

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลของคูโหละทรานลิชันที่มีต่อสี่ขงทองชุบ



นางสาวรัศมี อร่ามมั่นคง

นางสาวสุวรรณา ลาภเจริญ

นางสาวอรพรรณ โอพาริก

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่.....
เลขทะเบียน 37636
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

ปีการศึกษา 2542

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of the Effect of Transition Elements on Color of Plated Gold



Miss Ratsamee Arammankhong

Miss Suwannapa Lapcharoen

Miss Oraphan Olaric

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ
นักศึกษา

การศึกษาผลของคูโหละทรานดิชันที่มีต่อสีของทองชุบ
นางสาวรัศมี อร่ามมั่นคง
นางสาวสุวรรณภา ลากเจริญ

อาจารย์ที่ปรึกษา

นางสาวอรพรรณ โอพาริก
รศ.ดร. ศักดา ไตรศักดิ์


อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อ. ปัทมา ลีพหาวงศ์

ภาควิชา

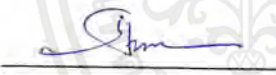
เคมี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับ โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการโครงการพิเศษ


(ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย)


ประธานกรรมการ


(อ.อานาจ เพิ่มทรัพย์สกุล)

กรรมการ


(รศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์)

กรรมการ


(อ.ปัทมา ลีพหาวงศ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การศึกษาผลของคูโลหะทรานสิชันที่มีต่อสีของทองชุบ
นักศึกษา	นางสาวรัศมี อร่ามมันคง นางสาวสุวรรณภา ลาภเจริญ นางสาวอรพรรณ โอพาริก
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สักดา ไตรศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ. ปัทมา ลีพหาวงศ์
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาผลของคูโลหะทรานสิชันที่มีต่อสีของทองชุบ ในกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า คูโลหะทรานสิชันที่ศึกษาได้แก่ Cu(I) กับ Zn(II), Cu(I) กับ Ag(I), Cu(I) กับ Co(II), Zn(II) กับ Ag(I), Zn(II) กับ Co(II) และ Ag(I) กับ Co(II)

จากผลการทดลองเมื่อเติมโลหะทรานสิชันเพียงชนิดเดียว พบว่าการใช้ Cu(I) ในปริมาณ 0.28 กรัม/ลิตร จะให้สีทองชมพู การใช้ Zn(II) ในปริมาณ 0.48 กรัม/ลิตร จะทำให้สีของทองอ่อนลง และการใช้ Ag(I) ในปริมาณ 0.08 กรัม/ลิตร จะให้สีทองอมเขียว ส่วนการใช้ Co(II) ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของทองชุบ และจากการศึกษาผลของคูโลหะทรานสิชันที่มีผลต่อสีของทองชุบ พบว่าเมื่อใช้ Cu(I)-Zn(II) ในปริมาณ 0.28:0.28 (กรัม/ลิตร) จะให้สีทองอมชมพูสว่างขึ้น เมื่อใช้ Ag(I)-Cu(I) ในปริมาณ 0.08:0.18 (กรัม/ลิตร) จะให้สีทองเขียวอมชมพู และเมื่อใช้ Zn(II)-Ag(I) ในปริมาณ 0.48:0.08 (กรัม/ลิตร) จะให้สีทองเขียวสว่างขึ้น ส่วน Co(II) จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของทองชุบ เมื่อผสมกับโลหะทรานสิชันชนิดอื่นๆ

Special Project	Study of The Effect of Transition Elements on Color of Plated Gold
Students	Miss Ratsamee Arammankhong Miss Suwannapa Larpcharoen Miss Oraphan Olaric
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Sakda Trisak
Special Project Co-Advisor	Mrs.Patama Leelahawong
Department	Chemistry
Academic Year	1999

Abstract

The effect of transition cation on color of plated gold is studied by electroplating process. The effect of mixture of two different transition cation such as Cu(I)-Zn(II) , Cu(I)-Ag(I) , Cu(I)-Co(II) , Zn(II)-Ag(I) , Zn(II)-Co(I) and Ag(I)-Co(II) were studied. Color of plated gold that effected by single cation and the mixture cations is also compared.

The results show that the optimum concentration 0.28g/l of Cu(I) shows pinkish-yellow color of the gold panels. Zn(II)(0.48g/l) only fade away the gold's color. Ag(I)(0.08g/l) produces greenish-yellow color of the gold panels, whereas Co(II) has no effect on color of plated gold. The effect of mixture transition cations on color of plated gold show that Cu(I)-Zn(II) with the ratio of 0.28:0.28(g/l) produces slightly pinkish-yellow color. Ag(I)-Cu(I) with the ratio of 0.08:0.18 (g/l) produces greenish-pinkish-yellow color. Zn(I)-Ag(I) with the ratio of 0.48:0.08 (g/l) shows slightly greenish-yellow color. Mixtures of Co(II) with other transition cations have no effect on plated gold color.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ศักดา ไตรศักดิ์ และ อ.ปีพมา ธิพาวงศ์ อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหา และเอาใจใส่ดูแลการทำงานของวิทยุ จน โครงการงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.ตะวัน สุขน้อย และ อ.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล อาจารย์คณะกรรมการรวมทั้งอาจารย์ภาคเคมีทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนโครงการงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จ ได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อ.มาลินี ฉินนานนท์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการงานพิเศษนี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณชลอ ศรีคงแก้ว ที่เอื้อเฟื้อในการทำรูปภาพประกอบ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ คุณดวงน จรรโลงศิริชัย จากบริษัทพาด้าเคมีคอล จำกัด และคุณปิยวัฒน์ วงศ์พันธุ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และเอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์ เพื่อใช้ในโครงการงานพิเศษ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำโครงการงานพิเศษนี้ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี พระจอมเกล้าฯ ตาดกระบังที่ให้ข้าพเจ้าได้เข้ามาศึกษา ณ ที่แห่งนี้ ได้พบกับสิ่งดีๆ ต่างๆ มากมายที่ไม่มีวันลืม

สุดท้ายขอกราบของพระคุณบิดาและมารดาที่เคารพรักอย่างสูงที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำโครงการงานพิเศษนี้มาตลอด ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบคำผิด ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่แสนดีที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือทุกสิ่งทุกอย่างอย่างเสมอมา

รัศมี อร่ามมั่นคง

สุวรรณภา ลากเจริญ

อรพรรณ โอพาริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินการ	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทอง (Gold)	4
2.2 โลหะผสมของทอง (Gold Alloy)	4
2.2.1 การเกิด Solid Solution	6
2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิด Solid Solution	6
2.3 การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating)	7
2.3.1 ลักษณะทั่วไปของสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือน้ำยาชุบโลหะ	8
2.3.2 ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	9
2.4 การชุบทอง	
2.4.1 ชนิดของน้ำยาชุบทอง	11
2.4.2 อุปกรณ์ในการชุบทอง	11
2.4.3 หลักการชุบทอง	14
2.4.3 การชุบทองในอุตสาหกรรม	15
2.5 การชุบร่องพื้นด้วยเทคนิคเกิดก่อนทำการชุบทอง	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการวิจัยและดำเนินงาน	
3.1 สารเคมี	18
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
3.3 วิธีการทดลอง	19
ตอนที่ 1 การเตรียมสารละลายซุบทอง 24 K	19
ตอนที่ 2 หาปริมาณโลหะทรานสิชันที่เป็นส่วนผสมในน้ำยาซุบทอง	20
ตอนที่ 3 หาปริมาณของคู่โลหะทรานสิชันในน้ำยาซุบทอง	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 สภาวะที่เหมาะสมในการซุบ	21
4.2 ผลเมื่อเติมโลหะทรานสิชันชนิดเดียว	21
4.2.1 ผลของทองแดง	21
4.2.2 ผลของสังกะสี	23
4.2.3 ผลของเงิน	24
4.2.4 ผลของโคบอลต์	25
4.3 ผลเมื่อเติมโลหะทรานสิชัน 2 ชนิด	27
4.3.1 ผลเมื่อใช้ทองแดงเป็นฐาน	27
4.3.2 ผลเมื่อใช้สังกะสีเป็นฐาน	30
4.3.3 ผลเมื่อใช้เงินเป็นฐาน	33
4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.1.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง	39
5.1.2 ผลของโลหะทรานสิชันที่มีต่อสีของทองซุบ	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของโครงผลึกและรัศมีอะตอมของโลหะ	5
ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการเติม CuCN ในปริมาณต่างๆ กันลงในสารละลาย สำหรับชุบทอง 24 K	22
ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการเติม ZnO ในปริมาณต่างๆ กันลงในสารละลาย สำหรับชุบทอง 24 K	23
ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการเติม AgCN ในปริมาณต่างๆ กัน ลงในสารละลาย สำหรับชุบทอง 24 K	24
ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ในปริมาณต่างๆ กัน ลงใน สารละลายสำหรับชุบทอง 24 K	25
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณ โลหะทรานสิชันที่ใช้เป็นฐานในการศึกษาผลเมื่อเติม โลหะทรานสิชัน 2 ชนิด	26
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเติม ZnO ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN ในปริมาณต่าง ๆ	27
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการเติม AgCN ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN ในปริมาณต่าง ๆ	28
ตารางที่ 4.8 แสดงผลของการเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN ในปริมาณต่างๆ	29
ตารางที่ 4.9 แสดงผลของการเติม CuCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO ในปริมาณต่างๆ	30
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการเติม AgCN ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ZnO ในปริมาณต่างๆ กัน	31
ตารางที่ 4.11 แสดงผลของการเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงในสารละลายชุบทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO ในปริมาณต่างๆ	33
ตารางที่ 4.12 แสดงผลของการเติม CuCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO ในปริมาณต่างๆ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.13 แสดงการเติม ZnO ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.08 g/l ของ AgCN ในปริมาณต่างๆ	34
ตารางที่ 4.14 แสดงผลของการเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO ในปริมาณต่างๆ กัน	35
ตารางที่ 1ก แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของทอง	42
ตารางที่ 2ก แสดงค่า E° และค่า Electronegativity ของโลหะทรานสิชัน	43



