนิกเกิลและนิกเกิลผสม HAuCl_4 ที่ pH 5.5.....	33
4.11 กราฟโพลาริเซชันของการชุบนิกเกิลและนิกเกิลผสม HAuCl_4 ที่ pH 6.....	35
4.12 กราฟ SEM – EDX แสดงธาตุในชั้นฟิล์มตัวอย่างที่ชุบนิกเกิล.....	36
4.13 กราฟ SEM – EDX แสดงธาตุในชั้นฟิล์มตัวอย่างที่ชุบนิกเกิลผสม HAuCl_4 0.102 g/L.....	37
4.14 กราฟ SEM – EDX แสดงธาตุในชั้นฟิล์มตัวอย่างที่ชุบนิกเกิลผสม HAuCl_4 0.182 g/L.....	38
4.15 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบด้วย HAuCl_4 0.146 g/L ที่ -5mA 8 นาที ก่อนอบและหลังอบ.....	39
4.16 กราฟโพลาริเซชันของการชุบ HAuCl_4 ที่ pH 5.....	40
4.17 กราฟโพลาริเซชันของการชุบ HAuCl_4 ที่ pH 5.5.....	41
4.18 กราฟโพลาริเซชันของการชุบ HAuCl_4 ที่ pH 6.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะเป็นการใช้โลหะชนิดที่ทนต่อการกัดกร่อนหรือมีความแข็งแรงมาชุบเคลือบลงบนผิวหน้าของวัสดุ โดยการชุบนิเกิลด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นวิธีที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ง่าย สภาวะที่ใช้ไม่รุนแรง และสามารถเพิ่มคุณสมบัติให้แก่ชิ้นงานได้ เช่น ด้านทานการสึกหรอของชิ้นงาน เพิ่มการป้องกันการกัดกร่อนได้กับสารละลายบางชนิด เพิ่มความสวย และความเงาให้กับชิ้นงานได้ โดยการชุบนิเกิลด้วยกระแสไฟฟ้าจะต้องมีการใช้ขั้ว 3 ขั้วคือ ขั้วแคโทด ขั้วแอโนด และขั้วอ้างอิง จุ่มลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งจะประกอบด้วยนิเกิลคลอไรด์และกรดบอริก (Wang et al. 2019) และทำการให้กระแสไฟฟ้าให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม มิเช่นนั้นอาจส่งผลเสียต่อ ชิ้นงานได้โดยตรง (ณปภัช. 2560) โลหะที่นิยมนำมาชุบ ด้วยนิเกิลคือโลหะทองแดง เพราะมีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่ายโดยทั่วไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lecadre et al. (2013) ได้นำโลหะทองแดงมาชุบด้วยไฟฟ้าแบบเพิ่มลดเป็นระดับ และใช้ละลายอิเล็กโทรไลต์นิเกิลผสมด้วยสารละลาย HAc โดยทำการศึกษาเฉพาะขนาดของโครงสร้างของโลหะผสม เมื่อใช้อัตราการชุบแตกต่างกันตั้งแต่ 20 วินาทีถึง 30 นาที แต่ไม่ได้ทำการทดสอบเรื่องพฤติกรรมการกัดกร่อนของชั้นฟิล์ม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าแบบคงที่ เพื่อเปรียบเทียบผลของพฤติกรรมการกัดกร่อนของชั้นฟิล์มนิเกิลกับชั้นฟิล์มนิเกิลผสมทองเมื่ออยู่ในค่า pH ที่ต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของชั้นฟิล์มนิเกิลบนโลหะทองแดง
- 2) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของชั้นฟิล์มนิเกิลผสมทองบนโลหะทองแดง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารละลายนิเกิลคลอไรด์เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยผสม NiCl_2 และกรดบอริกในน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากันโดยให้ความร้อน ที่ประมาณ $500\text{ }^\circ\text{C}$ ทำการศึกษากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโดยทำการศึกษากระแสไฟฟ้าแบบให้กระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Density)

3) เตรียมสารละลาย HAuCl_4 โดยนำแผ่นทองคำเปลว 100% มาละลายในสารละลายที่ผสมด้วย HCl และ HNO_3 ในอัตราส่วน 3:1 จะได้สารละลายสีเหลืองใส ใช้ในการเติมลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์นิกเกิลคลอไรด์ เพื่อศึกษาการชุบนิกเกิลเมื่อผสมทอง

4) ศึกษาปริมาณองค์ประกอบของชั้นผิวเคลือบโดยการใช้เครื่องมือ SEM-EDX

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
- 2) ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับการผสมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้สำหรับการชุบ
- 3) ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อารชุบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

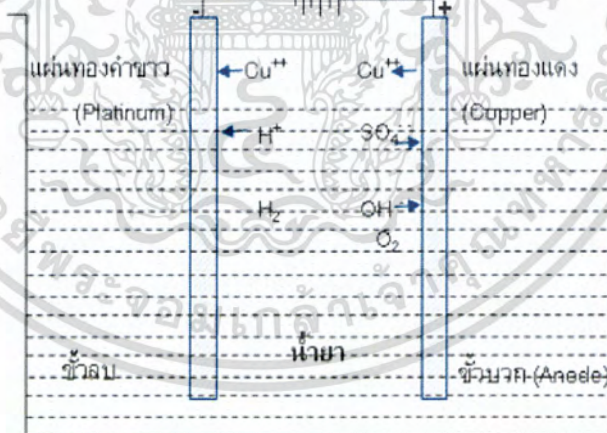
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การชุบโลหะคืออะไร

การชุบโลหะคือ การนำโลหะชนิดหนึ่งมาเคลือบบนพื้นผิวของโลหะอีกชนิดหนึ่ง เพื่อปรับปรุงให้พื้นผิวของชิ้นงานวัสดุให้มีความสวยงามและแข็งแรง ทนต่อการสึกกร่อน เสียดสีและความร้อน ซึ่งการชุบโลหะเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาถูกและสามารถนำวัสดุต่างๆชุบกับโลหะที่ต้องการเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการใช้งานให้มากขึ้น โดยกระบวนการชุบโลหะมีดังนี้

2.1.1 การชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electroplating)

คือกระบวนการชุบโลหะโดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังสารละลายเกลือของโลหะ (Electrolyte) ทำให้ไอออนบวกจับประจุไฟฟ้าลบที่ชิ้นงานวัสดุ ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วลบ (Cathode) จึงทำให้เกิดเป็นชั้นผิวบางของโลหะเคลือบบนผิวด้านนอกของชิ้นงานวัสดุ เช่น ชุบทอง ชุบเงิน ชุบทองแดง เป็นต้น

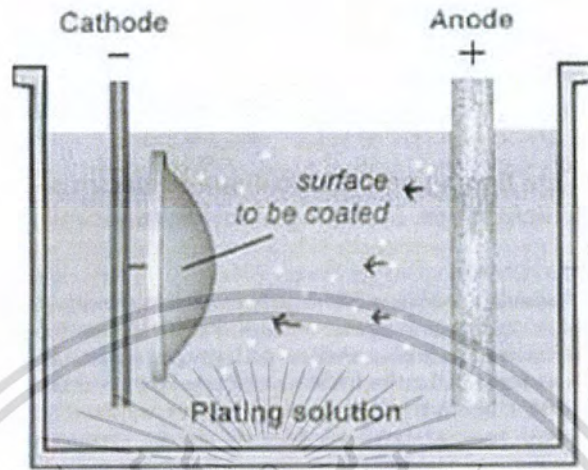


รูปที่ 2.1 การชุบทองแดงโดยใช้น้ำยาชุบคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การชุบโลหะโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless Plating)

คือกระบวนการจับตัวของโลหะที่ผิวของชิ้นงานวัสดุโดยเกิดจากปฏิกิริยาเคมี เช่น การชุบทองแดง และนิกเกิล แบบไม่ใช้กระแสไฟฟ้า ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed circuit boards, PCB)



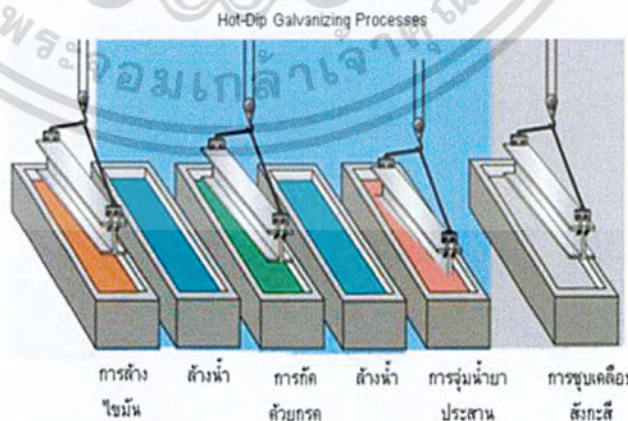
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการชุบแบบไม่ใช้กระแสไฟฟ้า

2.1.3 การชุบโลหะแบบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและไฟฟ้าเคมี (Chemical and electrochemical conversion)

คือกระบวนการชุบโลหะที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ผิวของชิ้นงานวัสดุ อาจใช้กระแสไฟฟ้าหรือไม่ใช้ก็ได้ เช่น การชุบโครเมียม การชุบฟอสเฟต Anodizing เป็นต้น

2.1.4 การชุบโลหะแบบอื่นๆ

1) การชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot dipped galvanizing) คือการนำเหล็กกล้ามาชุบสังกะสีด้วยวิธีแบบจุ่มร้อน



รูปที่ 2.3 กระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Surface hardening คือกระบวนการที่ทำให้ผิวด้านนอกของวัสดุมีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อวัสดุด้านใน เช่น Carburizing Nitriding เป็นต้น

3) Cladding เป็นการปรับปรุงผิวโลหะด้วยการยึดติดโลหะชนิดหนึ่งให้ปกคลุมเนื้อโลหะอีกชนิดหนึ่งด้วยแรงกล เช่น การผลิตเหรียญกษาปณ์ แผงอลูมิเนียมระดับอาคาร เป็นต้น

4) Vapor deposition คือการที่ทำให้สารกลายเป็นไอแล้วเกิดปฏิกิริยาที่ผิวของชิ้นงานวัสดุเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานให้ดีขึ้น

5) Vacuum coating เป็นการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยสภาวะสุญญากาศ เพื่อให้มีความบริสุทธิ์ไม่มีสารอื่นเจือปน เช่น แผงป้องกันผ้าที่กระจก พิล์มป้องกันไฟฟ้าสถิตที่จอภาพ เป็นต้น

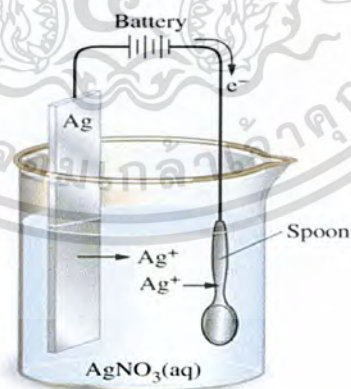
2.2 ทฤษฎีการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า

2.2.1 การชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า

การชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้าคือกระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยสารละลายของเกลือของโลหะหรือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แอนไอออนหรือไอออนลบจะเคลื่อนที่ผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไปยังขั้วบวกหรือขั้วแอโนดซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในทางกลับกันแคโทดไอออนหรือไอออนบวกจะเคลื่อนที่ผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไปยังขั้วลบหรือขั้วแคโทดซึ่งเกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยสามารถสังเกตการณ์เกิดปฏิกิริยาได้ที่บริเวณขั้วบวกและขั้วลบ เป็นไปตามสมการ



โดยที่ Ma^{2+} คือแคโทดไอออน



รูปที่ 2.4 ภาพประกอบอธิบายการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรด

ดังรูปภาพที่ 2.4 เมื่อทำการผ่านกระแสไฟฟ้าที่ลงไปในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด อนุภาคของซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ที่เป็นประจุบวกจะเคลื่อนที่ผ่านสารละลายไปยังขั้วลบซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วลบเอกสารนี้หรือขั้วแคโทด และอนุภาคของไนเตรดไอออน (NO_3^-) ที่เป็นประจุลบจะเคลื่อนที่ผ่านสารละลายไปเข้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังแผ่นเงินซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วบวกหรือขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยารีดักชันชั้นละลายแผ่นเงินได้เป็นซิลเวอร์ไนเตรด และละลายลงในสารละลายซึ่งผ่านกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการแยกของซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) และไนเตรดไอออน (NO_3^-) ด้วยสาเหตุนี้ทำให้ที่บริเวณผิวของขั้วลบจะมีโลหะซิลเวอร์เกาะอยู่ที่ผิวหน้า และในทางกลับกันแผ่นเงินจะเกิดการละลายไปเรื่อยๆตลอดระยะเวลาที่ให้กระแสไฟฟ้า

2.2.2 กฎของฟาราเดย์ที่เกี่ยวข้องกับการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ได้พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น โดยพบว่าว่าในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส ปริมาณของการเปลี่ยนแปลงทางเคมี จะมีความสัมพันธ์กับจำนวนของอิเล็กตรอนที่เกิดการถ่ายเทในปฏิกิริยาออกเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน ตัวอย่างเช่น การรีดักชันของไอออนของเงินและทองแดง โดยมีสมการของการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



จะสังเกตได้ว่าที่ปฏิกิริยารีดักชันของเงิน ซิลเวอร์ไอออนหนึ่งตัวได้รับอิเล็กตรอนหนึ่งตัวทำให้เกิดโลหะเงินหนึ่งโมลเคลือบอยู่บนขั้วแคโทด ดังนั้นเงินหนึ่งโมลสมมูลกับอิเล็กตรอนหนึ่งโมล และในปฏิกิริยารีดักชันของทองแดง คอปเปอร์ไอออนหนึ่งตัวได้รับอิเล็กตรอนสองตัวทำให้เกิดโลหะทองแดงหนึ่งโมลเคลือบอยู่ที่ขั้วแคโทด ดังนั้นทองแดงหนึ่งโมลสมมูลกับอิเล็กตรอนสองโมล นั่นคือสมมูลของทองแดงเท่ากับสองฟาราเดย์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปหนึ่งฟาราเดย์จะสามารถแยกโลหะเงินออกมาได้หนึ่งสมมูลหรือหนึ่งโมล (107.87 กรัม) และถ้าผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปสองฟาราเดย์จะสามารถแยกโลหะทองแดงออกมาได้สองสมมูลหรือหนึ่งโมล (63.54 กรัม)

เนื่องจากการหาปริมาณประจุไฟฟ้า (Q) ซึ่งมีหน่วยวัดค่าเป็นคูลอมบ์ จากสูตร

$$Q = It$$

โดยที่ Q : ปริมาณประจุไฟฟ้า (หน่วยคูลอมบ์ C)

I : กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์ (หน่วยแอมแปร์ A)

t : เวลาที่ในการทำปฏิกิริยา (หน่วยวินาที s)

นอกจากสมการนี้สามารถบอกได้ว่าหากต้องการที่จะทำให้ชั้นชุบหนาสามารถทำได้สองแบบคือ

1) ใช้กระแสไฟฟ้าน้อย แต่ใช้เวลาในการชุบมาก

2) ใช้กระแสไฟฟ้ามาก แต่ใช้เวลาในการชุบน้อย

และประมาณของกระแสไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์ จะเท่ากับ ประจุของอิเล็กตรอนหนึ่งตัว คูณกับจำนวนของอิเล็กตรอนหนึ่งโมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 9.648679 \times 10^4 \text{ C}$$

$$\approx 96,500 \text{ C}$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์มีค่าเท่ากับ 96,500 คูลอมบ์

2.2.3 ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

ถ้าผ่านกระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะได้ปริมาณสารที่เกิดขึ้นเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ แต่จากการทดลองส่วนใหญ่จะพบว่า ปริมาณสารที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้น ไม่ได้ใช้ในการแยกไอออนของสารที่ต้องการอย่างเดียว แต่ยังใช้ในการแยกไอออนของสารละลายอื่นอีกด้วย เช่น แยกไฮโดรเจนไอออน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องหาประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าในจำนวนที่ถูกต้อง โดยประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า เป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แยกไอออนที่ต้องการ เมื่อเทียบกับปริมาณกระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการแยกไอออนทั้งหมดของสารละลาย สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพไฟฟ้าได้ดังสมการ E_{q1}

$$\text{โดยที่ } Be = \frac{(100 \times q_1)}{E}$$

โดยที่ Be : ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า
 q_1 : ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกไอออนที่สนใจ
 E_{q1} : ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกไอออนทั้งหมด

ในการหาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้า สามารถทำได้ด้วยเปรียบเทียบน้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นหรือที่สลายไปของขั้วไฟฟ้า กับน้ำหนักที่คำนวณได้ตามกฎของฟาราเดย์ เช่น การชุบโลหะโครเมียม ถ้าใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์ผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ตามทฤษฎีควรมีค่าที่ขั้วแคโทด 8.667 กรัม แต่จากการทดลองพบว่าโลหะโครเมียมเกิดขึ้นเพียง 1.646 กรัม

$$\text{ดังนั้นประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าที่ขั้วแคโทด } Be = \frac{(100 \times 1.646)}{8.667}$$

$$= 19\%$$

2.2.4 สารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า

สารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้าโดยปกติจะเป็นการผสมสารเคมีตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยสารละลายแต่ละชนิดจะมีหน้าที่แตกต่างกันไป แบ่งออกได้ดังนี้

1) สารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะ (แคทไอออน)

สารที่เป็นกำเนิดโลหะเช่น ในกรณีของการชุบด้วยโลหะซิลเวอร์ สารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะที่ใช้คือ ซิลเวอร์ไนเตรด (AgNO_3)

2) สารที่ทำให้การนำไฟฟ้าดีขึ้น

สารที่ทำให้การนำไฟฟ้าดีขึ้นกล่าวคือเป็นสารที่ช่วยลดค่าความต้านทานไฟฟ้า ทำให้การผ่านกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความสะดวกมากขึ้น เป็นสารจำพวก กรดหรือด่างชนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกรดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปรงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สารควบคุม pH ต่างๆ

ค่า pH ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการชุบ การที่สารละลายมีค่า pH สูงหรือต่ำเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพของการชุบลดลง ดังนั้นผู้ทำการชุบควรศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมของสารละลายที่จะใช้ก่อน เช่น การชุบทองคำ pH ที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 3.5 - 4.8 ถ้าต้องการเพิ่มค่า pH ให้เติมโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือถ้าต้องการลดค่า pH ให้ทำการเติมกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)

4) สารที่ทำให้เงา

สำหรับการชุบที่ต้องการให้ชิ้นงานมีความเงางาม ต้องเติมสิ่งที่ทำให้เกิดความเงางาไปในสารอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนั้นอาจจะช่วยเพิ่มสมบัติอื่นๆ แก่ชิ้นงานได้อีกด้วย เช่น เพิ่มความแข็งแรงโดยสารที่ทำให้เงาเป็นสารจำพวกสารอินทรีย์ เช่น พันธะสอง ($C=C$) หมู่คาร์บอนิล ($C=O$) หมู่ไนไตรด์ ($C=N$) กรดเบนซีนซัลโฟนิก ซัลโฟเนต เป็นต้น



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของกรดเบนซีนซัลโฟนิกและซัลโฟเนตตามลำดับ

5) สารเพิ่มความชื้น

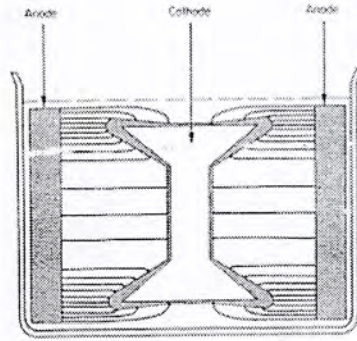
ในการชุบโลหะแบบเงา การเติมสารเพิ่มความชื้นเป็นการเติมเพื่อลดแรงตึงผิวของสารละลาย ทำให้ผิวของชิ้นงานที่ชุบไม่เกิดรอยต่าง โดยปริมาณการเติมสารเพิ่มความชื้นจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมของสารต่างๆ ที่เติมผสมลงไป ในสารละลาย การเติมสารเพิ่มความชื้นที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ระดับความหนาของการเกาะติดพื้นผิวของชิ้นงานไม่เท่ากัน และสูญเสียความเงา

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

1) การกระจายของกระแสไฟฟ้า

จากการค้นคว้าลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้าพบว่า การกระจายของกระแสไฟฟ้ามีความหนาแน่นที่สุดที่บริเวณขั้วไฟฟ้า และที่ระยะห่างจากขั้วไฟฟ้าจะมีกระแสไฟฟ้าเบาบางลง ดังนั้นบริเวณที่ชิ้นงานที่ใกล้กับขั้วไฟฟ้าจะมีการเกาะจับอย่างหนาแน่น ส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าเบาบาง ก็จะมีการเกาะจับอย่างเบาบาง ดังภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาแน่นบริเวณขั้วไฟฟ้า

2) ประสิทธิภาพของขั้วแคโทดและขั้วแอโนด

ในการชุบโลหะโดยทั่วไปถ้าประสิทธิภาพของขั้วแคโทดและขั้วแอโนดมีประสิทธิภาพเท่ากัน 100% กล่าวคือโลหะที่เกาะบริเวณขั้วแคโทดต้องมีจำนวนเท่ากับโลหะที่ละลายลงน้ำยาชุบจากขั้วแอโนด แต่ในความเป็นจริงน้ำยาชุบไม่ได้ลักษณะเป็นเช่นนั้น น้ำยาชุบมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วมาก เป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพของขั้วทั้งสองไม่เท่ากันตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้ น้ำยาชุบจึงจะต้องมีการเติมสารเคมีหลายชนิด โดยสารเคมีแต่ละชนิดทำหน้าที่แตกต่างกัน เช่น สารเคมีที่ทำหน้าที่ช่วยในการสื่อไฟฟ้าให้ขั้วแอโนดละลายอย่างสม่ำเสมอ, สารเคมีที่ทำหน้าที่ควบคุมค่า pH ทั้งนี้จุดประสงค์คือทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของขั้วแคโทดและขั้วแอโนดมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด

3) ลักษณะของขั้วแอโนด

โดยทั่วไปการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า นิยมใช้ขั้วแอโนดที่สามารถละลายได้ เพื่อให้ปริมาณไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีอยู่เท่าเดิม ลักษณะตามทฤษฎีของขั้วแอโนดที่ละลายน้ำได้ควรเป็นดังนี้

- มีความบริสุทธิ์สูง
- มีประสิทธิภาพของขั้วแอโนดสูง
- มีการละลายออกมาอย่างสม่ำเสมอ
- มีการเกิดตะกอนสิ่งสกปรกน้อยที่สุด

4) อุณหภูมิที่ใช้

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการชุบ โดยการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป อาจช่วยทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง แต่ก็ส่งผลให้ไอออนเคลื่อนที่เร็วขึ้นทำให้ความต่างศักย์ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ลดลง และอาจมีฟองเกิดขึ้น

5) ค่า pH

ค่า pH ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการชุบ กล่าวคือเมื่อค่า pH ของสารละลายมีค่าเป็นกรด (ค่า pH อยู่ในช่วง 0-7) ประสิทธิภาพของชั้นงานที่ขั้วแคโทดจะมีค่าลดต่ำลง

และในทางตรงกันข้ามเมื่อค่า pH ของสารละลายเป็นด่าง (ค่า pH อยู่ในช่วง 7-14) ประสิทธิภาพของตัวล่อ (ที่ขั้วแอโนด) ลดต่ำลง ด้วยเหตุนี้การควบคุมค่า pH จึงมีความสำคัญต่อการชุบ ค่า pH ของสารละลายไม่ควรมีการผันแปร ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบเข

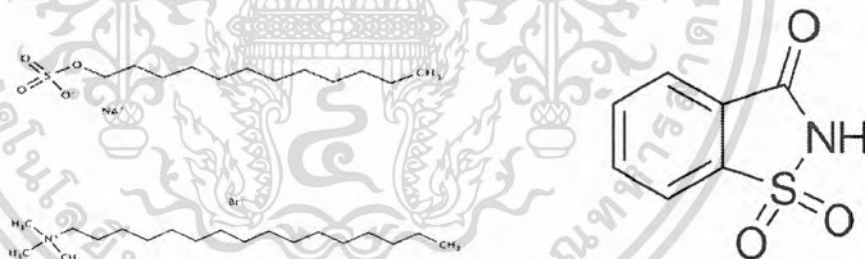
จะมีค่าที่เหมาะสมอยู่ค่าหนึ่ง ดังนั้นควรควบคุมค่า pH ให้อยู่ในขอบเขต โดยค่า pH ที่เหมาะสมของสารละลายแต่ละชนิดสามารถดูได้จากคู่มือการใช้งานของสารละลายนั้น

6) ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการชุบแต่ละชนิดนั้นใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแตกต่างกัน และชิ้นงานที่ใช้ในการชุบ(ที่ขั้วแคโทด) พื้นที่ของชิ้นงานแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาพื้นที่ของชิ้นงานเพื่อจะได้ทราบว่า จะต้องป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปเท่าใด โดยปกติมักใช้ในหน่วยมิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร (mA/cm^2) ซึ่งการให้กระแสไฟฟ้าสามารถทำได้ทั้งแบบคงที่ (constant-current electroplating) คือการให้คงที่ไปตลอดการชุบ และแบบไม่คงที่ (Pulse electroplating) คือการให้กระแสไฟฟ้าคงที่ในระยะเวลาหนึ่งและลดกระแสไฟฟ้าลงอย่างรวดเร็ว ในระยะเวลาหนึ่งจากนั้นทำการเพิ่มกระแสไฟฟ้าและทำซ้ำไปเรื่อยๆ

2.2.6 การเติมสารเติมแต่งลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์

จากการศึกษาการเติมสารเติมแต่งลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการชุบให้สูงขึ้น แต่บางชนิดก็อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพของการชุบลดลง เช่น การเติม SDS (Sodium dodecylsulfate) จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการผลิตโลหะไอออน(แคโทดไอออน)ลดลง เนื่องจาก SDS ไปเคลือบปิดผิวขั้วแอโนดไว้ การเติม CTAB (hexadecyl trimethyl ammonium bromide) หรือ Saccharin จะส่งผลให้ความแข็งแรงของชั้นเคลือบเพิ่มขึ้น และช่วยลดขนาดของอนุภาคให้เล็กลง การเรียงของอนุภาคเป็นระเบียบ



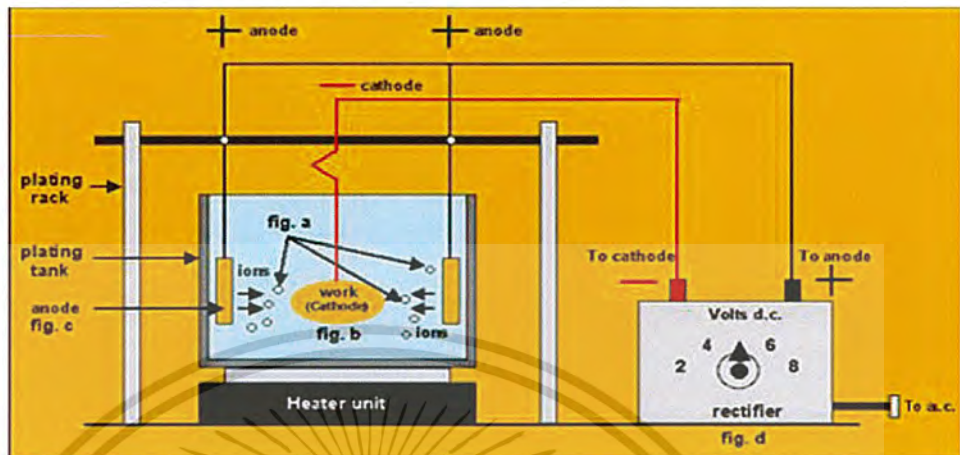
รูปที่ 2.7 แสดงสูตรโครงสร้างของ SDS, CTAB, Saccharin ตามลำดับ

2.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของชิ้นงานและกำลังการเคลือบ

โดยปกติรูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการจะชุบนั้นมักจะมีลักษณะแตกต่างกันไป เช่น ทรงกลม แผ่น โค้งงอ เป็นต้น ซึ่งรูปร่างต่างๆเหล่านี้ทำให้มีผิวเคลือบที่มีความสม่ำเสมอทั่วกันทั้งชิ้นงานนั้น เป็นไปได้ยาก จากการกระจายของกระแสไฟฟ้า ซึ่งพบว่า การกระจายของกระแสไฟฟ้ามีความหนาแน่นที่สุดที่บริเวณขั้วไฟฟ้า และที่ระยะห่างจากขั้วไฟฟ้าจะมีกระแสไฟฟ้าเบาบางลง ดังนั้น บริเวณที่ชิ้นงานที่ใกล้กับขั้วไฟฟ้าจะมีการเกาะจับอย่างหนาแน่น ส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าเบาบาง ก็จะมีการเกาะจับอย่างเบาบาง สาเหตุเกิดจากการเคลื่อนที่ของโลหะไอออนไปยังขั้วแคโทดหรือขั้วลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติหากนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ได้รับอนุญาต
 นั้นเอง และถ้าบริเวณใดที่มีลักษณะเป็นมุมแหลม จะทำให้การกระจายของกระแสไฟฟ้ามีมากขึ้น
 ไม่เท่ากันทุกจุด ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุแต่สิ่งเหล่านี้และต้องอย่างองถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากการกระจายของกระแสไฟฟ้าก็คือการเคลื่อนที่ของโลหะไอออนไปยังขั้วแคโทด ดังนั้นจุดใดหรือบริเวณใดที่อยู่ใกล้กับขั้วแอโนดหรือมีลักษณะเป็นมุมแหลมจะมีการเกาะเคลือบผิวของโลหะบริเวณนั้นมากกว่าบริเวณอื่นๆ ทำให้ผิวที่เคลือบบนชิ้นงานส่วนนั้นหนากว่าบริเวณอื่น



รูปที่ 2.8 แสดงบริเวณการกระจายของกระแสไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่า บริเวณของส่วนที่อยู่ใกล้ขั้วแอโนดหรือขั้วบวกจะมีการกระจายของกระแสไฟฟ้าหนาแน่นมากที่สุด และเกิดการเคลือบผิวที่หนามากกว่าบริเวณอื่น สามารถป้องกันการเกิดลักษณะนี้ได้โดย นำแผ่นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์มาวางกันบริเวณที่อยู่ใกล้กันเพื่อลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้เท่ากันทั่วทุกบริเวณ อาจเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น แผ่นอะคริลิก พีวีซี เทฟลอน เป็นต้น แต่ในกรณีที่มีการเกาะของชั้นเคลือบไม่สม่ำเสมอเนื่องมาจากประสิทธิภาพของน้ำยาเคลือบไม่ดี อาจต้องแก้ไขด้วยการออกแบบขั้วแอโนดหรือขั้วบวกให้มีความเหมาะสม คือ ออกแบบให้การกระจายของขั้วบวกและขั้วลบเท่ากันและทั่วถึงในส่วนที่ต้องการให้ถูกเคลือบ โดยกำลังการเคลือบหมายถึงความสามารถในการกระจายของโลหะไอออนหรือไอออนบวกไปเคลือบบนผิวของชิ้นงานได้ทั่วถึงทั้งชิ้นงานมากหรือน้อยเพียงใด หากใช้น้ำยาที่ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานจะส่งผลให้การชุบมีลักษณะกลวง โค้งงอ และส่วนบริเวณที่อยู่ลึกจะไม่สามารถทำการเคลือบผิวได้

2.3 การชุบทอง

ทองเป็นโลหะมีราคาที่น่ามาใช้ประโยชน์ได้มากในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น นำมาชุบบนส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์, แผ่นวงจร (Printed Circuit board) รวมไปถึงเครื่องประดับ เพราะทองมีคุณสมบัติในการต้านทานการเกิดออกไซด์ได้ดีอีกทั้งยังมีสีสวยงาม ทองสามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริกต่อกรดไนตริก 3:1 ส่วน ซึ่งส่วนผสมนี้มีชื่อเรียกว่า Aqua regia ต่อมาได้มีการปรับปรุงน้ำยาในการชุบทองเพื่อให้ความคงทนมากขึ้นจึงได้มีการเติมโลหะชนิดอื่นเข้าไป

ด้วยเพื่อให้อยู่ในรูปของ Gold Alloy านเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การชุบรองพื้น

ก่อนการชุบชิ้นงานจะต้องมีการพิจารณาก่อนว่าชิ้นงานที่ใช้ชิ้นเป็นโลหะชนิดใดเพราะในการชุบทองนั้นมีหลายขั้นตอน ถ้าชิ้นงานที่ใช้เป็นทองแท้ไม่จำเป็นต้องชุบรองพื้นด้วยโลหะอื่นก่อนแต่ถ้าเป็นโลหะผสมจะต้องมีการชุบรองพื้นก่อนแล้วค่อยชุบทอง เช่น ชิ้นงานเป็นโลหะทองเหลืองหรือทองแดง ต้องชุบรองพื้นด้วยนิกเกิลแล้วจึงชุบทอง

2.3.2 ชนิดของน้ำยาชุบทอง

1) น้ำยาชุบทองชนิดเป็นด่าง (Alkaline Cyanide gold) สามารถชุบได้ทั้งโลหะทองบริสุทธิ์และโลหะทองผสม

2) น้ำยาชุบทองชนิดเป็นกลาง (Neutral gold) น้ำยาชนิดนี้ง่ายต่อการบำรุงรักษาและปลอดภัยกับผู้ใช้งานเนื่องจากไม่มีไซยาไนด์ มีค่า pH อยู่ที่ 6-7

3) น้ำยาชุบทองชนิดเป็นกรด (Acid gold) น้ำยาชุบมี pH ประมาณ 4.5 สามารถชุบให้เป็นทองผสม, ทองบริสุทธิ์หรือแบบสไตรด์ได้ซึ่งน้ำยาชนิดนี้สามารถชุบให้มีความหนาได้โดยไม่มีการเปลี่ยนสีของทองที่ชุบ

4) น้ำยาชุบทองชนิดไม่มีไซยาไนด์ (Non-Cyanide gold) น้ำยาชุบประเภทของซัลไฟด์ ซึ่งนิยมน้อยมากเพราะไม่ค่อยทนทาน มีค่า pH อยู่ที่ประมาณ 9.5 อุณหภูมิที่ใช้ 50-60 องศาเซลเซียส

2.3.3 ถังชุบทอง

เป็นแก้วทนความร้อนหรือทำด้วยโพลีโพรพิลีน โพลีเอทิลีน สแตนเลส พีวีซี ซึ่งจะต้องมีเครื่องกรองน้ำยาเพื่อให้ น้ำยาสะอาดอยู่เสมอ

2.3.4 ขั้วแอโนดที่ใช้ในการชุบทอง (ตัวล่อ)

1) สแตนเลส (Stainless) การชุบทองโดยใช้ตัวล่อเป็นสแตนเลส เหมาะสำหรับการชุบแบบใช้น้ำยาชนิดเป็นด่างซึ่งสามารถใช้ถึงสแตนเลสเป็นถังชุบได้โดยต่อขั้วไฟฟ้าขั้วบวกเข้ากับถังให้เป็นตัวล่อ