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงผลึกแบบ FCC (Face Center Cubic)	5
รูปที่ 2.2 แสดงโครงผลึกแบบ HCP (Hexagonal Closed-Packed)	5
รูปที่ 2.3 แสดงการเกิด Solid Solution แบบ Substitutional และแบบ Interstitial	6
รูปที่ 2.4 การกระจายของกระแสไฟฟ้า	10
รูปที่ 2.5 แสดงขนาดของด้านต่างๆ ของฮัลต์เซลล์โดยตัวเลขในสเกลเหล่านี้มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร	13
รูปที่ 2.6 แสดงการต่อชิ้นงานและตัวต่อในการชุบทอง	15
รูปที่ 4.1 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K	21
รูปที่ 4.2 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลาย สำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.14, 0.28 และ 0.36 g/l ของ CuCN ตามลำดับ	22
รูปที่ 4.3 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลาย สำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.16, 0.48 และ 0.80 g/l ของ ZnO ตามลำดับ	23
รูปที่ 4.4 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลาย สำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.02, 0.08 และ 0.12 g/l ของ AgCN ตามลำดับ	24
รูปที่ 4.5 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลาย สำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.04, 0.08 และ 0.10 g/l ของ Co(II)	25
รูปที่ 4.6 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วย (1) ทอง 24 K (2) ทอง 24 K ที่เติม AgCN 0.08 g/l (3) ทอง 24 K ที่เติม CuCN 0.28 g/l (4) ทอง 24 K ที่เติม ZnO 0.48 g/l	26
รูปที่ 4.7 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสีของชิ้นงานเมื่อ เติม ZnO ลงไป ในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN เรียงตามลำดับความเข้มข้นของ ZnO เท่ากับ 0, 0.04, 0.16 และ 0.28 g/l	28
รูปที่ 4.8 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสีของชิ้นงาน เมื่อเติม AgCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.08 g/l ของ CuCN เรียงตามลำดับความเข้มข้นของ AgCN 0, 0.04, 0.08 และ 0.12 g/l	29

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.9	แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสีของชิ้นงานเมื่อเติม CuCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO เรียงตาม ลำดับตามความเข้มข้นของ CuCN เท่ากับ 0, 0.04, 0.12, 0.20 และ 0.28 g/l	31
รูปที่ 4.10	แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสีของชิ้นงาน เมื่อเติม AgCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO เรียงตามลำดับความเข้มข้นของ AgCN เท่ากับ 0, 0.02, 0.08 และ 0.14 g/l	32
รูปที่ 4.11	แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24K กับสีของชิ้นงานเมื่อเติม CuCN ลง ไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.08 g/l ของ AgCN เมื่อความเข้มข้นของ CuCN เท่ากับ 0, 0.1, 0.14 และ 0.18 g/l เรียงตามลำดับ	34
รูปที่ 4.12	แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสีของชิ้นงานเมื่อเติม ZnO ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.08 g/l ของ AgCN เรียงตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นของ ZnO เท่ากับ 0, 0.20, 0.40 และ 0.60 g/l	35
รูปที่ 4.13	แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายชุบทอง 24 K , ทองผสม AgCN , ทองผสม AgCN + ZnO และ ทองผสม ZnO เรียงตามลำดับ	36
รูปที่ 4.14	แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายชุบทอง 24 K , ทองผสม CuCN , ทองผสม CuCN + ZnO และ ทองผสม ZnO เรียงตามลำดับ	36
รูปที่ 4.15	แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายชุบทอง 24 K , ทองผสม CuCN , ทองผสม CuCN + AgCN และ ทองผสม AgCN เรียงตามลำดับ	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การชุบทองเป็นกรรมวิธีการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) ชนิดหนึ่งซึ่งวิธีการนี้ได้ถูกนำมาเผยแพร่ในประเทศกว่ายี่สิบปีแล้ว นิยมใช้ชุบเครื่องประดับ เครื่องหมายและของที่ระลึกต่างๆ ปัจจุบันมีโรงงานชุบทองภายในประเทศอยู่มากมาย

จากสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน ราคาของเครื่องประดับประเภททองรูปพรรณมีมูลค่าสูงขึ้นทำให้ผู้บริโภคต้องการทางเลือกใหม่ในการใช้เครื่องประดับที่มีความสวยงามใกล้เคียงกันกับทองคำและมีราคาถูกกว่า ดังนั้นการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยทองคำจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภค

ในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยทองคำสามารถชุบเคลือบผิวบนโลหะธรรมดาและบนทองรูปพรรณได้ ในการชุบเคลือบผิวโลหะธรรมดาทำให้ราคาของโลหะสูงขึ้นเนื่องจากสีของทองคำเป็นที่ที่สวยงาม มีความคงทน ทางบริษัทผู้ผลิตจึงได้มีการพัฒนาทั้งรูปแบบของเครื่องประดับและสีของทองคำที่นำมาชุบเคลือบผิวให้มีความแปลกใหม่มากยิ่งขึ้น

ปัจจุบันเครื่องประดับชุบทองคำที่มีสีต่างๆ กำลังเป็นที่นิยมทั้งในและต่างประเทศ แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการคิดค้นสูตรน้ำยาชุบทองคำที่มีสีต่างๆ ทำให้โรงงานส่วนใหญ่ต้องนำเข้าน้ำยาชุบทองประเภทนี้จากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพง ประกอบกับบริษัทผู้ผลิตจะไม่เปิดเผยสูตรในการทำเพราะถือว่าเป็นความลับสุดยอดของบริษัท ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งหวังที่จะศึกษาและเตรียมสารละลายสำหรับชุบทองคำสีต่างๆขึ้นเอง โดยการดัดแปลงน้ำยาชุบทองคำให้อยู่ในรูปของทองผสมกับโลหะอื่นๆ (gold alloy) ซึ่งทำให้ได้สีที่เปลี่ยนไปจากเนื้อทองธรรมดา และทำให้ผิวที่ชุบมีความแข็งและทนทานกว่าเดิม เพื่อเป็นประโยชน์ในการผลิต และยังช่วยส่งเสริมอุตสาหกรรมเครื่องประดับในประเทศให้เป็นที่นิยมแพร่หลายอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคู่โลหะทรานสิชันที่มีต่อสีของทองที่ชุบ
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยทองคำ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ปริมาณและชนิดของคู่โลหะทรานสิชันที่เติมลงไปในการละลายสำหรับชุบทอง จะทำให้สีของทองที่ชุบ ได้มีสีต่าง ๆ กัน

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้โกลด์โปรดัสเซียมไซยาไนด์ ($K[Au(CN)_2]$) ในการเตรียมสารละลายชุบทองสีเหลืองปกติ ทำการเติมโลหะทรานสิชันชนิดต่าง ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ลงในสารละลายชุบทอง ซึ่งการทดลองแต่ละครั้งจะใช้โลหะทรานสิชันเพียงชนิดเดียวก่อน เพื่อดูสีที่เกิดขึ้นจากปริมาณโลหะที่เติมลงไปให้ได้สีที่สวยงาม แล้วจึงเติมโลหะทรานสิชันอีกชนิดหนึ่งลงไป ปริมาณต่าง ๆ กัน โดยให้ปริมาณโลหะทรานสิชันชนิดแรกคงที่ และเลือกปริมาณของโลหะทรานสิชันที่ให้สีของทองสวยงามต่างไปจากเดิม

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาโลหะทรานสิชัน 2 ชนิด ที่มีผลต่อสีของทองที่ชุบ โดยเลือกใช้น้ำยาชุบชนิดต่าง ใช้แผ่นทองเหลืองที่ผ่านการชุบนิกเกิลแล้วเป็นแผ่นงานทดสอบ และใช้สแตนเลสเป็นขั้วแอโนด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยเพิ่มความสวยงามให้กับเครื่องประดับที่ชุบทอง
2. ช่วยให้สามารถผลิตเครื่องประดับชุบทองที่มีสีต่าง ๆ กัน เพื่อผู้บริโภคจะได้มีทางเลือกมากขึ้น
3. ลดปริมาณการนำเข้าของน้ำยาชุบที่มาจากต่างประเทศ



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทอง (Gold)