2) ทอง เหมาะสำหรับใช้เป็นตัวล่อกับน้ำยาชุบชนิดเป็นด่าง

3) กราไฟท์ สามารถใช้เป็นตัวล่อในการชุบได้เช่นกันแต่ต้องใส่ในถุงประเภท Cotton หรือถุงที่ทำจากโพลีโพรพิลีน เพื่อไม่ให้สิ่งสกปรกในกราไฟท์ปนลงในน้ำยาชุบ

4) แพลทตินัม -ไทเทเนียม เหมาะสำหรับใช้เป็นขั้วแอโนดในน้ำยาชุบทองแบบกรดและเป็นขั้วแอโนดในการชุบโรเดียม

2.3.5 ราวสำหรับใช้แขวนขั้วแอโนด

ควรเป็นโลหะไทเทเนียมหรือสแตนเลส เพราะถ้าใช้โลหะอื่นอย่างเช่นทองแดงจะต้องทำการชุบด้วยนิกเกิลเสียก่อนเพราะถ้าไม่ทำการชุบด้วยนิกเกิลอาจทำให้ทองแดงละลายปะปนไปในน้ำยาชุบทอง ทำให้น้ำยาชุบทองเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 ค่ากะรัต

ค่ากะรัตเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้บอกน้ำหนักของเครื่องประดับ แต่ในการชุบทองจะหมายถึงคุณภาพของทองที่มีโลหะอื่นผสมอยู่ด้วยซึ่งกำหนดให้ทอง 24 K กับทอง 100%

$$1K = 4.1667\%$$

$$9K = 4.1667 \times 9 = 37.5\%$$

$$18K = 4.1667 \times 18 = 75\%$$

$$23K = 4.1667 \times 23 = 95.83\%$$

$$24K = 4.1667 \times 24 = 100\%$$

2.3.7 ความหนาในการชุบทอง

1) การชุบทองให้บางหรือชุบอย่างรวดเร็วความหนาของทองที่ได้ประมาณ 0.02 - 0.2 ไมครอน

2) การชุบทองในงานด้านวิศวกรรมหรือชุบเพื่อความสวยงามตามมาตรฐานความหนาจะอยู่ที่ประมาณ 2.5 - 5 ไมครอน

3) การชุบทองที่ใช้กับเครื่องประดับหรือของใช้งานประจำจะมีความหนาในการชุบอยู่ที่ 5 - 7.5 ไมครอน

2.4 การชุบนิกเกิล (Nickel plating)

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีลักษณะสีขาวคล้ายกับเงินมักถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการชุบอย่างแพร่หลาย เพราะโลหะนิกเกิลสามารถป้องกันเนื้อโลหะอื่นไม่ให้เกิดการกัดกร่อนหรือเป็นรอยขีดข่วน และยังช่วยให้ชิ้นงานที่ชุบมีความสวยงามมากยิ่งขึ้นโดยปกติชิ้นงานที่นำไปชุบนิกเกิลจะต้องมีการชุบโครเมียมบางๆทับอีกชั้นหนึ่งเพื่อให้ง่ายต่อการทำการทำความสะอาดและเพิ่มความคงทนของชิ้นงาน หรือจะชุบทับด้วยเงินหรือทองก็ได้ขึ้นกับความต้องการและในการชุบนิกเกิลนั้นสามารถใส่สารเติมแต่งเพื่อช่วยให้เงาขึ้นได้อีกด้วย

2.4.1 หลักการชุบนิกเกิลด้วยไฟฟ้า

การชุบนิกเกิลด้วยไฟฟ้าจะใช้โลหะนิกเกิลเป็นสารละลายให้ไปเกาะที่ขั้วแคโทดโดยกระแสไฟฟ้าซึ่งกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปยังขั้วแคโทด ส่วนขั้วแอโนดจะกลายเป็นตัวแทนที่นิกเกิลไอออนซีไปเกาะบนผิวชิ้นงานในรูปโลหะ

2.4.2 ค่า pH และ Buffering

น้ำเมื่อเกิดการแตกตัวออกจะเกิดเป็นไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนแต่ในการที่น้ำจะแตกตัวเป็นไอออนนั้นมีน้อยมาก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำ 1 ลิตรจะมีไอออน เพียง 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรัมไอออนในสารละลายทุกชนิด ซึ่งผลของความเข้มข้นนี้เรียกว่า “ค่าสลายตัวคงที่” จะมีค่าเท่ากันเสมอที่ 10^{-14}

หากความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออนจะลดลง และในทางตรงกันข้าม หากความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนลดลง ความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออนจะเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าในสารละลายมีไฮโดรเจนไอออนมากเกินไปจะทำให้สารละลายนั้นมีฤทธิ์เป็นกรดหรือในทางตรงกันข้ามถ้ามีไฮดรอกซิลไอออนในสารละลายมากเกินไปจะทำให้สารละลายมีฤทธิ์เป็นด่าง แต่ถ้าความเข้มข้นของทั้งสองไอออนนั้นสมดุลกันจะทำให้สารละลายนั้นมีฤทธิ์เป็นกลาง และเพื่อความสะดวกในการนำค่ามาใช้จึงนำค่าตรรกะของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนนำมาเอาเครื่องหมายลบออกและเรียกแทนค่านี้ว่า pH

ดังนั้นค่า pH น้อยกว่า 7 สารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรด และค่า pH มากกว่า 7 สารละลายจะมีฤทธิ์เป็นด่าง ซึ่งปกติแล้วสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการชุบนิเกิลนั้นมีค่า pH ระหว่าง 3-5 ซึ่งมีสภาพเป็นกรด แต่ถ้าในสารละลายที่ใช้มีความเป็นกรดที่มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของขั้วปลาลดต่ำลงและในทางตรงกันข้ามถ้าสารละลายมีความเป็นด่างมากเกินไปจะทำให้มีการเคลือบผิวที่ขั้วบวกทำให้ขั้วบวกเสื่อมสภาพไม่ทำปฏิกิริยาเนื่องจากมีการสลายตัวของไฮดรอกซิลไอออนและถ้าในสารละลายที่ใช้มีสภาพเป็นกรดที่ไม่เพียงพออาจส่งผลให้นิกเกิลเกาะที่ขั้วลบน้อยลง ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุม pH ในการชุบนิเกิลโดยใช้กรดบอริกผสมลงไปในการละลายอิเล็กโทรไลต์เพื่อควบคุม pH ให้ง่ายขึ้นซึ่งกรดบอริกจะทำหน้าที่เปรียบเสมือนฟองน้ำคอยดูดซับไฮโดรเจนไอออนที่มากเกินไปและเปลี่ยนตัวไฮโดรเจนไอออนให้แปรสภาพเป็นกรดบอริกที่ไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนไฮดรอกซิลไอออนให้เป็นบอเรทไอออนและน้ำ และกรดบอริกยังช่วยให้ค่า pH ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไป

2.4.3 การปรับค่า pH

หากในน้ำยาที่ใช้ชุบมี pH ที่สูงเกินกว่ากำหนด สามารถเติมกรดซัลฟิวริกเพื่อปรับ pH ให้อ่างชุบได้ แล้วทดสอบด้วย pH meter หรือ Universal indicator ว่าได้ pH ตามต้องการหรือไม่ แต่ในกรณีที่ pH ต่ำเกินไป สามารถเติมนิกเกิลคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือนิกเกิลไฮดรอกไซด์ กล่าวคือน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % ผสมกับน้ำยาชุบนิเกิล 1:1 ค่อยๆเติมจนกว่า pH จะสูงขึ้นตามต้องการ

2.4.4 ประเภทของน้ำยาชุบนิเกิล

1) นิกเกิลด้าน (Dull Nickel) ในปัจจุบันมีการใช้น้ำยาประเภทนี้น้อย

2) นิกเกิลกึ่งเงา (Semi-bright Nickel) น้ำยาประเภทนี้มักใช้ในการชุบรองพื้นก่อนชุบนิกเกิลเงา ซึ่งมีความเหนียว ไม่เปราะง่าย เคลือบบนชิ้นงานดีกว่านิกเกิลเงา เนื่องจากสารเติมแต่งที่ใส่ในน้ำยาทำให้เกิดความเหนียวแน่นบนผิวนิกเกิล

3) นิกเกิลเงา (Bright Nickel) น้ำยาประเภทนี้เป็นที่นิยมมากในอุตสาหกรรมเพราะใช้ในการชุบรองพื้นก่อนที่จะชุบโครเมียม ชุบทองเหลือง ชุบเงิน หรือชุบทอง แต่น้ำยาชนิดนี้มีการเตรียมและการควบคุมที่ยุ้งยากพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เสียประโยชน์แก่ผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) นิกเกิลดำ (Black Nickel) น้ำยาประเภทนี้นิยมใช้กับงานรมดำไม่ต้องการให้สะท้อนแสง ก่อนชุบจะต้องชุบด้วยนิกเกิลเงา นิกเกิลด้าน ทองแดงหรือสังกะสีอย่างใดอย่างหนึ่งก่อนเพื่อให้ได้สีที่ดำสวยกว่าการชุบโดยตรงและหลังจากการชุบควรขัดตกแต่งและทาแลคเกอร์

5) นิกเกิลซาติน (Satin Nickel) น้ำยาประเภทนี้เมื่อชุบจะมีสีเหลือบเหมือนผิวไข่มุก มักใช้ชุบกับเครื่องใช้ภายในบ้านเช่น มือจับเฟอร์นิเจอร์ ชิ้นส่วนของโทรทัศน์ เป็นต้น เพื่อไม่ให้มีเงาสะท้อนแสง มีวิธีชุบเหมือนนิกเกิลเงาแล้วชุบทับด้วยโครเมียมเป็นชั้นตอนสุดท้าย

2.4.5 ตัวล่อนิกเกิล (Nickel Anode)

นอกจากน้ำยาที่ใช้ชุบจะประกอบด้วยเกลือนิกเกิลแล้ว ตัวล่อจะต้องเป็นโลหะนิกเกิลด้วยเช่นกัน ซึ่งโลหะนิกเกิลนั้นจะต้องผ่านการถลุงมาจากโรงงานซึ่งมีหลากหลายลักษณะเช่น นิกเกิลแผ่น นิกเกิล Oval anode นิกเกิลก้อนสี่เหลี่ยม นิกเกิล Round และ นิกเกิล pellets เป็นต้น

2.4.6 วิธีการกำจัดทองแดงในถังนิกเกิล

บางครั้งในการที่ล้างชิ้นงานไม่สะอาดอาจส่งผลให้น้ำยาทองแดงปนเปื้อนลงไปกับนิกเกิลหรือลวดทองแดงที่ผูกกับชิ้นงานตกลงไป ซึ่งเมื่อนำไปชุบชิ้นงานอาจทำให้ชิ้นงานมีสีดำหรือทำให้ชิ้นงานได้รับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าน้อยลง วิธีที่จะกำจัดสิ่งเหล่านี้คือวิธีการทำดัมมี่ (Dummy) คือการเอาแผ่นเหล็กนำมาตัดเป็นเป็นลอนลูกฟูก แล้วนำไปแช่ในถังนิกเกิลโดยใช้กระแสไฟฟ้า 10-20 แอมแปร์/ตารางฟุต ประมาณ 5 นาที จากนั้นลดกระแสไฟฟ้าลงเหลือ 1-2 แอมแปร์/ตารางฟุตและขณะที่ต้องให้ความร้อนแก่น้ำยาและกวนน้ำยาตลอดเวลา เมื่อทำไประยะเวลาหนึ่งให้นำแผ่นเหล็กขึ้นมาขัดเพื่อเอาทองแดงที่ติดออกไปแล้วนำลงไปแช่น้ำใหม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งสังเกตว่าไม่มีสีดำติดมากับแผ่นเหล็กอีกแล้วจึงนำแผ่นเหล็กออก

2.4.7 การทำดัมมี่ (Dummy)

คือการเอาแผ่นเหล็กนำมาตัดเป็นแผ่นลอนลูกฟูก แล้วนำไปแช่ในถังนิกเกิลโดยใช้ 5 กระแสไฟฟ้า 10-20 แอมแปร์/ตารางฟุต ประมาณ 5 นาที จากนั้นลดกระแสไฟฟ้าลงเหลือ 1-2 แอมแปร์/ตารางฟุตและขณะที่ต้องให้ความร้อนแก่น้ำยาและกวนน้ำยาตลอดเวลา เมื่อทำไประยะเวลาหนึ่งให้นำแผ่นเหล็กขึ้นมาขัดเพื่อเอาทองแดงที่ติดออกไปแล้วนำลงไปแช่น้ำใหม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งสังเกตว่าไม่มีสีดำติดมากับแผ่นเหล็กอีกแล้วจึงนำแผ่นเหล็กออก

2.4.8 การชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless Nickel Plating)

นอกจากจะชุบนิกเกิลแบบใช้กระแสไฟฟ้าแล้วยังมีแบบไม่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าได้อีกด้วย โดยใช้แค่ความร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นนำชิ้นงานที่ทำความสะอาดแล้วมาต้มในน้ำยาให้นิกเกิลเกาะบนผิวชิ้นงาน ซึ่งนิกเกิลมีความแข็งอยู่ที่ประมาณ 450-500 HV. จึงต้องนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 250-400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ถึง 10 ชั่วโมง เพื่อให้ความแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 1,100 HV. งานส่วนใหญ่ที่ใช้การชุบประเภทนี้ได้แก่ เฟือง แบร็งค์ เพลาข้อเหวี่ยง ก้านไฮดรอลิก ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ส่วนความหนาที่ได้ปกติอยู่ที่ประมาณ 12 ไมครอน (0.00005 นิ้ว) และสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุบให้หนาได้ถึง 200 ไมครอน (0.008 นิ้ว) ถ้าน้ำยาที่ใช้อยู่ในสภาพดีจะให้ความหนาที่เท่ากันตลอดทั้งชิ้นงาน

2.4.9 การชุบนิกเกิลแบบหนา (Heavy Electrodeposition of Nickel)

การชุบประเภทนี้เป็นการชุบพอกชิ้นงานที่สึกหรอให้กลับมามีความหนาเท่าเดิม ซึ่งใช้ในด้านวิศวกรรม เช่น ชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ใช้จนสึกหรอ นำมาชุบด้วยนิกเกิลให้หนาแล้วนำไปขัดหรือเจียรระไนให้ได้ขนาดตามต้องการ

2.5 การทำความสะอาดผิวชิ้นงานก่อนการชุบ

การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนชุบเป็นสิ่งสำคัญมาก หากชิ้นงานไม่มีการทำความสะอาดอย่างถูกวิธีแล้ว อาจมีผลให้ชิ้นงานที่ชุบออกมาไม่ได้ผลตามที่ต้องการ เพราะประสิทธิภาพของงานชุบนั้นขึ้นกับการเกาะติดของเนื้อโลหะกับชิ้นงาน หากผิวชิ้นงานมีความสกปรกอาจทำให้ผิวงานที่ชุบออกมาหลุดลอกง่ายหรือพองตัว วิธีการทำความสะอาดผิวที่เหมาะสมกับการชุบคือการกำจัดไขมันและรอยเปื้อนอื่น ๆ ที่ได้มาจากการผลิต เช่น การกลึง บีม เครื่องอัด หรือการขัดผิวชิ้นงาน ซึ่งการทำความสะอาดผิวชิ้นงานนั้นมีวิธีหลายอย่างด้วยกันเช่น

- 1) การกำจัดไขมันหรือการทำสะอาดขั้นแรก (Degreasing)
- 2) การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มล้างให้เป็นเงา (Pickling and Dipping)
- 3) การล้างด้วยด่างร้อน (Soak clean)
- 4) การล้างด้วยไฟฟ้า (Electro-clean)
- 5) การทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic clean)

2.5.1 การทำความสะอาดด้วยไอระเหยไตรคลอโรเอทิลีน (Vapour Degreasing)

การทำความสะอาดประเภทนี้เป็นการกำจัดไขมันด้วยการจุ่มชิ้นงานลงในถังไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) ซึ่งถังนี้เป็นถังพิเศษมีเครื่องทำความร้อนอยู่ใต้ถังและมีท่อทำความเย็นอยู่บริเวณขอบปากถัง เวลาใช้งานต้องให้ความร้อนที่ 86°C เมื่อร้อนพอถึงจุดเดือดจะระเหยเป็นไอกระทบกับความเย็นบริเวณขอบปากถังจะกลั่นตัวลงกลับสู่ถัง เมื่อจุ่มชิ้นงานลงไปไอระเหยจะถูกบนผิวชิ้นงานและทำการชะล้างไขมันกลับลงสู่ถัง สำหรับชิ้นงานที่มียาขัดติดแน่นอยู่ให้จุ่มลงในสารระเหยก่อนเพื่อกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกจำนวนมากออกแล้วจึงนำชิ้นงานขึ้นถูกกับไอระเหยเพื่อทำความสะอาดขั้นสุดท้ายและนำไปล้างในขั้นตอนต่อไป หากใช้กับชิ้นงานเล็กๆ ต้องนำชิ้นงานใส่ภาชนะโลหะแล้วลงแช่จากนั้นใช้ผ้าสะอาดเช็ด ชิ้นงานก็จะสะอาด

2.5.2 การล้างด้วยด่างร้อน (Soak clean)

การล้างประเภทนี้เป็นการล้างขั้นตอนแรกหลังจากนำชิ้นงานไปขัดเตรียมผิวแล้ว เพื่อให้ชิ้นงานสะอาดหมดจดก่อนล้างขั้นตอนถัดไป ถึงที่ใช้อาจทำด้วยเหล็กหรือสแตนเลสโดยภายในติดตั้ง