ทองมีสัญลักษณ์คือ Au จัดเป็นธาตุโลหะทรานสิชันในหมู่ IB ตามตารางธาตุ มีเลขออกซิเดชันที่สำคัญคือ +1 และ +3 (Au^+ และ Au^{3+}) Au มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 2 มีการจัดเรียงอะตอมเป็นแบบเส้นตรง ส่วน Au^{3+} มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 4 มีการจัดเรียงอะตอมเป็นแบบสี่เหลี่ยมแบนราบ (square planar) ทองมีเลขอะตอมเท่ากับ 79 มีเลขมวลเท่ากับ 196.96 มีจุดหลอมเหลวที่ $1063^{\circ}C$ ทองจัดเป็นโลหะที่มีค่าสูงชนิดหนึ่งและมีสมบัติต่างจากโลหะชนิดอื่นคือ สีของทองมีสีสวยสะดุดตา มีความเงาวาว มีความเหนียวสามารถยืดเป็นเส้นได้ดีกว่าโลหะชนิดอื่นๆ มีความทนทานต่อการสึกกร่อนสูง และทนต่อการเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงได้ดี ดังนั้นทองคำจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้มากมาย เช่น นำมาใช้เป็นเครื่องประดับ หรือนำมาชุบบนเครื่องประดับ นำมาใช้ในทางอุตสาหกรรม ใช้ชุบบนชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

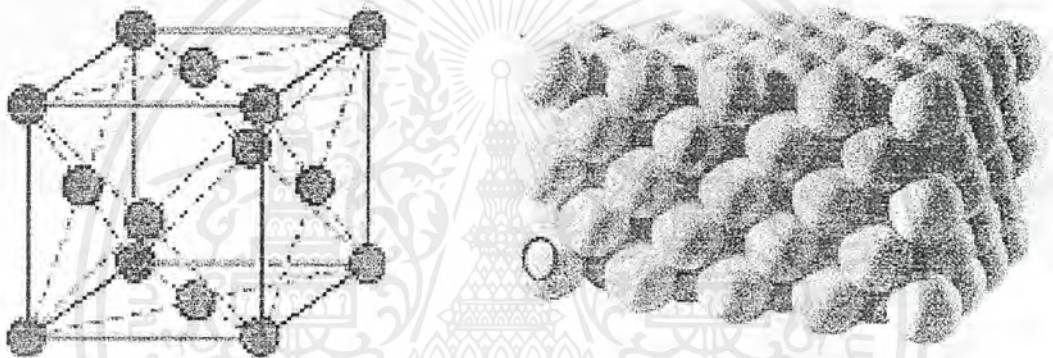
2.2 โลหะผสมของทองคำ (Gold Alloy)

เนื่องจากทองคำเป็นโลหะที่มีค่าสูงและมีความอ่อนมากจึงทำให้ขึ้นรูปได้ยาก จึงมีการพัฒนาให้ทองอยู่ในรูปของโลหะผสมของทองคำ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงลดต้นทุน และทำให้ได้สีที่สวยงามมากขึ้น

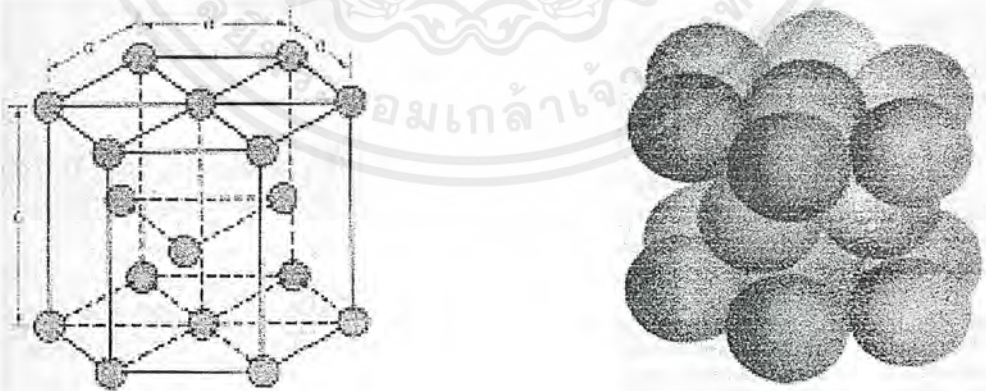
โลหะผสมของทองคำมีลักษณะเป็น Solid Solution คือเป็นสารละลายของของแข็งที่ได้จากโลหะ 2 ชนิดขึ้นไป โดยจะมีโครงสร้างผลึกเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ ในโลหะผสมนี้ทองจัดเป็น Host ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบ FCC คือ unit cell ที่มีอะตอมอยู่ทุกหน้าและทุกมุมของโครงสร้างผลึกรวมกันเป็น 12 อะตอม และโลหะทรานสิชันจัดเป็น impurity atom ที่แทรกเข้าไปโดยทรานสิชันแต่ละตัวจะมีโครงสร้างผลึกต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ชนิดของโครงผลึกและรัศมีอะตอมของโลหะ^[1]

ธาตุทรานสิชัน	สัญลักษณ์	โครงผลึก	รัศมีอะตอม(nm)
ทอง	Au	FCC	0.14420
ทองแดง	Cu	FCC	0.1278
เงิน	Ag	FCC	0.14447
สังกะสี	Zn	HCP	0.13324 ,0.14565
โคบอลต์	Co	HCP	0.12536 ,0.12484



รูปที่ 2.1 แสดง โครงผลึกแบบ FCC (Face center cubic)^[2]



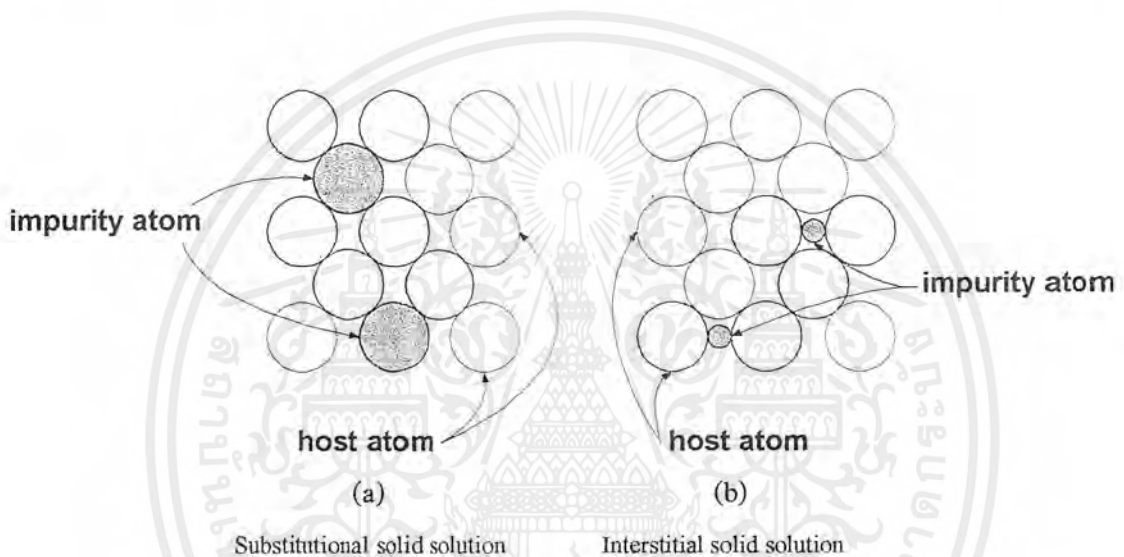
รูปที่ 2.2 แสดง โครงผลึกแบบ HCP (Hexagonal closed-packed)^[2]

2.2.1 การเกิด Solid Solution

แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

1. *Substitutional Solid Solution* เป็นสารละลายของของแข็งที่เกิดจาก impurity atom เข้าไปแทนที่ใน host atom อะตอมของ impurity นี้จะต้องมีขนาดใกล้เคียงหรือเท่ากับ host atom

2. *Interstitial Solid Solution* เป็นสารละลายของของแข็งที่เกิดจาก impurity atom เข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่าง host atom อะตอมของ impurity นี้จะต้องมีขนาดเล็กกว่า host atom



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิด Solid Solution แบบ Substitutional และแบบ Interstitial

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิด Solid Solution^[1]

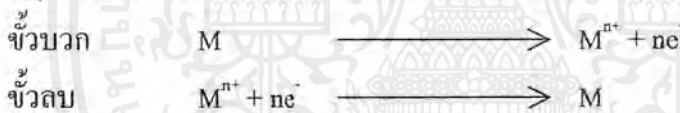
1. ขนาดของ impurity atom ถ้ามีขนาดเท่ากับอะตอมของ host หรือต่างกันน้อยกว่า 15% โลหะทั้งสองจะละลายซึ่งกันและกัน และจะมีแนวโน้มเกิดเป็น Substitutional Solid Solution
2. ประจุไอออน ถ้าโลหะมีประจุเดียวกันก็จะทำให้เกิด Substitutional Solid Solution ได้ง่ายกว่าโลหะที่มีประจุต่างกัน
3. ประเภทของโครงสร้างผลึก ถ้าโลหะมีโครงสร้างผลึกชนิดเดียวกัน จะมีแนวโน้มเกิดเป็น Substitutional Solid Solution
4. ค่า Electronegativity ถ้ามีค่าใกล้เคียงกันจะทำให้เกิด Substitutional Solid Solution ได้ดีกว่าโลหะที่มีค่าต่างกัน

2.3 การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating)^[3]

การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) คือขบวนการที่ใช้ไฟฟ้าและเคมีทำให้ชิ้นงานที่เป็นโลหะหรือวัสดุอื่นที่เคลือบผิวด้วยโลหะมีผิวเคลือบเป็นโลหะอีกชนิดหนึ่งที่ต้องการ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ชิ้นงานมีผิวที่สวยงามและทนทานต่อการสึกกร่อนมากขึ้น