เครื่องให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า และมีบ่าให้พองและสิ่งสกปรกไหลออกเพื่อให้เมื่อนำชิ้นงานออกจากถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ข้อมูลล่าสุดใหม่มีใช้ประโยชน์ด้านการค้า ฟองและสิ่งสกปรกที่ลอยอยู่บนผิวน้ำยาจะไม่เกาะผิวชิ้นงาน น้ำยาประเภทนี้มีทั้งแบบสำเร็จรูปและไม่ผ่านการเติมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เติมเปลี่ยนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมเอง หากผสมเองจะต้องผสมให้ได้อัตราส่วนตามที่กำหนดไว้หรือใช้ตัวกลางโลหะแบบสำเร็จรูป ซึ่งมีจำหน่ายที่ร้านค้าขายอุปกรณ์โลหะทั่วไป

น้ำยาล้างโลหะ

โซเดียมไฮดรอกไซด์	15	กรัม/ลิตร
ไตรโซเดียมฟอสเฟต	25	กรัม/ลิตร
โซเดียมคาร์บอเนต	25	กรัม/ลิตร
โซเดียมเมตาซิลิเกต	8	กรัม/ลิตร

อุณหภูมิ 60-70 °C

2.5.3 การล้างด้วยไฟฟ้า (Electro Clean)

น้ำที่ร้อนทุกชนิดจะเกิดปฏิกิริยาทำความสะอาดกับโลหะทุกชนิด เวลาที่ใช้ทำความสะอาดนั้นขึ้นอยู่กับส่วนผสมของน้ำยากับชนิดน้ำมันบนผิวชิ้นงาน ดังนั้นการทำความสะอาดด้วยไฟฟ้าจึงทำได้รวดเร็วกว่าการจุ่มล้างบางชนิด การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้าจะปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านลงไปใต้น้ำยาที่ร้อนประมาณ 60-90 °C พร้อมชิ้นงานที่ล้างได้ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ การทำความสะอาดประเภทนี้ไม่เหมาะกับการทำความสะอาดจำนวนมากๆ การล้างด้วยไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1) การล้างโดยชิ้นงานเป็นขั้วบวก (Anodic Clean) ล้างโดยให้ชิ้นงานเป็นขั้วบวกใช้เฉพาะงานเหล็กเท่านั้น

2) การล้างโดยชิ้นงานเป็นขั้วลบ (Cathodic Clean) ใช้กับงานที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น ทองเหลือง สังกะสีหล่อ ทองแดง เป็นต้น

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในงานประเภทนี้โดยทั่วไปใช้ประมาณ 5-10 แอมป์แอมป์/เดซิเมตร² เวลา 1-2 นาที ส่วนแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 4-6 โวลต์ การทำความสะอาดชิ้นงานที่เป็นขั้วบวกหากใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงเกินไปอาจทำให้ผิวของชิ้นงานเปลี่ยนสีไปเพราะเกิดการรวมตัวกับออกซิเจน จึงแนะนำว่าหากเกิดการรวมตัวขึ้นให้ลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าลง

2.5.4 การทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic Clean)

เป็นการทำความสะอาดด้วยระบบความถี่การสั่นของคลื่น การทำความสะอาดประเภทนี้ส่วนมากใช้กับงานที่มีขนาดเล็กๆ เช่น ชิ้นส่วนนาฬิกา แวนตา เป็นต้น โดยใส่ชิ้นงานลงในเครื่องชิ้นงานที่ได้จะมีความสะอาดมาก

2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.6.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope):

SEM

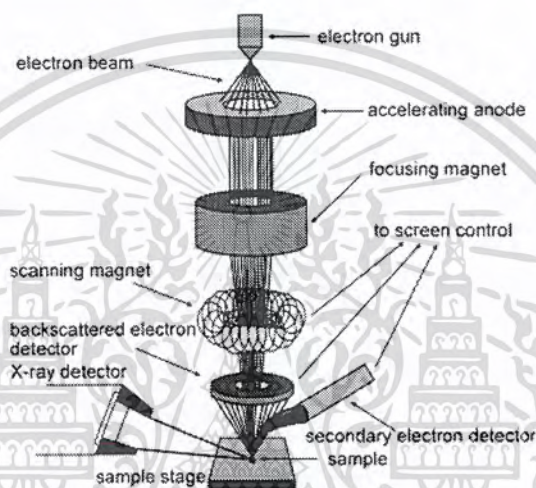
เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดหนึ่งถ่ายภาพโดยใช้วิธีการยิงกราดของลำอิเล็กตรอนไปบนพื้นผิวของชิ้นงาน ซึ่งลำอิเล็กตรอนนั้นมีพลังงานที่สูงจะถูกปล่อยจาก Electron gun เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อการศึกษานี้ ไม่อยู่ภายใต้เงื่อนไขใดๆ ประโยชน์จากการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบกับผิวชิ้นงานจะปล่อยสัญญาณของอะตอมต่างๆบนพื้นผิวไปประมวลผลและให้ข้อมูลออกมาเป็นภาพพื้นผิว, องค์ประกอบของพื้นผิวและคุณสมบัติอื่นๆ

1) ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ในส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนั้น ด้านบนสุดเป็นแหล่งกำเนิดลำอิเล็กตรอนที่เรียกว่า Electron gun จะเร่งอิเล็กตรอนด้วยความต่างศักย์แรงในช่วง 0-30 kV (บางเครื่องสามารถทำได้สูงถึง 50 kV) ให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ที่มีสภาพเป็นสุญญากาศโดยมีเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าควบคุมทิศทางของลำอิเล็กตรอนและมี Aperture ซึ่งเป็นช่องเปิดในการควบคุมปริมาณของอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของ SEM

เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้ามี 2 ชุด โดยชุดแรกเรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) ทำหน้าที่บีบลำอิเล็กตรอนที่วิ่งจากแหล่งกำเนิดให้มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง และเลนส์ชุดที่สองเรียกว่าเลนส์วัตถุ (Objective lens) ทำหน้าที่ในการโฟกัสให้ลำอิเล็กตรอนตกไปบนพื้นผิวชิ้นงาน โดยมี Scan coil กราดลำอิเล็กตรอนไปบนผิวของชิ้นงานภายในกรอบสี่เหลี่ยมเล็กๆ บริเวณที่ถูกยิงด้วยอิเล็กตรอนจะเกิดสัญญาณ (Signal) ต่างๆและ Detector จะจับสัญญาณเหล่านั้นแล้วประมวลผลเป็นภาพแสดงบนจอภาพ SEM นั้นมีจุดเด่นคือมีระยะชัดลึกและมีอำนาจแยกแยะเชิงระยะ (Spatial resolution) สูง เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นอิเล็กตรอนที่มีความยาวสั้นทำให้สามารถมีอำนาจแยกแยะเชิงระยะได้มากถึง 0.2 นาโนเมตร และด้วยการที่บีบอิเล็กตรอนให้เล็กลงนั้นจะได้มุมแคบทำให้ภาพมีความชัดลึกสูง

SEM สามารถนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอ็กซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy หรือ EDX) ซึ่ง EDX จะกระตุ้นวัตถุด้วยอนุภาพพลังงานสูง หรือก็คืออิเล็กตรอนซึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ (X-ray tube) โดยอนุภาคนั้นจะมีพลังงานจลน์สูงจะเคลื่อนที่ด้วยความรวดเร็ว เมื่อผ่านเข้าไปในอะตอมของตัวอย่าง บางส่วนมีโอกาส

ชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในอะตอมจะเกิดการถ่ายพลังงานให้แก่อิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนมีไม่ว้ากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานสูงขึ้นเมื่อพลังงานนั้นสูงมากพอจะทำให้หลุดออกมาจากอะตอมเป็นอิเล็กตรอนอิสระทำให้เกิดช่องว่างซึ่งอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นสูงกว่าจะตกลงมาแทนที่ การที่อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นสูงกว่าตกลงมาแทนที่นั้นจะต้องคายพลังงานที่มากเกินไปออกมา พลังงานที่คายออกมานั้นจะอยู่ในรูปของรังสีเอ็กซ์เฉพาะ (Characteristic x-ray) ซึ่งจะบอกได้ว่าวัตถุชิ้นนั้นมีองค์ประกอบของธาตุอะไรบ้าง เนื่องจากรังสีเอ็กซ์เฉพาะของแต่ละธาตุไม่เหมือนกัน

ข้อที่ได้เปรียบของการใช้เทคนิค EDX คือ สามารถวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้อย่างรวดเร็วและตรวจได้หลายธาตุพร้อมกัน และยังไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่างให้สูญเสียสภาพและใช้กับชิ้นงานที่เป็นของแข็งได้ เมื่อนำมาใช้ร่วมกับ SEM จะทำให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบและการธาตุที่อยู่บนพื้นผิวของชิ้นงานได้อย่างละเอียดและสมบูรณ์มากขึ้น

2.6.2 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer): XRD

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุชั้นพื้นฐานโดยไม่ทำลายตัวอย่าง ที่ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกและการจัดเรียงตัวของอะตอมสารประกอบต่างๆทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยอาศัยการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์

XRD อาศัยหลักการของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อรังสีตกกระทบอนุภาคจะเกิดการหักเหของรังสีที่ทำมุมสะท้อนกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมตกกระทบของรังสี นาย W.L. Bragg ได้นำทฤษฎีดังกล่าวมาใช้ศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกของแร่ต่างๆในปี 1912 ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ขึ้นในปี 1948 และพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนสามารถนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมและประมวลผลให้เกิดความรวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น

XRD เป็นที่รู้จักกันในหมู่นักวัสดุศาสตร์ ธรณีวิทยาและโลหวิทยา เพราะเป็นเครื่องมือที่นำมาใช้วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแร่ ผลวิเคราะห์จาก XRD สามารถแยกแยะชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติว่ามีโครงสร้างผลึกแบบใดและยังจำแนกให้เห็นว่าวัสดุชิ้นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยวัดจากความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆแล้วเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานจากองค์กร JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เพราะสารประกอบแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างผลึกและระยะระหว่างระนาบอะตอมแตกต่างกัน รวมไปถึงการจัดระเบียบโครงสร้างก็แตกต่างกันไปด้วย ทำให้สารประกอบแต่ละชนิดมีรูปแบบ (XRD pattern) เฉพาะตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เป็นเนื้อหาและต้องยกย่องเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang, X. et al. ได้ทำการศึกษาพื้นผิวโครงสร้าง ความหยาบและความเป็นผลึกของโครงสร้างชั้นฟิล์มนิกเกิลบนทองแดงโดยสารเคมีที่ใช้ในการชุบนิกเกิลบนโลหะทองแดง โดยในสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีนิกเกิลคลอไรด์ 20 กรัมต่อลิตรและกรดบอริก 5 กรัมต่อลิตร โดยปรับค่า pH ของสารละลายด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ให้อยู่ที่ 3 - 4 จากนั้นนำไปทองแดงและชั้นฟิล์มนิกเกิลไปวิเคราะห์โครงสร้างและความหยาบโดยใช้ SEM-EDX ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของชั้นฟิล์มนิกเกิลมีความใกล้เคียงกับของทองแดงที่เป็นพื้นผิวตัวอย่างทั้งลักษณะทางเคมีไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแสที่ใช้ชุบอีกทั้งคุณสมบัติทางเคมีของทองแดงสามารถลดความหยาบของชั้นฟิล์มนิกเกิลได้ขณะที่เพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

Lecadre, F. et al. ได้ทำการชุบโลหะผสมนิกเกิลทองบนระนาบของ (111) เป็น substrate ซึ่งสารละลายอิเล็กโทรไลต์ประกอบด้วยสารละลาย NiSO_4 ความเข้มข้น 125 μM และ สารละลาย HAuCl_4 ความเข้มข้นตั้งแต่ 15 ถึง 160 μM โดยเติมสารเติมแต่งต่างๆ ได้แก่สารละลาย K_2SO_4 ความเข้มข้น 0.1 M สารละลาย KCl ความเข้มข้น 1 mM และสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 1mM pH ที่ใช้ในการชุบที่ประมาณ 3.7 โดยปรับค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มจาก +0.4 V_{MSE} ลดลงไปที่ 0 V_{MSE} ประมาณ 5 วินาที จากนั้นปรับค่าศักย์ไฟฟ้าให้ลดลงถึง -1.24 V_{MSE} เพื่อเริ่มทำการชุบโลหะผสมนิกเกิลทอง ใช้เวลา 20 วินาที ถึง 30 นาที พบว่าเมื่ออัตราการชุบโลหะผสมนิกเกิลทองเพิ่มขึ้นขนาดของโครงสร้างโลหะผสมเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณของทองที่เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อลดปริมาณทองในส่วนผสมลง นิกเกิลและทองจะแยกเฟส ขนาดของทองจะลดลง

Mitsui, T. และ Kaneko, H. ได้ทำการศึกษาอิเล็กโทรไลต์ของผิวหน้าระหว่าง $\text{Na}(\text{AuCl}_4)$ - CuSO_4 และ เฮกซิลอะซิเตต ที่แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของฟิล์มทองในระหว่างผิวหน้าทั้งสองเฟส การประยุกต์ใช้ศักย์ไฟฟ้าแบบมุลากหรือสามเหลี่ยม แสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาการแทนที่ของทองแดงด้วยทอง ทำให้ชั้นฟิล์มทองมีความบริสุทธิ์สูงเมื่อถูกทำซ้ำอย่างต่อเนื่องในกระบวนการ

Kato, M. et al. ได้ศึกษากระบวนการชุบบ่อสัญญาณของ Au-Ni-W alloy โดยการเติมเกลือทองลงไป สารละลายอสัญญาณของ Ni-W ตรวจสอบโครงสร้างโดยใช้ X-ray Diffraction (XRD) ในระบบสารละลายเมื่อความเข้มข้นของทองมีค่าน้อยมากหรือสูงมากจะทำให้ทองกลายเป็นผลึกเมื่อวิเคราะห์ด้วย XRD และเมื่อปรับอัตราส่วนอะตอมของ Au-Ni ในสารละลายระหว่าง 0.5 และ 1.5 จะทำให้ทองจัดเรียงตัวเป็นอสัญญาณ

Mao, Q. et al. ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของ Ni_3Al -bonded TiC-based cermets ซึ่งประกอบไปด้วย 20 wt% WC และ 10 wt% Mo กับองค์ประกอบที่หลากหลายของ Ni_3Al และ $\text{Ti}(\text{C}_{0.5}, \text{N}_{0.5})$ เติมลงในสารละลาย 1M H_2SO_4 and 1M NaOH ที่อุณหภูมิห้องโดยทำการทดสอบแบบแช่ วัดโพลาไรเซชันแบบโพเทนชิโอมิก XRD SEM และ XPS ที่ 1M H_2SO_4 มีการสลายตัวของเฟส Ni_3Al เนื่องจากการสลายตัวของ $\text{Ni}(\text{OH})_x$, $(\text{SO}_4)_y$, AlO_x และ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}(\text{OH})_3$ เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ถือว่าผิดกฎหมาย

ตัน ซึ่งไม่เพียงพอที่จะป้องกันสารกัดกร่อนได้ ในขณะที่การโพโรเซชันของชั้นฟิล์มจะเกิดการ passivate ขึ้นกับเฟสของสารกัดกร่อนเนื่องจาก NiO ทำให้ศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแสกัดกร่อนลดลงเมื่อเพิ่ม Ni₃Al ในขณะที่ศักย์ไฟฟ้าที่ลดลงความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม Ti (C_{0.5}, N_{0.5}) นอกจากนี้ยังแสดงความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีขึ้นด้วยเมื่อเพิ่ม Ti (C_{0.5}, N_{0.5}) ที่ 1M NaOH ระหว่างเฟสของสารกัดกร่อนและเซรามิกจะเกิดการก่อตัวของ NiOOH ในช่วงโพลาริเซชันความยาวประมาณ 40–50 mV จะเกิดการ passivate ของขอบเกรนเซรามิกเนื่องจากการก่อตัวของ NiOOH ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นกระแสกัดกร่อนลดลงเมื่อเพิ่ม Ni₃Al และต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่าถ้าเพิ่ม Ni₃Al ในเฟสของสารกัดกร่อน ในขณะที่ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนลดลงและความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม Ti (C_{0.5}, N_{0.5})

Julita, S.K. et al. ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติมาตรฐานของ Ni-Au ที่ติดกับ p-type GaN ที่วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์ต่างๆ: กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมมิกซ์ (AFM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์เหล่านี้ช่วยกำหนดคุณสมบัติโครงสร้างพื้นฐานได้หลังจากขั้นตอนการหลอมละลายทั่วไป การกระจายชนิดของสารเคมีในโครงสร้างจะถูกวิเคราะห์โดยใช้ X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) ในเชิงลึก ซึ่งพบว่าในระหว่างการหลอมในบรรยากาศโดยรอบที่มีออกซิเจนและไนโตรเจนโครงสร้างของโครงสร้างสองชนิดอาจจะมีพัฒนาขึ้นขึ้นอยู่กับสัณฐานวิทยาของ (0 0 0 1) GaN surface: (i) การสัมผัสความต้านทานที่ค่อนข้างต่ำ และ (ii) หน้าสัมผัสความต้านทานสูงบนพื้นผิว GaN ที่มีเงินอยู่ การศึกษาเหล่านี้ถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดรูปแบบซึ่งอธิบายถึงกลไกพื้นฐานของการสัมผัสกัน นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าความไม่สม่ำเสมอของชั้น Au อาจเป็นแหล่งที่มาหลักของความต้านทานสูงของการติดกันทั้งสองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- 1) บีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
- 2) บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3) บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 4) ขวดน้ำกลั่น
- 5) กระจกนาฬิกา
- 6) ราวแขวนตัวอย่าง
- 7) แท่งแก้ว
- 8) ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
- 9) เครื่องอัลตราโซนิก
- 10) เครื่อง Potentiostat และ Galvanostat
- 11) ขั้วอ้างอิง
- 12) แผ่นแพลตตินัม
- 13) ขวด 5 คอ
- 14) Stand และ Clamp
- 15) pH meter

3.1.2 สารเคมี

- 1) นิกเกิลคลอไรด์ (NiCl_2)
- 2) กรดบอริก (H_3BO_3)
- 3) กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 4) กรดไนตริก (HNO_3)
- 5) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 6) แผ่นทองคำเปลว
- 7) แก๊สไนโตรเจน (N_2)
- 8) น้ำกลั่น
- 9) อะซีโตน ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)
- 10) เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเตรียมชิ้นงาน

1) นำตัวอย่างขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 1200 2000 ตามลำดับจนกระทั่งตัวอย่างมีผิวที่เรียบ

2) จากนั้นนำตัวอย่างที่ขัดเสร็จใส่ลงในเครื่องอัลตราโซนิกที่มีอะซิโตนผสมเอทานอลในอัตรา 1:1 ในน้ำกลั่น

3) ซับตัวอย่างให้แห้งด้วยกระดาษทิชชูที่สะอาด

3.2.2 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการชุบ

1) ชั่งนิกเกิลคลอไรด์ 20 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร

2) ละลายด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีเขียว

3) ชั่งกรดบอริก 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

4) ให้ความร้อนกับสารละลายนิกเกิลคลอไรด์พออุ่น

5) นำกรดบอริกละลายลงในสารละลายนิกเกิลคลอไรด์

6) นำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

7) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

8) เทสารละลายจากขวดวัดปริมาตรลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ประมาณ 350 มิลลิลิตร

9) ใส่แก๊สออกซิเจนออกด้วยแก๊สไนโตรเจน 30 นาที

10) จัดอุปกรณ์การชุบโดยให้แผ่นแพลตตินัมอยู่ซ้ายมือ ขั้วอ้างอิงอยู่ขวามือ และตัวอย่างทองแดงอยู่ตรงกลางหันหน้าเข้าหาขั้วทั้งสองโดยมีระยะห่างจากขั้วทั้งสอง 5 ซม. และ 2 ซม. ตามลำดับ โดยที่อุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ในระนาบเดียวกัน

11) ให้กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ -8 มิลลิแอมป์แปรต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 6 นาที

12) ทำซ้ำ 11) โดยเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็น -10 -12 และ -15 มิลลิแอมป์แปรต่อตารางเซนติเมตร

3.2.3 การทดลองการชุบโดยให้กระแสไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่ง

1) ทำตามขั้นตอนที่ 1 -10 ใน 3.2.2

2) ให้กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ -15 มิลลิแอมป์แปรต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 1 นาที

3) ทำซ้ำ 2) โดยเปลี่ยนเวลาเป็น 2 4 6 และ 8 นาที

3.2.4 การทดลองการชุบนิกเกิลผสมทองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม (ทองคำเปลว 25

แผ่น)

1) ทำตามขั้นตอนที่ 1 - 7 ใน 3.2.2

2) เทสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ให้ได้ 500 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ชั่งแผ่นทองคำเปลวจำนวน 25 แผ่น (ประมาณ 0.025-0.04 กรัม)
- 4) ปิเปตกรดไฮโดรคลอริก 0.75 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 5) ปิเปตกรดไนตริก 0.25 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีกรดไฮโดรคลอริกอยู่
- 6) นำสารละลายที่ปิเปตไว้เทใส่ทองคำเปลวที่ชั่ง
- 7) คนจนกระทั่งทองคำเปลวละลายหมด
- 8) เทสารละลายทองลงในสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ที่เตรียมไว้แล้วคนให้เข้ากัน
- 9) ปรับค่าพีเอชด้วย 1M NaOH ให้ได้ค่าพีเอชประมาณ 3-4
- 10) ไล่แก๊สออกซิเจนออกด้วยแก๊สไนโตรเจน 30 นาที
- 11) จัดอุปกรณ์การชุบโดยให้แผ่นแพลตตินัมอยู่ซ้ายมือ ขั้วอ้างอิงอยู่ขวามือ และตัวอย่างทองแดงอยู่ตรงกลางหันหน้าเข้าหาขั้วทั้งสองโดยมีระยะห่างจากขั้วทั้งสอง 5 ซม. และ 2 ซม. ตามลำดับ โดยที่อุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ในระนาบเดียวกัน

- 12) ให้กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ -15 มิลลิแอมป์แปรต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 6 นาที
- 13) ทำซ้ำ 12) โดยเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็น -10 มิลลิแอมป์แปรต่อตารางเซนติเมตร
- 14) ทำซ้ำ 12) โดยเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็น -8 มิลลิแอมป์แปรต่อตารางเซนติเมตร
- 15) เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็น -5 มิลลิแอมป์แปรต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 6 นาที
- 16) ทำซ้ำ 15) โดยเปลี่ยนเวลาเป็น 8 นาที

3.2.5 การทดลองการชุบนิกเกิลผสมทอง (ทองคำเปลว 50 แผ่น)

- 1) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 และ 2 ใน 3.2.4
- 2) ชั่งแผ่นทองคำเปลวจำนวน 50 แผ่น (ประมาณ 0.05-0.075 กรัม)
- 3) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 - 11 ใน 3.2.4
- 4) ให้กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ -5 มิลลิแอมป์แปรต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 8 นาที

3.2.6 การทดลองการชุบทอง

- 1) ชั่งแผ่นทองคำเปลวจำนวน 50 แผ่น (ประมาณ 0.05-0.075 กรัม)
- 2) ทำตามขั้นตอนที่ 4 - 7 ใน 3.2.4
- 3) เทสารละลายทองลงในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร
- 4) ใส่กรดบอริก 1.25 กรัม ในสารละลายทอง 250 มิลลิลิตร
- 5) ทำตามขั้นตอนที่ 9 - 11 ใน 3.2.4
- 6) ให้กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ -5 มิลลิแอมป์แปรต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 8 นาที

3.2.7 การทดลองการทดสอบการกัดกร่อนของโลหะทองแดงชุบนิกเกิล

- 1) เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกให้ได้ค่าพีเอช 3 โดยปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

- 2) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ไปยังผู้อื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) นำสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เหลือเทใส่ขวด 5 ลิตร

- 4) ไล่แก๊สออกซิเจนออกด้วยแก๊สไนโตรเจน 30 นาที
- 5) จัดอุปกรณ์โดยให้แผ่นแพลตตินัมอยู่ซ้ายมือ ขั้วอ้างอิงอยู่ขวามือ และตัวอย่างอยู่ตรงกลาง หน้าหน้าเข้าหาขั้วอ้างอิง
- 6) ตั้ง Scan rate 0.00167 V/s ที่ Potential -0.5 ถึง 1 V
- 7) ทำซ้ำ โดยเปลี่ยนค่าพีเอชของสารละลายเป็น 5 7 (น้ำกลั่น) 9 และ 11 (โซเดียมไฮดรอกไซด์)

3.2.8 การทดลองการทดสอบการกักตัวของทองแดง, ทองแดงซูปนิกเกิล, ทองแดงซูปนิกเกิลผสมทอง และ ทองแดงซูปทอง

- 1) เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกให้ได้ค่าพีเอช 3 โดยปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- 2) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
- 3) ตวงสารละลายซัลฟิวริก 10 มิลลิลิตรด้วยกระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตรและเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 4) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
- 5) นำสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เหลือเทใส่ขวด 5 คอ
- 6) ไล่แก๊สออกซิเจนออกด้วยแก๊สไนโตรเจน 30 นาที
- 7) จัดอุปกรณ์โดยให้แผ่นแพลตตินัมอยู่ซ้ายมือ ขั้วอ้างอิงอยู่ขวามือ และตัวอย่างอยู่ตรงกลาง หน้าหน้าเข้าหาขั้วอ้างอิง
- 8) ตั้ง Scan rate 0.00167 V/s ที่ Potential -0.5 ถึง 1 V
- 9) ทำซ้ำ โดยเปลี่ยนค่าพีเอชจาก 5 เป็น 5.5 และ 6

3.2.9 การทดลองการทดสอบการกักตัวของโลหะทองแดงซูปทองปราศจากนิกเกิลเมื่ออบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 200 °C

- 1) นำตัวอย่างที่ถูกซูปตามขั้นตอนที่ 3.2.6 ไปอบที่อุณหภูมิ 200 °C
- 2) ทำการทดสอบการกักร้อนโดยใช้วิธีการตามขั้นตอนที่ 1 – 9 ใน 3.2.8

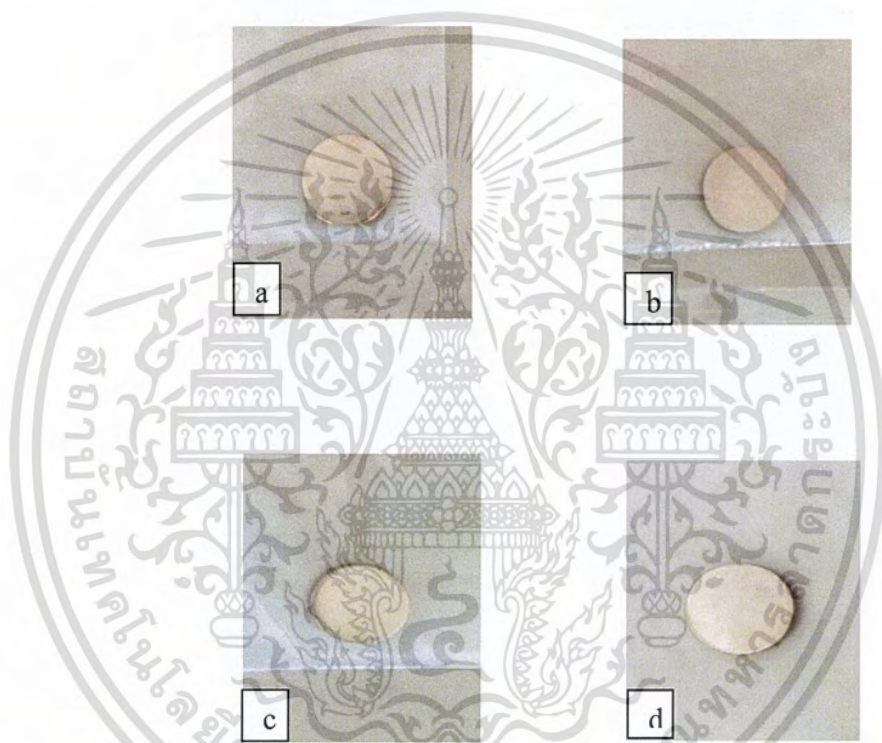
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการชุบ

ในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการชุบนั้น ได้ทำการชุบตัวอย่างโดยใช้เวลาในการชุบคงที่เป็นระยะเวลา 6 นาที และทำการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบให้เพิ่มขึ้นจาก -8 mA เป็น -10 mA เป็น -12 mA และ -15 mA ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการชุบได้ผลดังรูปที่ 4.1



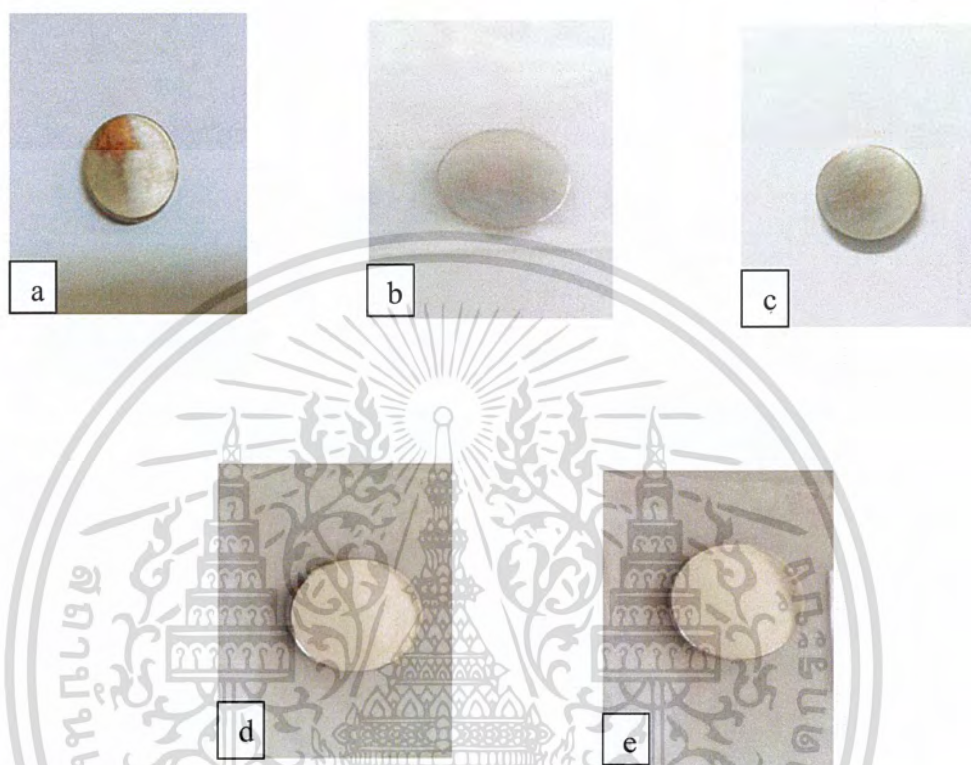
รูปที่ 4.1 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ในระยะเวลาคงที่ที่ 6 นาทีโดยใช้กระแสไฟฟ้าต่างๆ ดังนี้ a) -8 mA b) -10 mA c) -12 mA d) -15 mA

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลของการชุบด้วยนิกเกิลโดยการเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบพบว่า ตัวอย่างที่ชุบโดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ -8 mA และ -10 mA ที่ผิวหน้าของตัวอย่างยังมีบางส่วนที่เป็นโลหะทองแดง ทำให้การชุบโดยใช้กระแสไฟฟ้างดงกล่าวยังไม่ใช้กระแสไฟฟ้าที่ต้องการเนื่องจากเกิดการเคลือบผิวของโลหะได้ไม่ทั่วทั้งหมด และเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าการชุบที่ -12 mA และ -15 mA พบว่าเกิดการเคลือบผิวได้ทั่วทั้งชิ้นงาน ไม่ปรากฏส่วนที่เป็นทองแดง และเพื่อความแน่นอนของการชุบที่มีประสิทธิภาพและทั่วถึงทั้งชิ้นงาน จึงได้เลือกใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบที่ -15 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองชุบด้วยไฟฟ้าโดยให้กระแสไฟฟ้าคงที่

ในการทดลองการชุบโดยให้กระแสไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่งนั้น ได้ทำการชุบโดยใช้กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ -15 mA โดยทำการปรับเวลาให้เพิ่มขึ้นจาก 1 เป็น 2 เป็น 4 เป็น 6 และ 8 นาที ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการชุบได้ผลดังรูปที่ 4.2



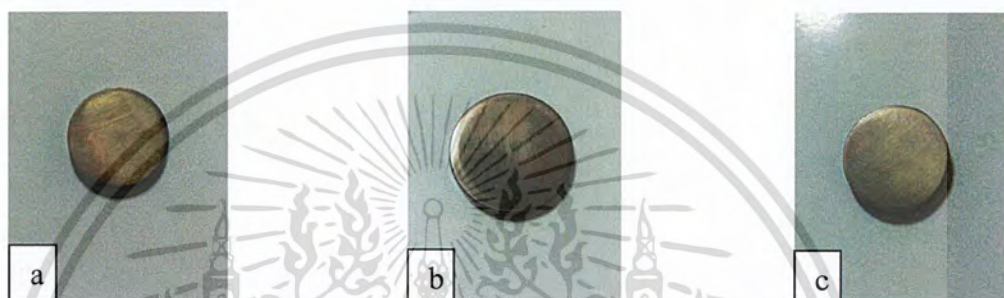
รูปที่ 4.2 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลซัลเฟตโดยใช้กระแสไฟฟ้าการชุบคงที่ที่ -15 mA โดยใช้ระยะเวลาในการชุบต่างๆ ดังนี้ a) 1 นาที b) 2 นาที c) 4 นาที d) 6 นาที e) 8 นาที

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลของการชุบด้วยนิกเกิลโดยการให้กระแสไฟฟ้าการชุบคงที่ที่ -15 mA โดยทำการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการชุบจาก 1 เป็น 2 เป็น 4 เป็น 6 และ 8 นาทีพบว่า ที่เวลา 1 เป็น 2 และ 4 นาที ผิวหน้าของตัวอย่างยังมีบางส่วนที่เป็นทองแดง ทำให้การชุบโดยใช้ระยะเวลาดังกล่าวยังไม่ใช้เวลาที่ต้องการเนื่องจากเกิดการเคลือบผิวของโลหะได้ไม่ทั่วทั้งหมด ที่เวลา 6 และ 8 นาทีพบว่า เกิดการชุบเคลือบผิวของทองแดงได้ทั่วถึงทั้งหมด ไม่ปรากฏสีของทองแดงขึ้นบนผิวของตัวอย่าง จึงได้เลือกใช้เวลาในการชุบที่ 6 นาที เนื่องจากเป็นเวลาน้อยที่สุดที่การชุบเคลือบผิวทองแดงเกิดการชุบได้ทั่วทั้งผิวหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองการหาสภาวะสำหรับการชุบนิกเกิลผสมทอง (ทองคำเปลว 0.1020 กรัม)

ในการทดลองการชุบนิกเกิลผสมทองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการชุบนิกเกิลผสมทอง โดยการละลายแผ่นทองคำเปลวจำนวน 25 แผ่น น้ำหนักที่ชั่งได้ 0.1020 กรัมต่อลิตรของสารละลาย นิกเกิลคลอไรด์ ได้ทำการชุบตัวอย่างโดยใช้เวลาในการชุบคงที่เป็นระยะเวลา 6 นาที และ 8 นาที และทำการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบให้เพิ่มขึ้นจาก -5 mA เป็น -8 mA และ -10 mA ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการชุบได้ผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ผสมกับสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.1020 กรัมต่อลิตรของสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ใช้ระยะเวลาในการชุบคงที่ที่ 6 นาทีโดยใช้กระแสไฟฟ้าต่างๆ ดังนี้ a) -5 mA b) -8 mA c) -10 mA