การชุบเคลือบผิววัสดุโดยใช้กระแสไฟฟ้า อาศัยหลักการที่ว่ากระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี นั่นคือ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไอออนบวกหรือแคทไอออนจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบหรือแคโทด ส่วนไอออนลบหรือแอนไอออนจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวกหรือแอโนด แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เช่น เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายของนิกเกิลซัลเฟต อนุภาคนิกเกิล (Ni^{2+}) จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบเพื่อรับอิเล็กตรอนกลายเป็นโลหะนิกเกิลเกาะติดบนขั้วไฟฟ้า ส่วนอนุภาคซัลเฟต (SO_4^{2-}) จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวกทำปฏิกิริยากับโลหะนิกเกิล กลายเป็นนิกเกิลซัลเฟต ละลายอยู่ในสารละลาย

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้



เมื่อ M^{n+} คือ แคทไอออน

การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า ต้องมีตัวนำไฟฟ้าในการชุบ จากการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ ตัวนำไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

ประเภทแรก เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นแค่เพียงสะพานเพื่อให้ไฟฟ้าผ่านได้เท่านั้น เช่น โลหะต่างๆ แกรไฟต์ เป็นต้น

ประเภทสอง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวของมันเอง เช่น น้ำเจือกรด สารละลายของเกลือต่างๆ เป็นต้น เมื่อปี ค.ศ. 1832 – 1833 ไมเคิล ฟาราเดย์ ได้เรียกตัวนำประเภทที่สองนี้ว่า อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) หรือน้ำยาชุบ ตัวนำประเภทนี้เองที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าโดยตรง

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในน้ำยาชุบ อนุภาคเล็กๆพวกหนึ่งของน้ำยาชุบจะวิ่งไปยังขั้วบวก (Anode) อนุภาคเล็กๆ อีกพวกหนึ่งของน้ำยาชุบจะวิ่งไปยังขั้วลบ (Cathode) อนุภาคเล็กๆ ดังกล่าวเรียกว่าไอออน (Ions) แต่ละไอออนจะมีประจุไฟฟ้าประจำตัวทุกตัว

ไอออนที่วิ่งไปยังขั้วบวก (Anode) เรียกว่าแอนไอออน (Anions) จะมีประจุไฟฟ้าลบ ส่วนไอออนที่วิ่งไปยังขั้วลบ (Cathode) เรียกว่าแคทไอออน (Cations) จะมีประจุไฟฟ้าบวก

ขณะเกิดการแยกสลายดังกล่าวในน้ำยาชุบนั้นเราจะมองไม่เห็น ปฏิกิริยาใด ๆ เกิดขึ้นในสารละลายนั้นเลย แต่จะไปเห็นเกิดขึ้นที่ขั้วบวกหรือขั้วลบ

การต่อวงจรไฟฟ้าในน้ำยาชุบ ตัวชิ้นงานที่ต้องการชุบจะต่ออยู่กับขั้วลบ เพื่อรับอิเล็กตรอน เกิดเป็นโลหะเคลือบอยู่ที่ชิ้นงาน ส่วนตัวล่อจะต่อไว้กับขั้วบวก

2.3.1 ลักษณะทั่วไปของสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือน้ำยาชุบโลหะ

สารละลายที่ใช้ในการชุบเคลือบผิวโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า โดยปกติ เป็นสารผสมตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งสารผสมแต่ละชนิด ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำยาชุบโลหะ อาจแบ่งออกได้ดังนี้

1. สารที่เป็นตัวก่อกำเนิดโลหะ เช่น ในการชุบนิกเกิลนั้น ตัวก่อกำเนิดโลหะนิกเกิลคือนิกเกิลซัลเฟต (NiSO_4)

2. สารทำให้เกิดการนำไฟฟ้าดีขึ้น สารพวกนี้จะมีคุณสมบัติในด้านการนำไฟฟ้าที่ดีเมื่ออยู่ในสารละลาย โดยสารพวกนี้จะไปลดค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำยาชุบโลหะลงทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารละลายได้สะดวกขึ้น การแยกสลายของไอออนก็ยิ่งมากขึ้นด้วย ทำให้อัตราการเกาะของโลหะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สารพวกนี้ได้แก่กรดหรือเบสชนิดต่างๆ เช่น กรดซัลฟิวริก หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

3. สารควบคุมความเป็นกรด-เบสของน้ำยาชุบ ในน้ำยาชุบโลหะถ้ามีสภาพความเป็นกรดมากเกินไป ปริมาณของไฮโดรเนียมไอออนจะมีมากขึ้น ดังนั้น เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในน้ำยาชุบโลหะ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายไอออนของโลหะจะน้อยลง เพราะส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปในการแยกสลายไฮโดรเนียมไอออน ซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพของขั้วบวกและขั้วลบแตกต่างกันมาก หรือถ้าในน้ำยาชุบโลหะมีสภาพเป็นเบสมากเกินไป เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในน้ำยาชุบโลหะ ออกซิเจนจะเกิดขึ้นไม่ให้เกิดการละลายของขั้วบวกออกมา หรือบางทีอาจทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ไหลสู่น้ำยาชุบเลย ซึ่งปรากฏการณ์ที่ขั้วบวกไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเรียกว่า “สภาพมีขั้ว” (polarity)

4. สารที่ทำให้เงาหรือน้ำยาเงา (brightener) ในงานชุบบางชนิดที่ต้องการความเงางาม จึงมีการเติมเบสลงในน้ำยาชุบโลหะ เพื่อให้ผิวของชิ้นงานมีลักษณะแวววาวสวยงาม นอกจากนี้ น้ำยาเงายังเป็นตัวเพิ่มสมบัติอื่นๆ แก่ผิวของชิ้นงานอีก เช่น เพิ่มความแข็ง และลดแรงเค้นของชิ้นงาน

5. สารรักษาระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมอ (leveller) สมบัติของสารพวกนี้จะทำให้ขนาดของโครงสร้างผลึก (grain size) เล็กกลงกว่าเดิม และทำให้ระดับความหนาของโลหะที่มาเกาะเท่ากัน

6. สารทำให้เปียก (wetting agent) เป็นสารที่มีความสำคัญมากในการชุบโลหะเงา เพราะจะไปลดแรงตึงผิวของสารละลายทำให้ชิ้นงานที่ได้ไม่เกิดรอยค่าง การใช้สารทำให้เปียกขึ้นอยู่กับส่วนผสมของตัวทำให้เงา และสารประกอบในน้ำยาชุบโลหะ การใช้สารทำให้เปียกที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ความเงาสูดหายไป หรือทำให้ความหนา (levelling) ของโลหะที่มาเกาะไม่เท่ากัน

2.3.2 ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

1. ค่าของพีเอช (pH Values) ค่า pH มีอิทธิพลอย่างมากในการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าบางชนิด ถ้าค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ น้ำยาชุบโลหะเสื่อมคุณภาพหรือชิ้นงานที่ได้จากการชุบมีตำหนิ กล่าวคือถ้าค่าของพีเอชน้อยจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของชิ้นงานลดต่ำลง ถ้าค่าของพีเอชมากจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของตัวล่อ ลดต่ำลงเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้การควบคุมค่าของพีเอชจึงมีความสำคัญมาก น้ำยาทุกชนิดจะมีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่โดยเฉพาะค่าหนึ่ง ฉะนั้นจึงควรพยายามควบคุมให้ค่าพีเอชอยู่ในขอบเขตที่กำหนดให้ได้

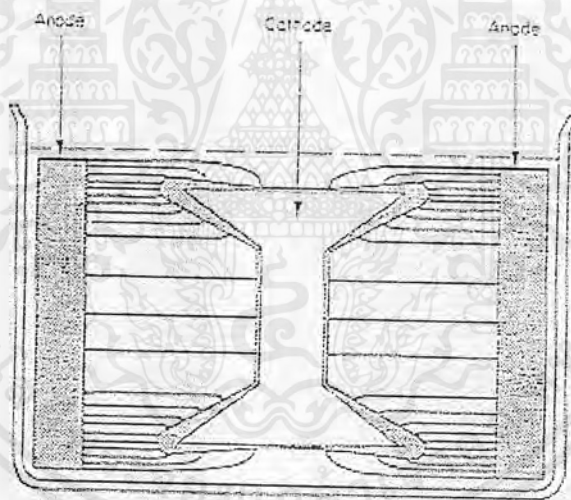
2. ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า หมายถึง จำนวนของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ของขั้วไฟฟ้านั้น เช่น ความหนาแน่นของกระแสที่ขั้วลบ เป็นกระแสที่ช่วยให้เกิดการเคลือบผิวที่ขั้วลบ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของขั้วลบนั้น โดยส่วนมากหน่วยของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็น แอมแปร์/ตารางฟุต หรือ แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร ฉะนั้นการคำนวณหาพื้นที่ของชิ้นงาน เพื่อใช้กระแสไฟฟ้าที่ถูกต้องจึงมีความสำคัญมาก เพราะในน้ำยาชุบแต่ละชนิดต้องการความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันไป ดังนั้นในการชุบแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงพื้นที่ของชิ้นงานด้วยเสมอ

3. การกระจายของกระแสไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าธรรมชาติของการกระจายของกระแสไฟฟ้ามีการกระจายอย่างหนาแน่นที่สุดที่บริเวณใกล้กับขั้วไฟฟ้า จุดที่อยู่ห่างออกไปการกระจายของกระแสไฟฟ้าเบาบางลง การกระจายของกระแสไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย หรืออาจหมายถึงการเคลื่อนที่ของไอออนจากสารละลายไปยังขั้วไฟฟ้า ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าที่ใดระยะทางการเคลื่อนที่ของไอออนใกล้บริเวณนั้นจะมีการเกาะที่หนากว่า บริเวณที่ระยะทางที่ไอออนเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าไกลกว่า

4. ลักษณะของขั้วแอโนดที่ใช้ในการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยทั่วไปนิยมใช้ขั้วแอโนดที่ละลายน้ำได้ เพื่อให้ปริมาณอ็อกซิเจนในสารละลายมีอยู่เท่าเดิม ลักษณะขั้วแอโนดที่ละลายน้ำได้ ตามทฤษฎีควรเป็นดังนี้

- มีการละลายออกมาอย่างสม่ำเสมอและเรียบ
- มีการเกิดตะกอนของสิ่งสกปรกน้อยที่สุด
- มีประสิทธิภาพของขั้วแอโนดสูง
- มีความบริสุทธิ์สูง

5. อุณหภูมิของน้ำยาชุบ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเคลือบผิวของโลหะ โดยพบว่าถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต่างศักย์ของน้ำยาชุบจะลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอ็อกซิเจนเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดความหนืดของน้ำยาชุบลง แต่อย่างไรก็ตามอาจทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นได้



รูปที่ 2.4 การกระจายของกระแสไฟฟ้า^[3]

6. สารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน ในการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้านั้นถ้าในน้ำยาชุบมีสารประกอบเชิงซ้อนอยู่ ทำให้การเกาะของโลหะเรียบและแน่น เช่น ในการชุบเคลือบผิวด้วยทองแดงในสภาวะเบส ใช้สารประกอบที่มีไซยาไนด์อยู่เป็นสารที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนโดยอยู่ในรูป



7. การกวนของน้ำยาชุบ การกวนทำให้ประสิทธิภาพของการชุบเคลือบผิวดีขึ้น และยังช่วยลดความต่างศักย์ที่เกิดจากความเข้มข้นสูง นอกจากนี้การกวนตลอดเวลาทำให้ความเข้มข้นของอโอนโลหะในน้ำยาชุบมีความสม่ำเสมอเท่าๆ กัน

2.4 การชุบทอง^[4]

2.4.1 ชนิดของน้ำยาชุบทอง

น้ำยาชุบทองแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ตามสภาพของน้ำยาได้ดังนี้

1. น้ำยาชุบทองชนิดด่าง (Alkaline Cyanide Gold) น้ำยาชุบทองชนิดด่างนี้มีทั้งชนิดน้ำยาชุบที่ชุบแล้วได้โลหะทองบริสุทธิ์ และทั้งชนิดที่ชุบแล้วได้ทองผสมกับโลหะอื่น
2. น้ำยาชุบทองชนิดเป็นกลาง (Neutral Gold) น้ำยาชุบทองประเภทนี้สภาพของน้ำยาจะเป็นกลาง ซึ่งทำให้ง่ายต่อการบำรุงรักษา และผู้ปฏิบัติงานก็ลดอันตรายจากไซยาไนด์ ซึ่งน้ำยามีค่า pH ระหว่าง 6-7
3. น้ำยาชุบทองแบบกรด (Acid Gold) น้ำยาชุบทองแบบกรดนี้มีทั้งแบบชุบแล้วได้เป็นทองผสม (ทองเค) และมีทั้งได้ทองเปอร์เซ็นต์สูง หรือทองบริสุทธิ์ (Pure Gold) และอีกอย่างหนึ่งเป็นแบบสไตรค์ ซึ่งน้ำยาชนิดนี้มี pH ประมาณ 4.5 การชุบทองแบบกรดนี้ทองจะอ่อนสามารถชุบให้หนาได้โดยไม่เปลี่ยนสี
4. น้ำยาชุบทองแบบไม่มีไซยาไนด์ (Non-Cyanide Gold) น้ำยาชุบทองแบบนี้มีใช้น้อยมาก เพราะเกลือทองที่ใช้จะใช้ประเภททองซัลไฟท์ (Gold Sulphite) ทองแบบนี้ไม่ค่อยทนทาน ค่า pH อยู่ประมาณ 9.5

2.4.2 อุปกรณ์ในการชุบทอง

1. ตัวล่อ (Anode)

สแตนเลส ใช้ในน้ำยาชุบทองประเภทเป็นด่าง (Alkaline Cyanide Baths) ซึ่งการชุบทองแบบนี้สามารถใช้ถังเป็นสแตนเลสและต่อขั้วบวกเข้ากับถังโดยใช้ถังเป็นตัวล่อ แต่สแตนเลสไม่ควรใช้เป็นตัวล่อในน้ำยาชุบทองแบบกรด และน้ำยาชุบทองแบบเป็นกลาง

ทอง ใช้เป็นตัวล่อในน้ำยาชุบทองประเภทด่าง (Alkaline Cyanide Baths)

กราไฟท์ หรือ คาร์บอน ก็สามารถใช้เป็นตัวล่อในการชุบทองได้ แต่ต้องใส่ถุงประเภท Cotton หรือถุงโพลีโพรพีลีน (Polypropylene) เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในแท่ง

กราฟท์หรือคาร์บอนละลายออกมาปนกับน้ำยาชุบ

แพลตตินัมไททาเนียม (Platinize Titanium) ซึ่งเป็นดีบุกเคลือบด้วยแพลตตินัม สามารถใช้เป็นตัวล่อในน้ำยาชุบของที่มีสภาพน้ำยาเป็นกรด และใช้เป็นตัวล่อในการชุบ โรเดียม

2. รวบรวมขบวนการชุบ

รวบรวมขบวนการชุบและขบวนการขึ้นงาน ควรเป็นโลหะไททาเนียมหรือสแตนเลส ถ้าใช้ รวบรวมของแดงต้องชุบด้วยนิกเกิลเสียก่อน ถ้าไม่ชุบก่อนแล้วของแดงจะทำปฏิกิริยากับน้ำยาชุบของ ทำให้โลหะของแดงตกลงไปปะปนในน้ำยาชุบของได้ อันเป็นสาเหตุทำให้น้ำยาชุบของเสียหายได้

3. ถึงขบวนการชุบ

ถึงขบวนการชุบใช้แก้วทนความร้อนหรือทำด้วยโพลีเอททิลีน ถึงสแตนเลส หรือถังพี.วี.ซี. ก็ได้ และถ้าน้ำยาชุบของจำนวนมากจำเป็นต้องใช้เครื่องกรองน้ำยาชุบของด้วยเพื่อให้น้ำยา สะอาดอยู่เสมอ

4. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier)

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใช้แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.) มาเป็นกระแส ไฟฟ้าตรง (D.C.) ขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่กำหนดในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้านั้นใช้ ขนาดแรงเคลื่อนไม่เกิน 12 โวลต์ สำหรับกระแสไฟฟ้าจำนวนมากน้อยแค่ไหนก็ต้องขึ้นอยู่กับ ขนาดและจำนวนเนื้อที่ของชิ้นงานที่จะชุบแต่ละครั้ง เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ สามารถใช้กับถังชุบหลายๆ ถังก็ได้ ถ้าหากมีกระแสไฟฟ้าสูงพอ แต่ถ้าหากว่าเครื่องแปลงกระแส ไฟฟ้า 1 ตัว ใช้กับถังชุบ 1 ถังก็จะสะดวกในการควบคุมกระแสไฟฟ้าแต่ละถัง

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีแบบระบายความร้อนด้วยลม (Air cool) กับแบบ ระบายความร้อนด้วยน้ำมัน (Oil cool) และมีระบบใช้กับไฟฟ้า 220 โวลต์ กับ 380 โวลต์ ซึ่งเป็น ระบบที่ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรม แต่ถ้าหากเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กๆ เช่น ประเภทรับชุบของ เล็กๆ น้อยๆ ก็ใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบ 220 โวลต์ ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 10 แอมแปร์ จนถึง แอมแปร์มากๆ ตามต้องการ

เครื่องขนาด 10 แอมแปร์ ใช้ชุบของเล็กๆ เช่น ชุบเครื่องประดับต่างๆ ใช้ชุบของ ชุบเงิน, ชุบนิกเกิล และชุบโครเมียม

5. น้ำยาชุบ

เป็นสารละลายของเกลือโลหะชนิดต่างๆ กับสารเคมีชนิดอื่นๆ ที่ผสมลงไปเพื่อ ช่วยให้ประสิทธิภาพของน้ำยาชุบดียิ่งขึ้น น้ำยาชุบจะแตกต่างกันไปแล้วแต่สูตรของบริษัทผู้คิดค้น สูตรน้ำยาชุบนั้นๆ ตัวอย่างเช่น

สูตรน้ำยาชุบทอง 24 K (24 Karat Gold)