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลของการชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตรของสารละลายนิกเกิลคลอไรด์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการชุบนิกเกิลผสมทองโดยการเพิ่มกระแสไฟฟ้าพบว่า ตัวอย่างที่ชุบโดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ -5 mA เป็น -8 mA และ -10 mA ระยะเวลาในการชุบคงที่ที่ 6 นาที ผิวหน้าของตัวอย่างยังมีบางส่วนปรากฏโลหะทองแดง ทำให้การชุบโดยใช้กระแสไฟฟ้าในระยะเวลาดังกล่าวยังไม่ใช้กระแสไฟฟ้าที่ต้องการเนื่องจากเกิดการเคลือบผิวของโลหะได้ไม่ทั่วทั้งหมด จึงได้ทำการชุบโดยเปลี่ยนระยะเวลาในการชุบให้เพิ่มขึ้นจาก 6 นาที เป็น 8 นาที ปรับกระแสไฟฟ้าในการชุบจาก -5 mA เป็น -8 mA และ -10 mA เท่าเดิม ได้ผลดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบด้วยนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl_4 มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่
จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตรของสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ที่สภาวะ -5 mA 8 นาที

จากรูปที่ 4.4 เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าการชุบที่ -5 mA โดยใช้ระยะเวลาในการชุบที่ 8 นาที พบว่าเกิดการเคลือบผิวได้ทั่วทั้งชิ้นงาน ไม่ปรากฏส่วนที่เป็นทองแดง และการเพิ่มกระแสไฟฟ้าการชุบเป็น -8 mA และ -10 mA โดยใช้ระยะเวลาในการชุบที่ 8 นาทีเท่ากันนั้น ทำหน้าที่ผิวหน้าของตัวอย่างเกิดรอยดำจากการไหม้เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ไม่เหมาะสมในการใช้กระแสไฟฟ้าดังกล่าว จึงได้เลือกใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบที่ -5 mA ระยะเวลาในการชุบ 8 นาที

4.4 การทดลองชุบนิกเกิลผสมทอง (ทองคำเปลว 0.1820 กรัม)

ในการทดลองการชุบนิกเกิลผสมทองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการชุบนิกเกิลผสมทอง โดยการละลายแผ่นทองคำเปลวจำนวน 50 แผ่น น้ำหนักที่ชั่งได้ 0.1820 กรัมต่อลิตรของสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการชุบได้ผลดังรูปที่ 4.5

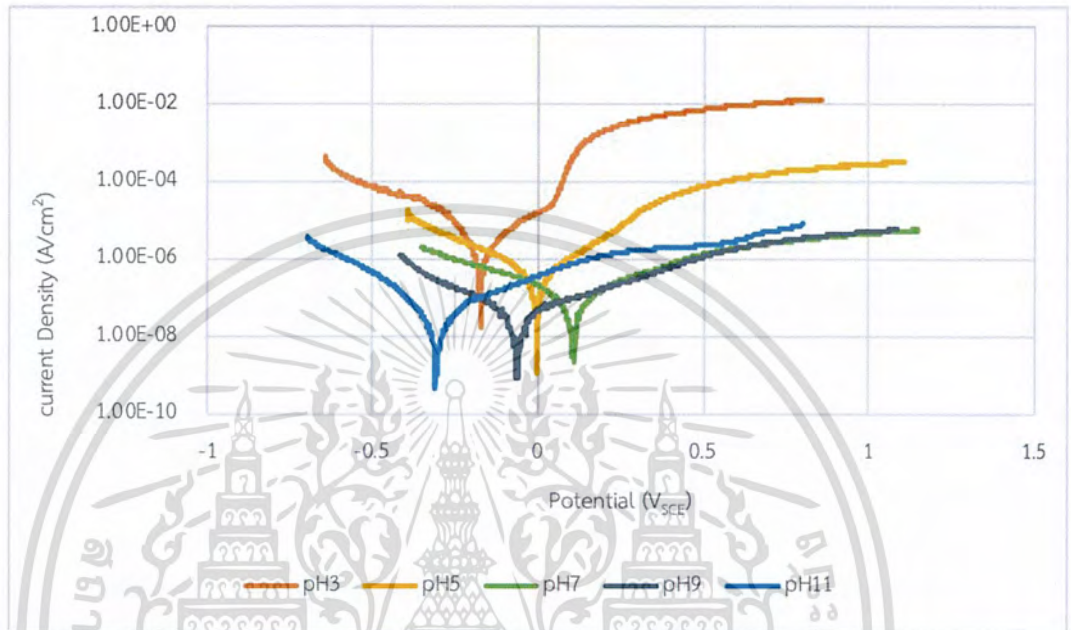


รูปที่ 4.5 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบด้วยสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่น
ทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.182 กรัมต่อลิตรของสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ ที่
สภาวะ -5 mA 8 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะทองแดงชุบนิกเกิล

ผลของค่า pH ต่อการกัดกร่อนของการชุบโลหะทองแดงโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ โดยทำการเพิ่มค่าพีเอชให้เพิ่มขึ้นโดยใช้กรดซัลฟิวริกที่ค่า pH3 และค่า pH5 และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำค่า pH9 และค่า pH11



รูปที่ 4.6 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะทองแดงที่ถูกชุบด้วยสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ในสภาวะ pH ต่างๆ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr})

ค่า pH ที่นำมาใช้ทดสอบ	i_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (V _{SCE})
pH3	1.100×10^{-5}	-0.110
pH5	2.760×10^{-7}	-0.005
pH7	1.200×10^{-7}	0.113
pH9	5.530×10^{-8}	-0.060
pH11	5.930×10^{-8}	-0.315

จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนลดลงโดยที่ค่า pH3 มีค่าเท่ากับ 1.100×10^{-5} ค่า pH5 มีค่าเท่ากับ 2.760×10^{-7}

ค่า pH7 มีค่าเท่ากับ 1.200×10^{-7} ค่า pH9 มีค่าเท่ากับ 5.530×10^{-8} และค่า pH11 มีค่าเท่ากับ 5.930×10^{-8} A/cm² และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนที่ค่า pH3 มีค่าเท่ากับ -0.110 V_{SCE} ค่า pH5 มีค่าเท่ากับ -0.005 V_{SCE} ค่า pH7 มีค่าเท่ากับ 0.113 V_{SCE} ค่า pH9 มีค่าเท่ากับ -0.060 V_{SCE} และค่า pH11 มีค่าเท่ากับ -0.315 V_{SCE} ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกัดกร่อนของโลหะทองแดงชุบนิกเกิลลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น

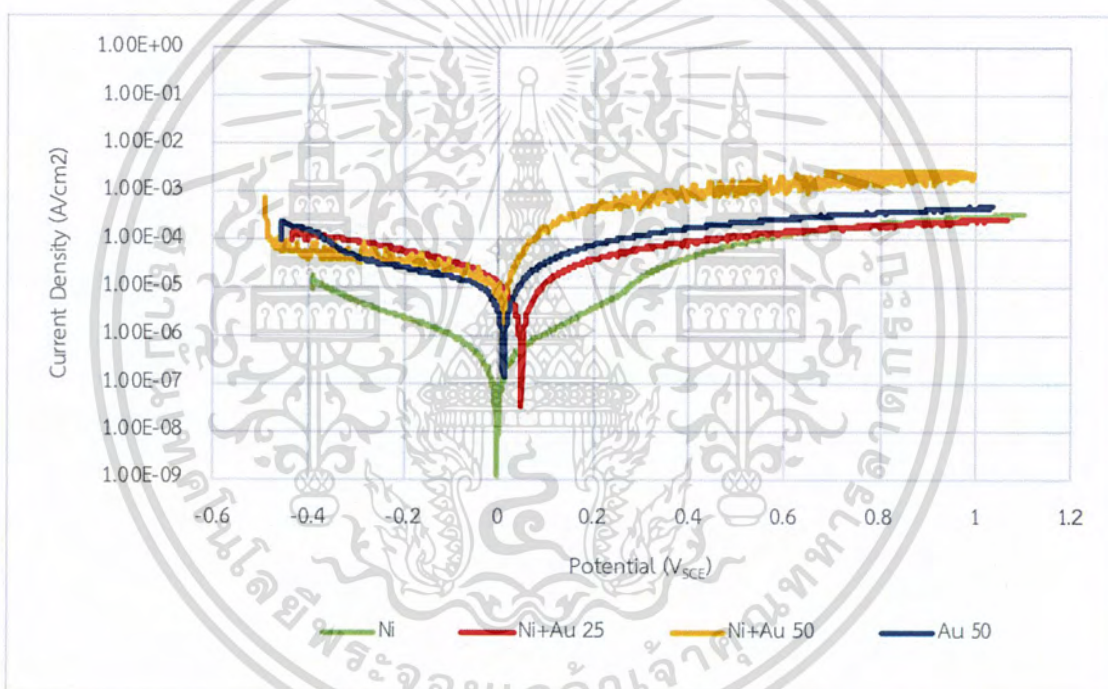
$5.930 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$ เนื่องจากการลดลงของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของไฮโดรเจนไอออนบนผิวหน้าของชั้นฟิล์ม ดังสมการ



ค่าศักย์ไฟฟ้ากักกร่อนไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงที่ชัดเจนตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชแต่ค่ามีการแกว่งตัวอยู่ในช่วง -0.315 V ถึง 0.113 V

4.6 การทดสอบการกักกร่อนของทองแดง ทองแดงชุบนิกเกิล ทองแดงชุบนิกเกิลผสมทอง และทองแดงชุบทอง

ผลของค่า pH ต่อการกักกร่อนของการชุบโลหะทองแดงโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์และนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่ความเข้มข้นต่างกันในค่า pH5



รูปที่ 4.7 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะทองแดงที่ถูกชุบด้วยสารละลายนิกเกิลคลอไรด์และนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่ความเข้มข้นต่างกันในค่า pH5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

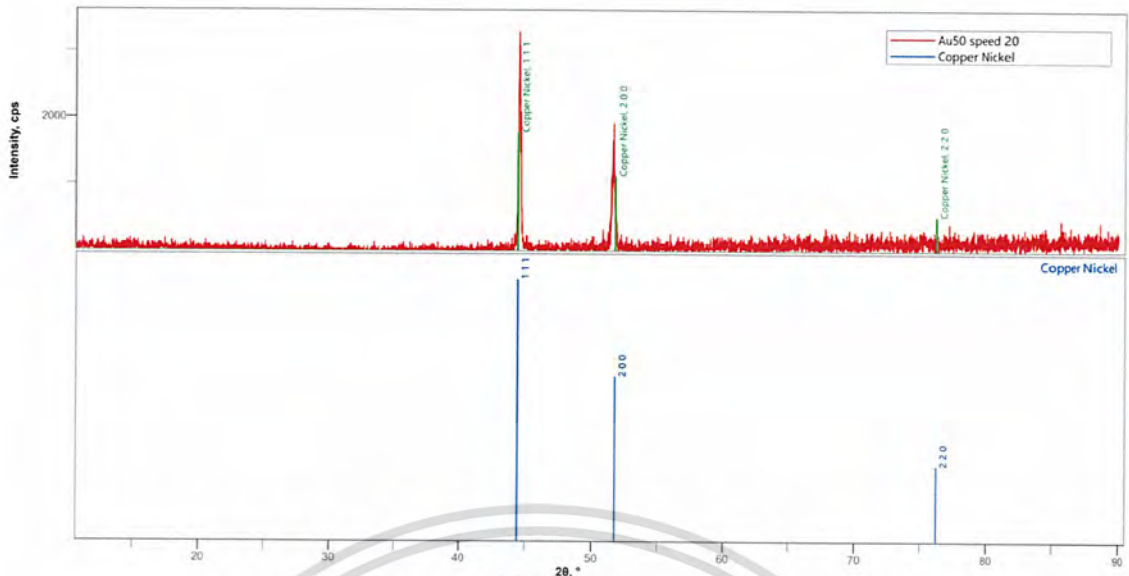
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr})

ตัวอย่างที่นำไปชุบโดยใช้	i_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (V _{SCE})
สารละลาย NiCl ₂	2.760×10^{-7}	-0.005
สารละลาย NiCl ₂ ผสมสารละลาย HAuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตร	6.061×10^{-6}	0.048
สารละลาย NiCl ₂ ผสมสารละลาย HAuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.182 กรัมต่อลิตร	2.084×10^{-5}	0.009
สารละลาย HAuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.1464 กรัมต่อลิตร	7.281×10^{-6}	0.011



รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ XRD ของตัวอย่างที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl₄ ที่มีปริมาณของแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ 0.102 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



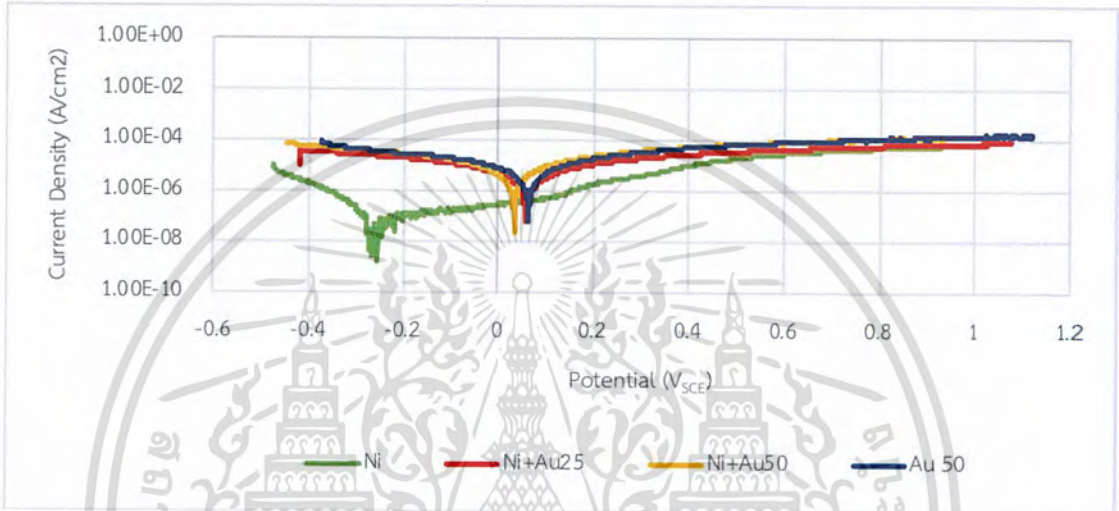
รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ XRD ของตัวอย่างที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีปริมาณของแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ 0.182 กรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2 พบว่าโลหะทองแดงที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ปราศจากทอง ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักต่อน $2.760 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ และเมื่อทำการผสมสารละลาย HAuCl_4 ลงไปในสารละลายที่มีนิกเกิลอยู่ ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักต่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเติมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตรและ 0.182 กรัมต่อลิตรมีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักต่อน $6.061 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ และ $2.084 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ ตามลำดับ และโลหะทองแดงที่ถูกชุบโดยใช้สารละลาย HAuCl_4 ปราศจากนิกเกิลมีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักต่อน $7.281 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HAuCl_4 ค่าศักย์ไฟฟ้ากักต่อนที่ได้มีแนวโน้มสูงขึ้นจาก -0.005 เป็น 0.048 V และลดลงจาก 0.048 เป็น 0.009 V เมื่อเพิ่มปริมาณของแผ่นทองคำเปลวในสารละลาย HAuCl_4 จาก 0.102 กรัมต่อลิตรเป็น 0.182 กรัมต่อลิตร จากรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ XRD ของตัวอย่างที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีปริมาณของแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ 0.102 กรัมต่อลิตรและ 0.182 กรัมต่อลิตรตามลำดับสามารถอธิบายได้ว่า นิกเกิลบนชั้นฟิล์มสามารถช่วยลดความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักต่อนได้เนื่องจากนิกเกิลสามารถเกิดขึ้นป้องกันหรือ Passive Film ได้ โดยค่าความหนาแน่นของนิกเกิลที่อยู่บนชั้นฟิล์มของตัวอย่างที่ถูกชุบด้วยสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีปริมาณของแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ 0.102 กรัมต่อลิตรที่ความหนาแน่นของนิกเกิลมากกว่า ตัวอย่างที่ถูกชุบด้วยสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีปริมาณของแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ 0.182

ไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรัมต่อลิตร การเพิ่มปริมาณของแผ่นทองคำเปลวที่ละลายในสารละลาย HAuCl₄ นั้นเป็นการลดปริมาณของนิเกิลที่ติดอยู่บนชั้นฟิล์มด้วยเช่นกัน และจากรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ไม่ปรากฏพีกความหนาแน่นของทองคำ อาจเนื่องมาจากอะตอมของทองคำจัดเรียงตัวอยู่ในรูปของอสัณฐาน (Amorphous) ทำให้เมื่อวิเคราะห์ด้วยการใช้เครื่องมือ XRD ไม่ปรากฏพีกของทอง

ผลของค่า pH ต่อการกัดกร่อนของการชุบโลหะทองแดงโดยใช้สารละลายนิเกิลคลอไรด์และนิเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl₄ ที่ความเข้มข้นต่างกันในค่า pH5.5



รูปที่ 4.10 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะทองแดงที่ถูกชุบด้วยสารละลายนิเกิลคลอไรด์และนิเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl₄ ที่ความเข้มข้นต่างกันในค่า pH5.5