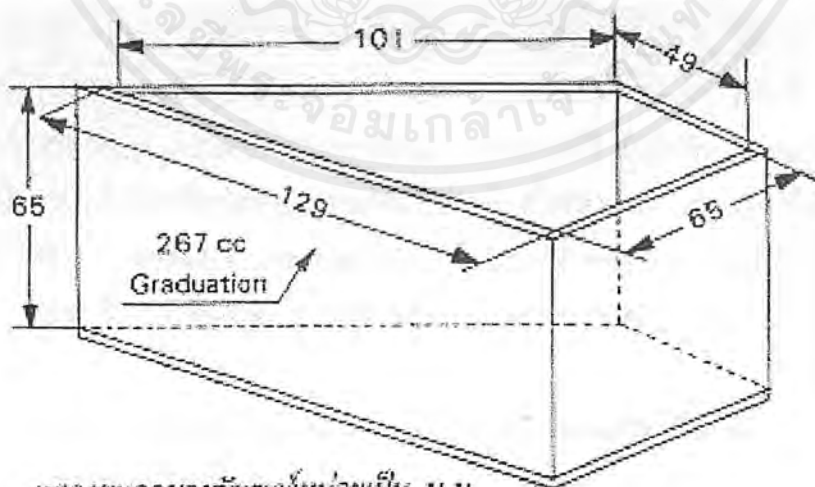
โกลด์โปตัสเซียมไซยาไนด์ ($K[Au(CN)_2]$)	1.5 – 3 กรัม/ลิตร
โปตัสเซียมไซยาไนด์ (KCN)	7.5 กรัม/ลิตร
ไดโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)	15 กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	60 – 70 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	10 – 40 แอมแปร์/ตารางฟุต

6. ฮัลล์เซลล์ (Hull Cell)

ฮัลล์เซลล์เป็นภาชนะที่ทำด้วยพลาสติก เช่น โพลีเอทิลีน ใช้บรรจุน้ำยาชุบที่มีขนาดเล็กหรือเป็นการย่อยส่วนลึงชุบปกติ โดยจะมีรูปร่างเป็นถังสี่เหลี่ยมคางหมู

ฮัลล์เซลล์มีประโยชน์ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำยา และภาวะการทำงาน โดยจะนำน้ำยาชุบ ที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพใส่ลงไปในฮัลล์เซลล์ ปรับอุณหภูมิให้เท่ากับที่ใช้ชุบจริง แล้วใส่ขั้วบวก และขั้วลบตามตำแหน่ง จากนั้นก็ต่อไฟฟ้ากระแสตรงให้ครบวงจรโดยใช้กระแสไฟฟ้า 2-3 แอมแปร์ไหลผ่าน สำหรับน้ำยาชุบทั่วไป แต่ถ้าเป็นน้ำยาชุบโครเมียมจะใช้กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ ชุบเคลือบผิวแคโทดประมาณ 5-10 นาที (ขึ้นกับชนิดของน้ำยา) แล้วนำขั้วแคโทดออกมาล้างทำความสะอาด และจดบันทึกลักษณะของการชุบโดยละเอียด จากนั้นนำผลที่บันทึกไว้และลักษณะของชิ้นงานหรือขั้วแคโทดมาแปรความถึงลักษณะการเกาะชุบผิว ซึ่งจะเป็นแนวทางที่จะบอกให้ทราบว่าภาวะการทำงานและน้ำยาชุบที่ใช้คืออยู่แล้ว หรือควรแก้ไขต่อไป

ฮัลล์เซลล์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีขนาด 267 มิลลิลิตร ดังรูป



แสดงขนาดของฮัลล์เซลล์หน่วยเป็น มม.

รูปที่ 2.5 แสดงขนาดของด้านต่างๆ ของฮัลล์เซลล์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร^[5]

ประโยชน์ของฮัลต์เซลล์

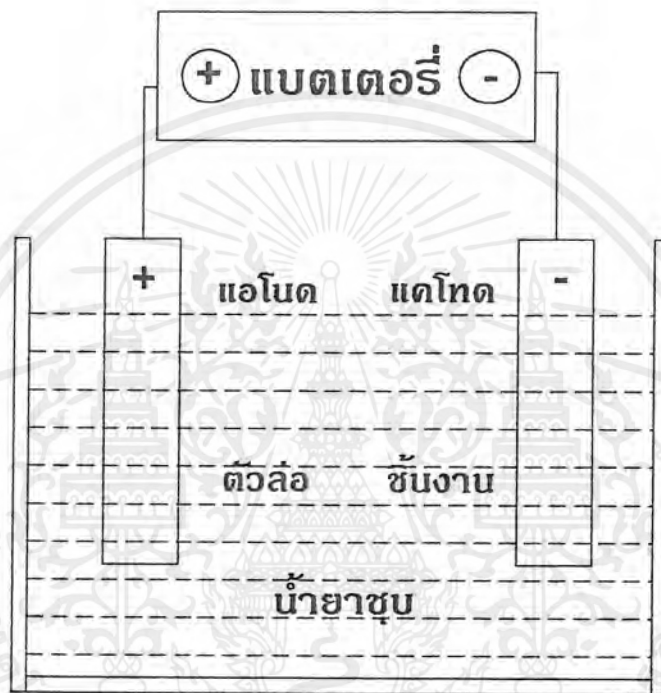
1. สามารถประมาณความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ในช่วงที่ทำการชุบแล้ว ได้ผิวที่ชุบเป็นเงางาม และค่าที่ควรใช้ที่ดีที่สุดควรเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้
2. ช่วยประมาณค่าความเข้มข้นของสารที่เป็นองค์ประกอบของน้ำยาชุบ เช่น ปริมาณของไอออนของโลหะที่จะไปเกาะบนผิวของชิ้นงานมีมากเกินไป ก็จะทำให้ต้องใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติจึงจะทำให้ชิ้นงานเงางาม
3. จากลักษณะการเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบของฮัลต์เซลล์จะช่วยบอกได้ว่าสารเพิ่มคุณสมบัติ เช่น น้ำยาเง สารเพิ่มความชื้น มีปริมาณมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งสะดวกกว่าการวิเคราะห์ทางเคมี
4. สิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการให้มีในน้ำยาชุบ เช่น ไอออนของโลหะอื่นๆ หรือสารอินทรีย์เคมี ถ้ามีแล้วจะมีผลต่อการชุบหรือไม่ จะดูได้จาก การเกาะเคลือบผิวของขั้วแคโทด เพราะถ้าหากสิ่งเหล่านี้มีปริมาณไม่เกินขีดจำกัดที่จะมีได้ก็ ไม่เป็นผลเสียหยาอะไร แต่ถ้ามีเกินขีดจำกัดจึงปรากฏผลออกมาให้เห็น
5. ฮัลต์เซลล์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจ เกี่ยวกับสารเพิ่มคุณสมบัติกำลังการยึดเกาะ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าค่าสุดท้ายที่จะใช้ได้ ประสิทธิภาพของขั้วลบโดยเฉลี่ย กำลังการเคลือบผิว ผลของ pH อุณหภูมิ สารที่เกิดจากการแตกสลายในขณะที่ชุบเป็นต้น

2.4.3 หลักการของการชุบทอง^[4]

การชุบทองเป็นส่วนหนึ่งของกรรมวิธีการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า มีหลักการแยกเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

1. ชิ้นงานที่จะชุบต้องเป็นโลหะหรือวัสดุอื่นที่เคลือบผิวด้วยโลหะไว้ก่อนแล้วเพื่อให้เป็นสื่อไฟฟ้า เช่น การชุบดอกไม้ทอง และชุบพลาสติก
2. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ชุบต้องเป็นกระแสไฟฟ้าตรง (D.C.) มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม
3. ต้องจุ่มชิ้นงานที่จะชุบลงในถังหรือภาชนะบรรจุน้ำยาชุบ (Electrolyte) โดยต่อชิ้นงานที่จะชุบเข้ากับขั้วลบ (Cathode) และต่อแผ่นตัวล่อที่ขั้วบวก (Anode)

ในการชุบทองต้องใช้เกลือทองหรือโกลด์โปตัสเซียมไซยาไนด์เป็นสารละลายโกลด์โปตัสเซียมไซยาไนด์ มีลักษณะเป็นเกลือสีขาวคล้ายน้ำตาลทราย ที่นิยมใช้ในการชุบทองปัจจุบันนี้จะเป็นทองโกลด์โปตัสเซียมไซยาไนด์ 68% (Gold Potassium Cyanide 68% ($K[Au(CN)_2]$) หรืออาจจะใช้ทองคำแท้ละลายด้วย Aqua Regia ($HCl:HNO_3 = 3:1$) ก็ได้



รูปที่ 2.6 แสดงการต่อชิ้นงานและตัวล่อในการชุบทอง

ตัวล่อ หรือ ขั้วบวก = แอโนด (Anode)

ชิ้นงาน หรือ ขั้วลบ = แคโทด (Cathode)

2.4.4 การชุบทองในอุตสาหกรรม^[6]

ได้มีการชุบทองบนโลหะหลายประเภท เช่น ทองเหลือง ทองแดง เงิน ทองเหลืองอ่อน โลหะที่ชุบเคลือบผิวแล้วด้วยนิกเกิล เหล็กกล้าไร้สนิม และโลหะผสมของสังกะสีเป็นต้น โดยความเข้มข้นของทองในน้ำยาชุบจะต่ำเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากการล้าง คือ ถ้าความเข้มข้นของทองในน้ำยาชุบสูงเมื่อทำการชุบแล้วจะทำให้เกิดชั้นของทองหนาเกินไปซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทาง

เศรษฐกิจ แล้วยังทำให้ส่วนประกอบของน้ำยาชุบเปลี่ยนไปอีกด้วย

การที่มีโลหะชนิดอื่นเกิดเป็นชั้นเคลือบผิวร่วมกับทองเพื่อให้ได้เจดสีต่างๆ กันไป ก็คือโลหะชนิดอื่นจะไปเกิดเป็นโลหะผสมกับทอง โลหะดังกล่าวนี้ ได้แก่ ทองแดง เงิน แคลเดียม คีบุก สังกะสี และโคบอลต์ เป็นต้น ซึ่งสีของชั้นเคลือบผิวของโลหะผสมทองนี้จะไม่สามารถทำนายได้ขึ้นอยู่กับเตรียมส่วนผสมของโลหะผสม

1. ทองสีชมพูและทองสีแดง (Pink, rose and red gold)

ในน้ำยาชุบชนิดอัลคาไลน์ไซยาไนด์ประกอบด้วยทองและทองแดง สีของชั้นเคลือบผิวจะเปลี่ยนแปลงจากสีค่อนข้างแดงจนเป็นสีชมพู เมื่อชั้นเคลือบผิวประกอบด้วยทองแดง 20 เปอร์เซ็นต์

2. ทองสีเขียว (Green Gold)

ชั้นเคลือบผิวของทองสีเขียว จะได้จากน้ำยาชุบที่ประกอบด้วยเงินหรือแคลเดียมหรือเติมทั้งเงินและแคลเดียมจนกระทั่งชั้นเคลือบผิวมีสีตามต้องการปกตินิยมใช้เงิน

สีเขียวจะเริ่มปรากฏเมื่อระบบโลหะผสมมีทองอยู่ในช่วง 75–84 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในน้ำยาชุบชนิดอัลคาไลน์ไซยาไนด์ เงินจะเป็นโลหะมีสกุล (noble metal) มากกว่าทอง ขณะที่แคลเดียมจะเป็นโลหะมีสกุลน้อยกว่าทอง ดังนั้นการเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า จะมีผลต่อส่วนประกอบในระบบโลหะผสมทอง – เงิน คือปริมาณเงินจะลดลงในชั้นเคลือบผิว ซึ่งให้ผลตรงกันข้ามกับระบบโลหะผสมทอง – แคลเดียม คือปริมาณแคลเดียมจะเพิ่มขึ้นในชั้นเคลือบผิว

3. ทองสีเหลือง (Yellow Gold)

โลหะผสมชนิดนี้จะมีช่วงของสีใกล้เคียงกับสีของทอง โลหะที่ใช้ในการเกิดเป็นโลหะผสมกับทองได้แก่ นิกเกิลและโคบอลต์ นิกเกิลจะเป็นสารทำให้ชั้นเคลือบผิวมีสีทองสว่างลดขนาดของโครงสร้างผลึกและความเป็นรูพรุนของชั้นเคลือบผิว

ในน้ำยาชุบชนิดอัลคาไลน์พบว่ามีการใช้งานสั้นและหาคประสิทธิภาพเร็ว จึงยากต่อการควบคุมเพื่อให้ได้ชั้นเคลือบผิวที่มีความมันวาว เมื่อชั้นเคลือบผิวมีความหนาเกินกว่า 5 ไมโครเมตร

4. ทองสีขาว (White Gold)

ในน้ำยาชุบชนิดไซยาไนด์ซึ่งประกอบด้วยนิกเกิลและสังกะสี จะให้ชั้นเคลือบผิวทองสีขาว ที่มีความมันวาว ทนทานต่อความหมองและการขัดสีอย่างดียิ่ง

2.5 การชุบรองพื้นด้วยนิกเกิลก่อนทำการชุบทอง

การชุบทองจะทำให้สวยงามสุกใสได้จะต้องทำให้ชิ้นงานเป็นเงาสุกใสก่อน เพราะถ้าหากชิ้นงานที่จะชุบทองไม่เป็นเงา หลังจากชุบทองแล้วลักษณะของทองบนผิวชิ้นงานจะไม่เงา ซึ่งโลหะที่นิยมนำมาใช้ในการชุบรองพื้น ได้แก่ นิกเกิล

นิกเกิลมีจุดหลอมเหลว 1452 °C มีความแข็งประมาณ 80 - 120 BrineII นิกเกิลถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากในอุตสาหกรรมการชุบเคลือบผิว โดยใช้กระแสไฟฟ้า เพราะนิกเกิลมีความทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดี ดังนั้นการชุบรองพื้นด้วยนิกเกิลบนโลหะอื่น ๆ จะเป็นการรักษาเนื้อโลหะนั้นไม่ให้เกิดสนิมง่าย และยังช่วยทำให้โลหะที่ชุบสวยงาม

การเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดขั้นตอนหนึ่งของขบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า เพราะการเตรียมชิ้นงานที่ดีจะช่วยให้การชุบเคลือบผิวของชิ้นงานมี คุณภาพดี คือ สวยงาม และยึดเกาะแน่นทนทาน

หลักการของการเตรียมชิ้นงาน คือ ต้องทำความสะอาดผิวชิ้นงานให้เรียบและสะอาดปราศจากคราบไขมันและสิ่งสกปรกอื่น ๆ

ในอุตสาหกรรมการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าชนิดอื่นๆ เช่น ชุบทองแดง นิกเกิล โครเมียม ฯลฯ ทำชิ้นงานใหญ่หรือมีชิ้นงานจำนวนมาก การเตรียมชิ้นงานจำเป็นต้องใช้วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติม ลงทุนสูง

การเตรียมชิ้นงานแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- การขัดผิวให้เรียบเป็นมัน
- การล้างทำความสะอาดผิว มีวิธีดังต่อไปนี้
 - ล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาด
 - ล้างด้วยน้ำสะอาด
 - ล้างด้วยวิธี Electroclean
 - ล้างด้วยน้ำกลั่น
 - แช่ในกรด H_2SO_4 2 %
 - ล้างน้ำกลั่นให้สะอาดอีกครั้ง

บทที่ 3

วิธีการวิจัยและดำเนินการ

3.1 สารเคมี

1. โกลด์โปแตสเซียมไซยาไนด์ ($K[Au(CN)_2]$)
2. โพแตสเซียมไซยาไนด์ (KCN)
3. โพแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)
4. คอปเปอร์ไซยาไนด์ ($CuCN$)
5. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
6. ซิลเวอร์ไซยาไนด์ ($AgCN$)
7. โคบอลต์ไนเตรต ($Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$)
8. สารทำความสะอาดสำหรับขบวนการ Electroclean
9. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
10. น้ำกลั่น

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- | | |
|-------------------------------|-------|
| 1. บีกเกอร์ ขนาด 50 ml | 1 ใบ |
| 500 ml | 2 ใบ |
| 1000 ml | 2 ใบ |
| 2. แท่งแก้วคนสาร | 1 อัน |
| 3. ช้อนตักสาร | 3 อัน |
| 4. คีมคีบ | 2 อัน |
| 5. กระจกฉีดยาน้ำกลั่น | 1 อัน |
| 6. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 ml | 1 อัน |
| 7. กระจกตวง ขนาด 10 ml | 1 อัน |
| 100 ml | 1 อัน |

- | | |
|--|-----------|
| 8. เทอร์โมมิเตอร์ 100 °C | 1 อัน |
| 9. ถุงมือ | 3 คู่ |
| 10. แปรงขัดแผ่นทองเหลือง | 1 อัน |
| 11. นาฬิกาจับเวลา | 1 อัน |
| 12. แผ่นสแตนเลส | 1 แผ่น |
| 13. ฮัลด์เซลล์ | 1 อัน |
| 14. เครื่องชั่งละเอียด | 1 เครื่อง |
| 15. เครื่องสัญญาณ ไฟฟ้า ขนาด 10 โวลต์ | 1 เครื่อง |
| 16. ไคร้เป่าลม | 1 อัน |
| 17. แผ่นทองเหลืองที่ผ่านการชุบนิเกิล ขนาด 10x7 cm. | |
| 18. ขวดพลาสติกสำหรับเก็บสารละลายชุบทอง | |

3.3 วิธีทำการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมสารละลายชุบทอง 24 K

1. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 250 ml ใส่ลงในบีกเกอร์ 1000 ml จากนั้นให้ความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 60-70°C
2. ชั่งโปตัสเซียมไซยาไนด์ (KCN) ประมาณ 1.875 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ คนจนกระทั่งละลายหมด
3. ชั่งโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) ประมาณ 3.75 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์คนจนละลายหมด
4. ชั่งเกลือทอง ($K[Au(CN)_2]$) ประมาณ 0.25 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ คนจนละลายหมด จะได้สารละลายชุบทอง 24 K 500 ml
5. เติสารละลายนี้โดยต้องมีอุณหภูมิประมาณ 60-70°C ลงในฮัลด์เซลล์ จากนั้นทำการชุบทองบนแผ่นทองเหลืองที่ผ่านการชุบนิเกิล และทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว จนกระทั่งได้สีทองสวยงามตลอดทั้งแผ่น โดยใช้กระแสไฟฟ้าประมาณ 1.4แอมแปร์ ความต่างศักย์ 5 โวลต์ และเวลา 1 นาที จะได้ชิ้นงานสีทองเป็นตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นงานก่อนชุบทอง