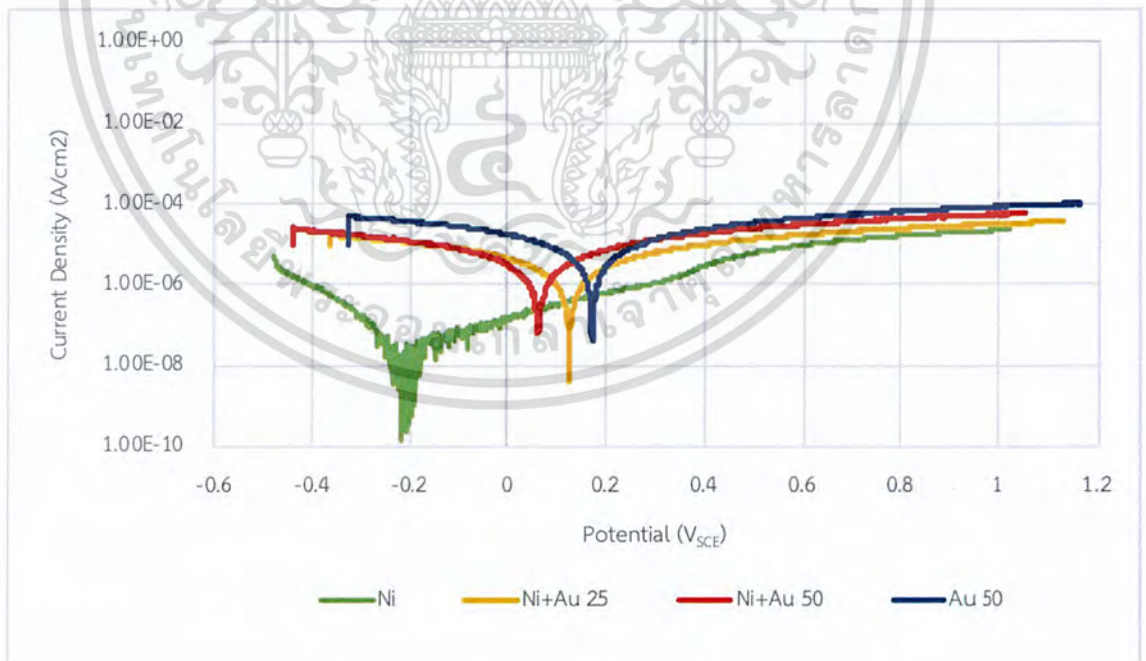
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr})

ตัวอย่างที่นำไปชุบโดยใช้	i_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (V _{SCE})
สารละลาย NiCl ₂	1.191x10 ⁻⁷	-0.270
สารละลาย NiCl ₂ ผสมสารละลาย HAuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตร	2.140x10 ⁻⁶	0.058
สารละลาย NiCl ₂ ผสมสารละลาย HAuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.182 กรัมต่อลิตร	3.550x10 ⁻⁶	0.034
สารละลาย HAuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.1464 กรัมต่อลิตร	3.666x10 ⁻⁶	0.064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.3 พบว่าโลหะทองแดงที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ปราศจากทอง ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักต่อนมีค่า $1.191 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ และเมื่อทำการผสมสารละลาย HAuCl_4 ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักต่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเติมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตรและ 0.182 กรัมต่อลิตรมีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักต่อน $2.140 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ และ $3.550 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ ตามลำดับ และโลหะทองแดงที่ถูกชุบโดยใช้สารละลาย HAuCl_4 ปราศจากนิกเกิลมีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักต่อน $3.666 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HAuCl_4 ค่าศักย์ไฟฟ้ากักต่อนที่ได้มีแนวโน้มสูงขึ้นจาก -0.270 เป็น 0.058 V และลดลงจาก 0.058 เป็น 0.034 V เมื่อเพิ่มปริมาณของแผ่นทองคำเปลวในสารละลาย HAuCl_4 จาก 0.102 กรัมต่อลิตรเป็น 0.182 กรัมต่อลิตร และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักต่อนมีแนวโน้มลดลงและค่าศักย์ไฟฟ้ากักต่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนหรือโปรตอนลดลง การเกิดปฏิกิริยารีดักชันบนพื้นผิวของชั้นฟิล์มจึงลดลงตามลำดับ

ผลของค่า pH ต่อการกักต่อนของการชุบโลหะทองแดงโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์และนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่ความเข้มข้นต่างกันในค่า pH6



รูปที่ 4.11 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะทองแดงที่ถูกชุบด้วยสารละลายนิกเกิลคลอไรด์และนิกเกิลคลอไรด์ผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่ความเข้มข้นต่างกันในค่า pH6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยไม่แสวงหาผลกำไรและไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

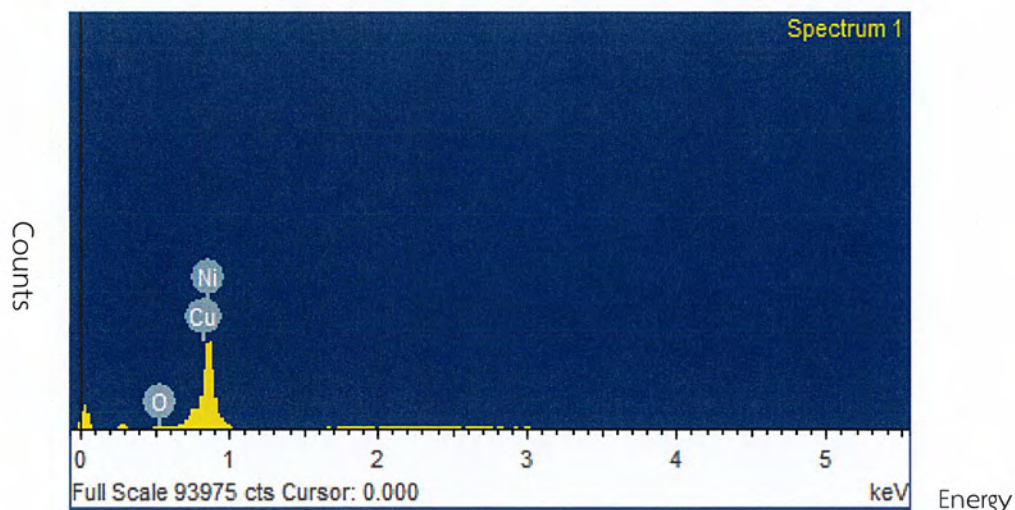
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr})

ตัวอย่างที่นำไปชุบโดยใช้	i_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (V _{SCE})
สารละลาย NiCl ₂	2.681×10^{-8}	-0.237
สารละลาย NiCl ₂ ผสมสารละลาย HAuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตร	9.829×10^{-7}	0.125
สารละลาย NiCl ₂ ผสมสารละลาย HAuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.182 กรัมต่อลิตร	1.382×10^{-6}	0.063
สารละลาย HAuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.1464 กรัมต่อลิตร	2.762×10^{-6}	0.172

จากรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.4 พบว่าโลหะทองแดงที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ปราศจากทอง ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่า 2.681×10^{-8} A/cm² และเมื่อทำการผสมสารละลาย HAuCl₄ ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเติมสารละลาย HAuCl₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตรและ 0.182 กรัมต่อลิตรมีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน 9.829×10^{-7} A/cm² และ 1.382×10^{-6} A/cm² ตามลำดับ และโลหะทองแดงที่ถูกชุบโดยใช้สารละลาย HAuCl₄ ปราศจากนิกเกิลมีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน 2.762×10^{-6} A/cm² และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HAuCl₄ ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนที่ได้มีแนวโน้มสูงขึ้นจาก -0.237 เป็น 0.125 V และลดลงจาก 0.125 เป็น 0.063 V เมื่อเพิ่มปริมาณของแผ่นทองคำเปลวในสารละลาย HAuCl₄ จาก 0.102 กรัมต่อลิตรเป็น 0.182 กรัมต่อลิตร และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนและค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนหรือโปรตอนลดลง การเกิดปฏิกิริยารีดักชันของไฮโดรเจนบนพื้นผิวของชั้นฟิล์มจึงลดลงตามลำดับ

จากการทดสอบการกัดกร่อนของโลหะทองแดงที่ถูกชุบด้วยนิกเกิลและนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl₄ ที่ความเข้มข้นต่างๆ จึงได้มีการนำตัวอย่างที่ชุบแล้วไปวิเคราะห์โดยเครื่อง SEM-EDX ซึ่งได้กราฟที่แสดงปริมาณและชนิดของธาตุในชั้นฟิล์มตัวอย่างที่ชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ปราศจากการผสมของสารละลาย HAuCl₄ ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงธาตุในชั้นฟิล์มตัวอย่างที่ชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ปราศจากทอง

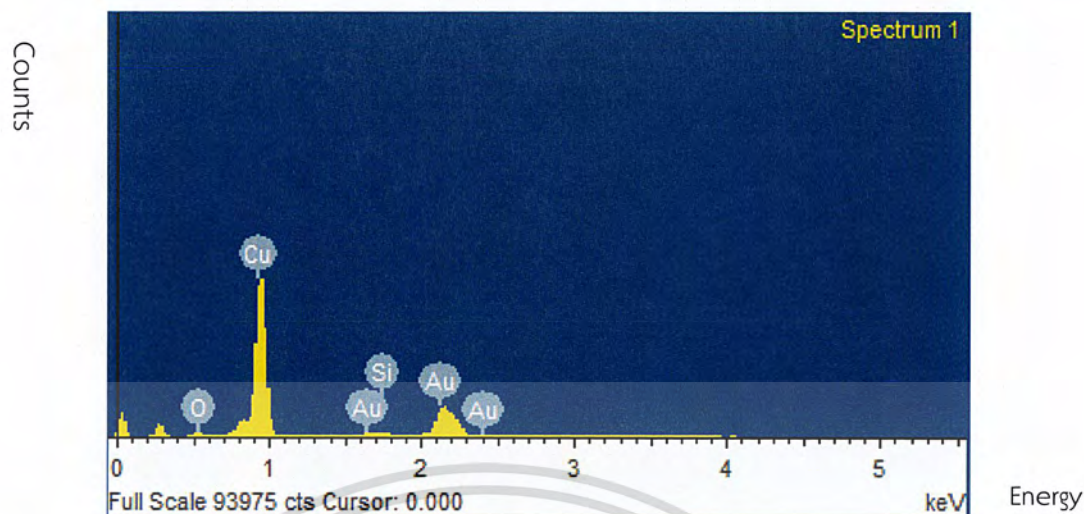
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณและชนิดของธาตุที่วัดด้วยเครื่องมือ SEM-EDX

ธาตุ	น้ำหนัก (%)	อะตอม (%)
O	0.690	2.51
Ni	80.02	79.73
Cu	19.29	17.76

จากรูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM-EDX ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลปราศจากทอง ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 4.5 คือ มีน้ำหนักของ O 0.690 % Ni 80.02 % และ Cu 19.09 % แสดงให้เห็นการมีอยู่ของนิกเกิลบนชั้นฟิล์ม ที่ส่งผลให้เกิดการป้องกันการกัดกร่อนที่ดี ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่ค่า pH เท่ากัน เนื่องจากนิกเกิลสามารถสร้างชั้นป้องกันหรือ Passive film ขึ้นมาป้องกันการกัดกร่อนเมื่ออยู่ในสภาวะหรือระบบที่มีการกัดกร่อนรุนแรง

จากการวิเคราะห์โดยเครื่อง SEM-EDX แสดงปริมาณและชนิดของธาตุในชั้นฟิล์มตัวอย่างที่ชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

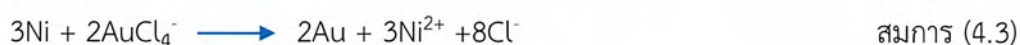


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงธาตุในชั้นฟิล์มตัวอย่างที่ชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณและชนิดของธาตุที่วัดด้วยเครื่องมือ SEM-EDX

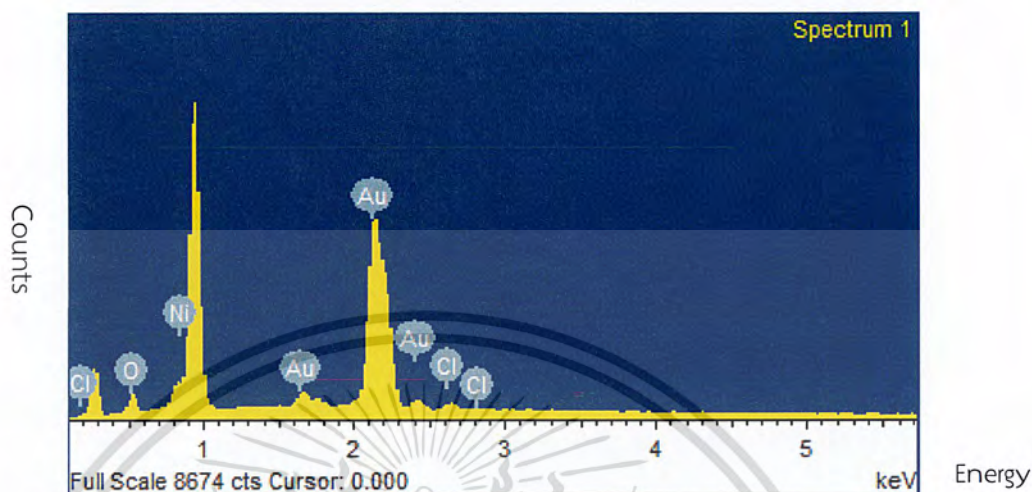
ธาตุ	น้ำหนัก (%)	อะตอม (%)
O	2.000	9.00
Si	0.420	1.09
Cu	70.54	80.01
Au	27.04	9.90

จากรูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM-EDX ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 4.6 คือ มีน้ำหนักของ O 2.000 % Si 0.420 % Cu 19.09 % และ Au 27.04 % แสดงให้เห็นว่าบนชั้นฟิล์มของตัวอย่างที่ถูกชุบด้วยสารละลายนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.102 กรัมต่อลิตรนั้นไม่ปรากฏปริมาณของ Ni อยู่บนชั้นฟิล์ม อาจเนื่องมาจากการที่ Ni สามารถประพฤติตัวเป็นรีดิวซิงเอเจนต์ (Reducing Agent) ได้ทำให้นิกเกิลรีดิวซ์ AuCl_4^- ให้เป็น Au ได้ ดังสมการที่ 4.2 ถึง 4.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์โดยเครื่อง SEM-EDX แสดงปริมาณและชนิดของธาตุในชั้นฟิล์มตัวอย่างที่ชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.182 กรัมต่อลิตรได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงธาตุในชั้นฟิล์มตัวอย่างที่ชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.182 กรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณและชนิดของธาตุที่วัดด้วยเครื่องมือ SEM-EDX

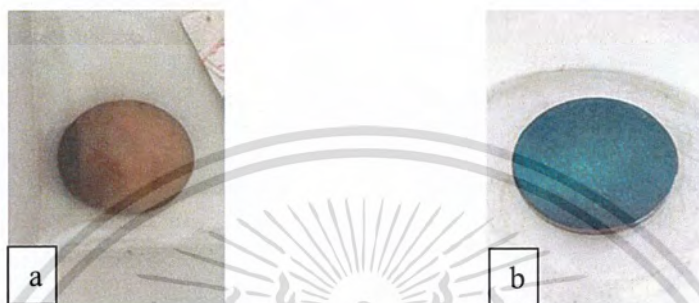
ธาตุ	น้ำหนัก (%)	อะตอม (%)
O	8.840	52.25
Cl	1.810	4.840
Ni	0.000	0.000
Au	89.35	42.91

จากรูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM-EDX ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ถูกชุบโดยใช้สารละลายนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.182 กรัมต่อลิตรซึ่งให้ผลดังตารางที่ 4.7 คือ มีน้ำหนักของ O 8.840 % Cl 1.810 % และ Au 89.35 % แสดงให้เห็นว่าบนชั้นฟิล์มของตัวอย่างที่ถูกชุบด้วยสารละลายนิกเกิลผสมสารละลาย HAuCl_4 ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.182 กรัมต่อลิตรนั้นไม่ปรากฏปริมาณของ Ni อยู่บนชั้นฟิล์ม ยิ่งไปกว่านั้นยังเกิดการปรากฏขึ้นของปริมาณคลอไรด์บนชั้นฟิล์ม ซึ่งสามารถส่งผลต่อการเกิดการกัดกร่อนที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากคลอไรด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับโลหะและน้ำที่ทำให้เกิดกรดไฮโดรคลอริกที่เป็นสาเหตุให้เกิดความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนที่เพิ่มสูงขึ้น ดังสมการที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $2\text{Me}^{0+} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{ใช้พลังงาน}} 2\text{Me}(\text{OH}) + 2\text{HCl}$ ไม่นอญญาตให้นำไปใช้ประสมการ(4.5)ราคา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะทองแดงชุบทองปราศจากนิกเกิลเมื่ออบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 200 °C

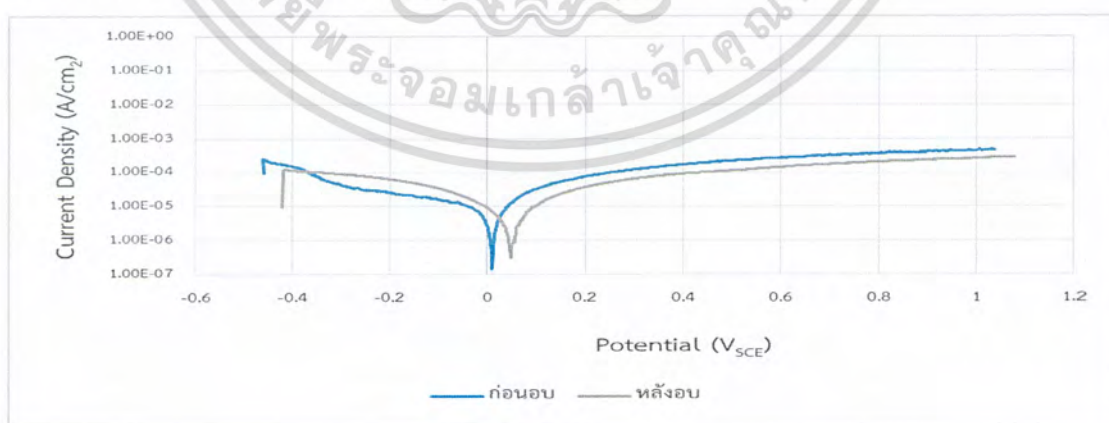
ในการทดลองการทดสอบการกัดกร่อนของโลหะทองแดงที่ถูกชุบด้วยทองปราศจากสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ โดยใช้สารละลาย HAuCl_4 มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.1462 กรัมต่อลิตรและแบบที่นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 200 °C โดยใช้กระแสไฟฟ้าการชุบที่ -5 mA ระยะเวลา 8 นาที แสดงผลให้เห็นดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.15 ภาพชิ้นงานที่ถูกชุบด้วยสารละลาย HAuCl_4 มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่จำนวน 0.1462 กรัมต่อลิตร ปราศจากนิกเกิลคลอไรด์ที่สภาวะ -5 mA ที่ 8 นาที a) ก่อนทำการอบแห้ง b) หลังอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C

จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสีที่ชั้นฟิล์มหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 200 °C โดยสีเปลี่ยนจากสีเหลืองส้มเป็นสีฟ้า

การกัดกร่อนของชั้นฟิล์มจากการชุบโลหะทองแดงโดยใช้สารละลาย HAuCl_4 ที่ความเข้มข้นเท่ากันโดยปราศจากนิกเกิล ทั้งก่อนอบและหลังอบในค่า pH5



รูปที่ 4.16 กราฟโพเทนซีไอโดนามิกโพลาริเซชันของโลหะทองแดงโดยใช้สารละลาย HAuCl_4 ที่ความเข้มข้นเท่ากันโดยปราศจากนิกเกิล ทั้งก่อนอบและหลังอบในค่า pH5

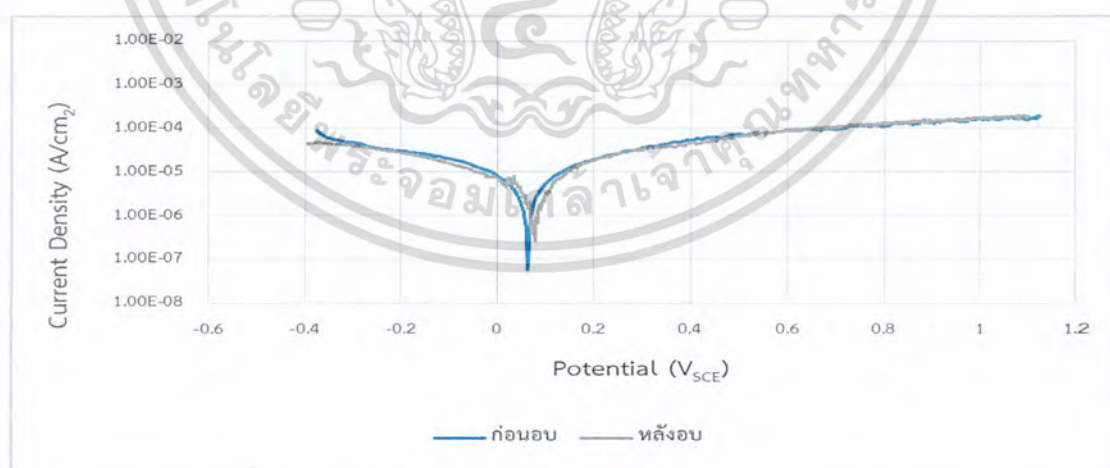
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr})

ตัวอย่างที่นำไปชุบโดยใช้	i_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (V _{SCE})
สารละลาย H ₂ SO ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ จำนวน 0.1464 กรัมต่อลิตร	7.281×10^{-6}	0.011
สารละลาย H ₂ SO ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ จำนวน 0.1464 กรัมต่อลิตร หลังอบด้วยอุณหภูมิ 200°C	4.873×10^{-6}	0.049

จากรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.8 พบว่าโลหะทองแดงที่ถูกชุบโดยใช้สารละลาย H₂SO₄ ที่มีปริมาณของแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่เท่ากันโดยปราศจากนิกเกิลคลอไรด์ ก่อนอบค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่า 7.281×10^{-6} A/cm² และหลังอบที่อุณหภูมิ 200°C ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่า 4.873×10^{-6} A/cm² ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเมื่อนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิส่งผลให้เกิดการจัดเรียงตัวของอะตอมบนชั้นฟิล์มใหม่ อาจมีความเป็นผลึก (Crystalline) เพิ่มมากขึ้นอาจทำให้สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ดีขึ้น ทั้งนี้ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนมีแนวโน้มสูงขึ้นจาก 0.011 เป็น 0.049 V ยังแสดงถึงความเฉื่อยที่มากขึ้นด้วย

การกัดกร่อนของชั้นฟิล์มจากการชุบโลหะทองแดงโดยใช้สารละลาย H₂SO₄ ที่ความเข้มข้นเท่ากันโดยปราศจากนิกเกิล ทั้งก่อนอบและหลังอบในค่า pH5.5



รูปที่ 4.17 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะทองแดงโดยใช้สารละลาย H₂SO₄ ที่ความเข้มข้นเท่ากันโดยปราศจากนิกเกิลทั้งก่อนอบ และหลังอบในค่า pH5.5

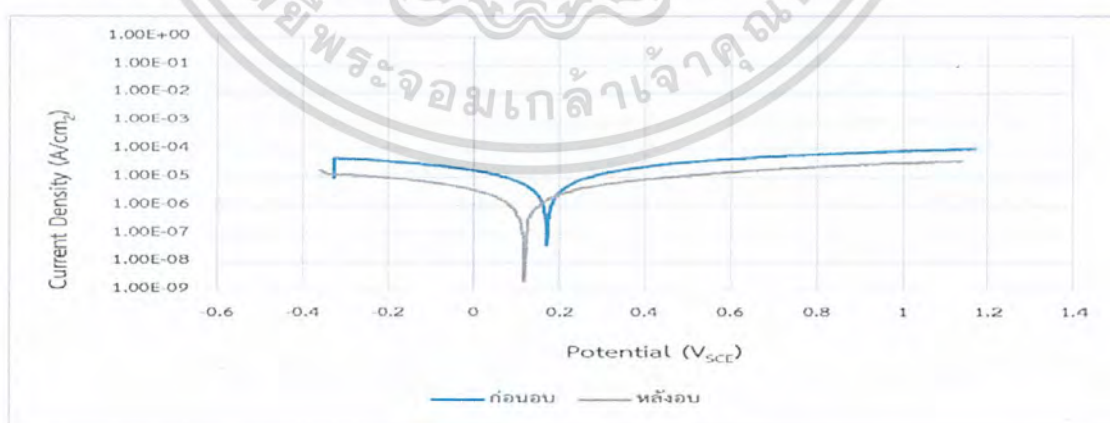
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr})

ตัวอย่างที่นำไปชุบโดยใช้	i_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (V _{SCE})
สารละลาย H ₂ AuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ จำนวน 0.1464 กรัมต่อลิตร	3.666×10^{-6}	0.064
สารละลาย H ₂ AuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ จำนวน 0.1464 กรัมต่อลิตร หลังอบด้วยอุณหภูมิ 200°C	3.147×10^{-6}	0.080

จากรูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.9 พบว่าโลหะทองแดงที่ถูกชุบโดยใช้สารละลาย H₂AuCl₄ ที่มีปริมาณของแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่เท่ากันโดยปราศจากนิกเกิลคลอไรด์ ก่อนอบค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่า 3.666×10^{-6} A/cm² และหลังอบที่อุณหภูมิ 200°C ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่า 3.147×10^{-6} A/cm² และมีค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนมีแนวโน้มสูงขึ้นจาก 0.064 เป็น 0.080 V ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับผลของผลของค่า pH ต่อการกัดกร่อนของการชุบโลหะทองแดงโดยใช้สารละลาย H₂AuCl₄ ที่ความเข้มข้นเท่ากันโดยปราศจากนิกเกิล ทั้งก่อนอบและหลังอบในค่า pH5 และเมื่อทำการเปรียบเทียบตารางที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.9 พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการลดลงของความเข้มข้นไฮโดรเจนไอออนส่งผลให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันของไฮโดรเจนไอออนลดลง

การกัดกร่อนของชั้นฟิล์มการชุบโลหะทองแดงโดยใช้สารละลาย H₂AuCl₄ ที่ความเข้มข้นเท่ากันโดยปราศจากนิกเกิล ทั้งก่อนอบและหลังอบในค่า pH6



รูปที่ 4.18 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะทองแดงโดยใช้สารละลาย H₂AuCl₄ ที่ความเข้มข้นเท่ากันโดยปราศจากนิกเกิล ทั้งก่อนอบและหลังอบในค่า pH6

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr})

ตัวอย่างที่นำไปชุบโดยใช้	i_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (V _{SCE})
สารละลาย H ₂ AuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ จำนวน 0.1464 กรัมต่อลิตร	2.762×10^{-6}	0.172
สารละลาย H ₂ AuCl ₄ ที่มีแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่ จำนวน 0.1464 กรัมต่อลิตร หลังอบด้วยอุณหภูมิ 200°C	7.790×10^{-7}	0.119

จากรูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.10 พบว่าโลหะทองแดงที่ถูกชุบโดยใช้สารละลาย H₂AuCl₄ ที่มีปริมาณของแผ่นทองคำเปลวละลายอยู่เท่ากันโดยปราศจากนิกเกิลคลอไรด์ ก่อนอบค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่า 2.762×10^{-6} A/cm² และหลังอบที่อุณหภูมิ 200°C ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่า 7.790×10^{-7} A/cm² และมีค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนมีแนวโน้มลดลงจาก 0.172 เป็น 0.119 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยและการอภิปรายผลสรุปได้ว่า

- 1) ตัวอย่างที่ถูกชุบด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์นิกเกิลคลอไรด์ ให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักตรอนน้อยเนื่องจากคุณสมบัติของการสร้างชั้นป้องกันของนิกเกิล
- 2) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HAuCl_4 ที่ผสมลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักตรอนเพิ่มขึ้น อาจเพราะการมีคลอไรด์อยู่ในชั้นฟิล์มทำให้สามารถรวมตัวกับแก๊สไฮโดรเจนเกิดเป็นกรดไฮโดรคลอริกขึ้น
- 3) เมื่อนำตัวอย่างไปอบ พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกักตรอนมีค่าลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาลักษณะและสมบัติของชั้นฟิล์มด้วยเทคนิคอื่น เช่น XPS (X-ray photoelectron spectroscopy) เพื่อศึกษาชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบบริเวณพื้นผิวของตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ หรือใช้ TEM (Transmission electron microscopy) เพื่อศึกษาโครงสร้างความเป็นผลึกของทองที่อยู่บนพื้นผิวของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- 1) ณปภัช พิมพ์ดี. 2560. การกัดกร่อนและการป้องกัน [Online] Available: <http://scimath.org/lesson-chemistry/item/7182-2017-06-05-14-44-28>
- 2) ณปภัช พิมพ์ดี. 2560. การชุบโลหะ [Online] Available: <http://scimath.org/lesson-chemistry/item/7179-2017-06-05-14-14-44>
- 3) ดนัย กิจชัยนุกูล. 2547. “เรื่อนำรู้ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)” (เอกสารอัดสำเนา, ม.ป.ท.: ม.ป.ป., 2547), 2-3.
- 4) นิพนธ์ ชุ่มเขย. 2559. “อิทธิพลของธาตุникเกิดต่อความต้านทานการกัดกร่อนในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิต่างๆ.” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรมภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- 5) ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ. “การวัดขนาดอนุภาคนาโนเมตรด้วยเทคนิค X-ray Diffraction.” วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. มกราคม 2557, ฉบับที่ 194, 34-35.
- 6) สยาม แก้วคำไสย์. 2553. การสร้างฟิล์มให้กับเหล็กกล้าไร้สนิม (Passivation of Stainless Steel) [Online] Available: <http://siamkaewkumsai.blogspot.com/2010/11/passivation-of-stainless-steel.html>
- 7) สัมพันธ์ วงศ์นาวา. 2541. “เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรเมตรีแบบกระจายพลังงาน” (สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่), 18-19.
- 8) Alharthi, M. Sherif, E.M. Abdo, H.S. Zein El Abedin, S. 2017. “Effect of Nickel Content on the Corrosion Resistance of Iron-Nickel Alloys in Concentrated Hydrochloric Acid Pickling Solutions.” Advances in Materials Science and Engineering. 57: 1-8.
- 9) Ban, C. Shao X. Ma J. and Chen H. 2012. “Effect of Mechanical Attrition on Microstructure and Property of Electroplated Ni Coating.” Transitions of Nonferrous Metals Society of China. 22: 1989-1994.
- 10) Chen, C. Yoshiba M. Nagoshi T. Chang, T.M. Yamane, D. Machida, K. Masu, K. and Sone, M. 2016. “Pulse Electroplating of Ultra-Fine Grained Au Films with High Compressive Strength.” Electrochemistry Communications. 67: 51-54.
- 11) Chiu, H.K. Chiang, I.C. and Chen, D.H. 2008. “Synthesis of NiAu Alloy and Core-Shell Nanoparticles in Water-In-Oil Microemulsions.” Journal of Nanoparticle Research. 11: 1137-1144.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 12) Guo, L. Yue, Y. Pan, T.J. Tang, Z.F. and Liu, W. 2019. "Corrosion Behavior of Ni-Al Alloys Beneath Chlorides Melt Salt at 700 °C." *Solar Energy*. 184: 657– 663.
- 13) Hamdani, F. 2016. "Improvement of the Corrosion and Oxidation Resistance of Ni-Based Alloys by Optimizing the Chromium Content." *Materials*. 2015ISAL0012.
- 14) Hu, J. Li, W. Chen, J. Zhang, X. and Zhao X. 2008. "Novel Plating Solution for Electroless Deposition of Gold Film onto Glass Surface." *Surface and Coating Technology*. 202: 2922-2926.
- 15) Julita, S.K. Szymon, G. Elzbieta, L.S. Ryszard, P. Grzegorz, N. Michał, L. Piotr, P. Ewa, T. Jan, K. and Stanisław, K. 2010. "Ni – Au Contacts to P-type GaN – Structure and Properties." *Solid-State Electronics*. 54: 701-709.
- 16) Kato, M. Senda, K. Musha, Y. Sasano, J. Okinaka, Y. and Osak, T. 2007. "Electrodeposition of Amorphous Gold Alloy Films." *Electrochimica Acta*. 53: 11-15.
- 17) Khan, I.H. and Francombe, M.H. 1965. "Structure and Oxidation of Thin Gold Nickel Alloy Films." *Journal of Applied Physics*. 36: 1699–1706.
- 18) Lecadre, F. Maroun, F. Braems, I. Berthier, F. Goyhenex, C. and Allongue, P. 2013. "AuNi Alloy Monolayer Films Electrodeposited on Au (111): An in situ STM Study." *Surface Science*. 607: 25–32.
- 19) Lekatou, A. Regoutas, E. and Karantzalidis, A.E. 2008. "Corrosion Behaviour of Cermet-Based Coatings with a Bond Coat in 0.5M H₂SO₄." *Corrosion Science*. 50: 3389–3400.
- 20) Li, J. Pan, L. Fu, Q. Zhou, Y. and Guo, N. 2019. "Wettability and Corrosion Behavior of a Ni Coating on 304 Stainless Steel Surface." *Surface & Coatings Technology*. 357: 740–747.
- 21) Madram, A.R. Pourfarzad, H. and Zare, H.R. 2012. "Study of the Corrosion Behavior of Electrodeposited Ni–P and Ni–P–C Nanocomposite Coatings in 1M NaOH." *Electrochimica Acta*. 85: 263–267.
- 22) Mao, Q. Yang, Q. Xiong, W. Li, S. Zhang, M. and Ruan, L. 2018. "Corrosion Behavior of Ni₃Al-Bonded TiC-Based Cermets in H₂SO₄ and NaOH Solutions." *Ceramics International*. 44: 13303–13312.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 23) Mitsui, T. and Kaneko, H. 1996. "A Novel Preparation of Gold Films by Electrodeposition at the Interface between a $\text{Na}(\text{AuCl}_4) - \text{CuSO}_4$ Aqueous Phase and an Immiscible Hexyl Acetate Organic Phase." *Journal of Applied Electrochemistry*. 27: 1100-1105.
- 24) Sherif, E.M. and Seikh A.H. 2012. "Effects of Grain Refinement on the Corrosion Behaviour of Microalloyed Steel in Sulphuric Acid Solutions." *International Journal of Electrochemical Science*. 7: 7567 – 7578.
- 25) Wang, X. Han, Y. Zhang, J. Li, Z. Li, T. Zhao, X. and Liu, W. 2019. "Influence of Electropolished Copper Substrate on Morphology of Electroplating Self-Supporting Ni Films." *Nuclear Instrument and Methods in Physics Research*. S0168-9002 3024: 1-4
- 26) Yang, X. An, M. Zhang, Y. and Zhang, L. 2011. "Electrochemical Behavior of Gold(III) in Cyanide-free Bath with 5, 5-Dimethylhydantoin as Complexing Agent." *Electrochimica Acta* 58(2011): 516-522.
- 27) Yang, Z. Lichtenwalner, D.J. Morris, A.S. Krim, J. and Kingon, A.I. 2009. "Comparison of Au and Au-Ni Alloys as Contact Materials for MEMS Switches." *Journal of Microelectromechanical Systems*. 18: 287-295.
- 28) Zhou, H. Liao, Z. Fang, C. Li, H. Feng, B. Xu, S. Cao, G. and Kuang, Y. 2018. "Pulse Electroplating of Ni-W-P Coating and Its Anti-Corrosion Performance." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 28: 88-95.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้