1. นำแผ่นทองเหลืองที่ผ่านการชุบนิเกิลแล้วมาทำความสะอาดด้วยน้ำยาทำความสะอาดแล้วล้างน้ำ ใช้แปรงทองเหลืองขัดจนผิวของชิ้นงานสะอาด ล้างน้ำแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง
2. นำชิ้นงาน ไปทำความสะอาดด้วยวิธี Electroclean เพื่อกำจัดคราบไขมันแล้วล้างน้ำกลั่นให้สะอาด
3. แช่ชิ้นงานใน 2 % H_2SO_4 เป็นเวลา 1 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดอีกครั้ง

*หมายเหตุ ควรใช้คีมจับชิ้นงานตลอดการทดลอง ห้ามใช้มือจับเพื่อป้องกันไขมันจากมือเกาะบนชิ้นงาน

ตอนที่ 2 หาปริมาณโลหะทรานสิชันที่เป็นส่วนผสมในน้ำยาชุบทอง

โลหะทรานสิชันที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ Ag(I) , Zn(II) , Cu(I) และ Co(II)

1. นำน้ำยาชุบทองมา 250 ml ใส่ในบีกเกอร์ 1000 ml ให้ความร้อนประมาณ $60-70^{\circ}C$ แล้วเติม AgCN 0.005 กรัม ทำการชุบทองโดยใช้เวลาประมาณ 1 นาที
2. เพิ่มปริมาณ AgCN ทีละ 0.005 กรัม แล้วทำการชุบทอง จะได้สีของทองต่างๆ กัน
3. เปลี่ยนจาก AgCN เป็น ZnO , CuCN และ $Co(NO_3)_2$
4. นำผลที่ได้มาศึกษาหาปริมาณ โลหะทรานสิชันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของทอง โดยเปรียบเทียบกับสีของทอง 24 K
5. นำปริมาณ โลหะทรานสิชันที่ได้นี้ไปศึกษาต่อในตอนที่ 3

ตอนที่ 3 หาปริมาณของคู่โลหะทรานสิชัน

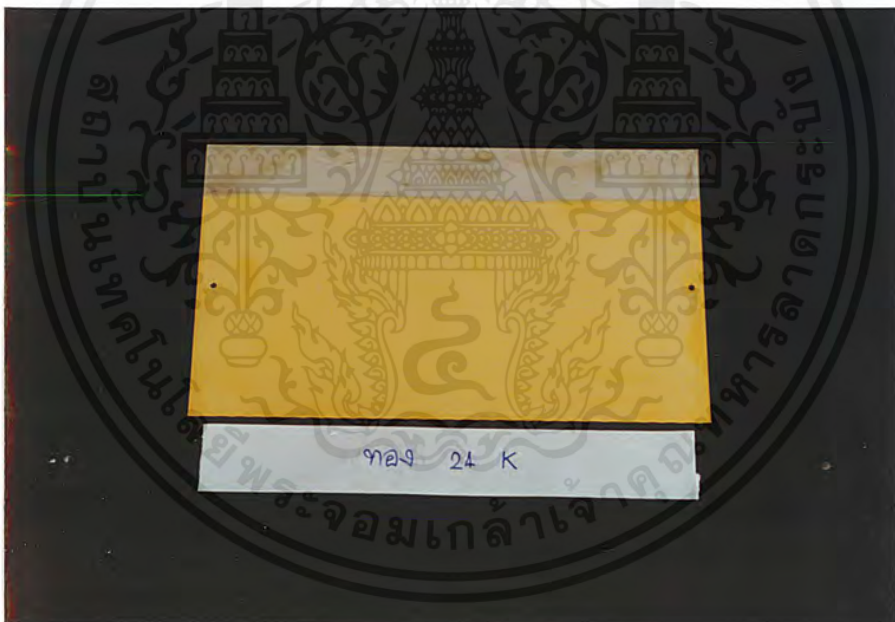
1. เมื่อได้ปริมาณ AgCN (ตัวฐาน) ที่ทำให้สีของทองเปลี่ยนแปลง แล้วเตรียมสารละลายใหม่ โดยเติม AgCN ลงไปแล้วทำการชุบให้เป็นสีอ้างอิง
2. เพิ่มปริมาณ CuCN (ตัวเพิ่ม) ทีละ 0.005 กรัม ลงไปในสารละลายแล้วทำการชุบทองจะได้ทองที่มีสีต่างๆ กัน
3. เปลี่ยนจาก CuCN เป็น $Co(NO_3)_2$ และ ZnO ตามลำดับ แล้วทำการทดลองซ้ำ
4. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนจาก AgCN (ฐาน) เป็น CuCN $Co(NO_3)_2$ และ ZnO
5. ทำการทดลองจนครบทุกคู่ แล้วสังเกตสีที่ได้จากการเติมโลหะทรานสิชัน 2 ชนิดลงไปในสารละลายชุบทอง 24 K แล้ววิเคราะห์หาปริมาณที่เหมาะสมของคู่โลหะทรานสิชัน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สภาวะที่เหมาะสมในการชุบ

ทำการทดลองชุบในฮัลล์เซลล์ โดยใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 10 V. เลือกใช้กระแสไฟในการทดลองชุบ 1.4 A. ความต่างศักย์ 5 V. และแอโนดที่เหมาะสมคือ สแตนเลส ระยะเวลาในการชุบทองที่เหมาะสมคือ 1 นาที โดยดูจากสีของทองและการเคลือบผิวบนชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K

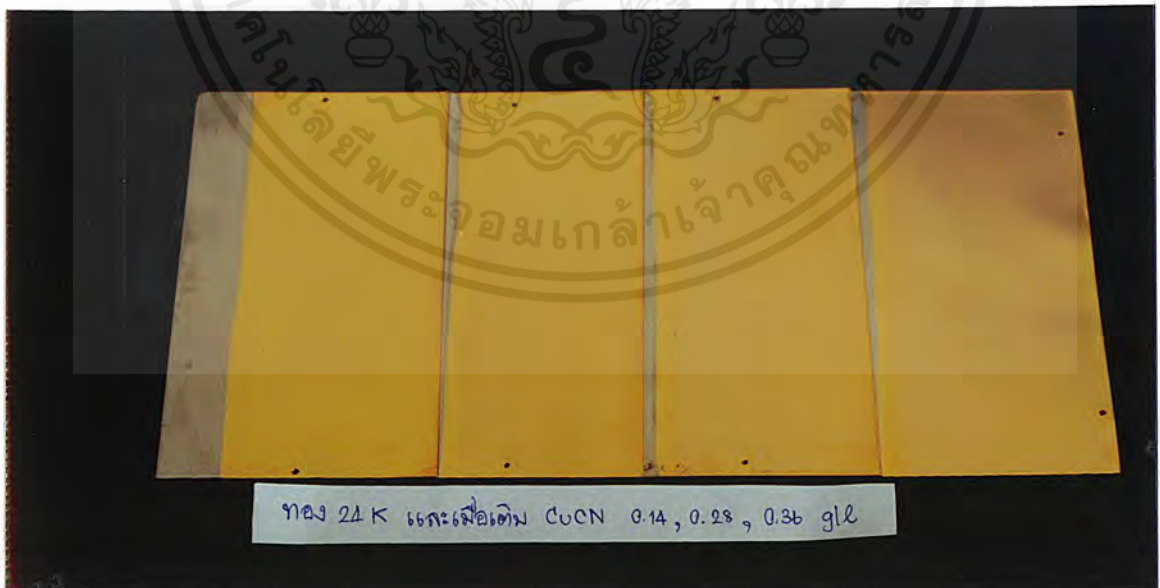
4.2 ผลเมื่อเติมโลหะทรานสิชันชนิดเดียว

4.2.1. *ผลของทองแดง* การเติม CuCN ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เตรียมขึ้น จะทำให้สีของทองเปลี่ยนเป็นสีทองอมชมพู และเมื่อปริมาณของทองแดงมากขึ้นจะทำให้ทองมีสีอมชมพูมากยิ่งขึ้น เคนต์สีที่เกิดขึ้นในปริมาณ CuCN ต่างๆกัน จะแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการเติม CuCN ในปริมาณต่างๆ กันลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K

ปริมาณ CuCN (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.04	สีเหลืองของทอง 24 K	-
0.08	สีเหลืองของทอง 24 K	-
0.12	เริ่มเปลี่ยนเป็นทองอมชมพูเล็กน้อย	การเคลือบผิวดีตลอดทั้งแผ่น
0.16	สีทองอมชมพูมากขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย	เริ่มเปลี่ยนไปจากสีของทอง 24 K
0.20	สีทองอมชมพูมากขึ้นกว่าเดิม	-
0.24	สีทองอมชมพูมากขึ้นตลอดทั้งแผ่น	-
0.28	สีทองอมชมพูเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน	เป็นสีทองอมชมพูตลอดทั้งแผ่น
0.32	สีชมพูมากขึ้นเล็กน้อย	เป็นสีชมพูมากกว่าสีทอง
0.36	สีชมพู	สีชมพู

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเติม CuCN จะทำให้สีของชิ้นงานเป็นสีทองอมชมพูเพียงเล็กน้อยในบริเวณที่ใกล้กับกระแสไฟฟ้าสูง และเมื่อเติม CuCN มากขึ้น ทำให้สีชิ้นงานเป็นสีทองอมชมพูมากขึ้น จนกระทั่งเติมลงไปปริมาณ 0.28 g/l จะทำให้เป็นสีทองอมชมพูทั่วทั้งแผ่น



รูปที่ 4.2 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับ สารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.14, 0.28, 0.36 g/l ของ CuCN ตามลำดับ

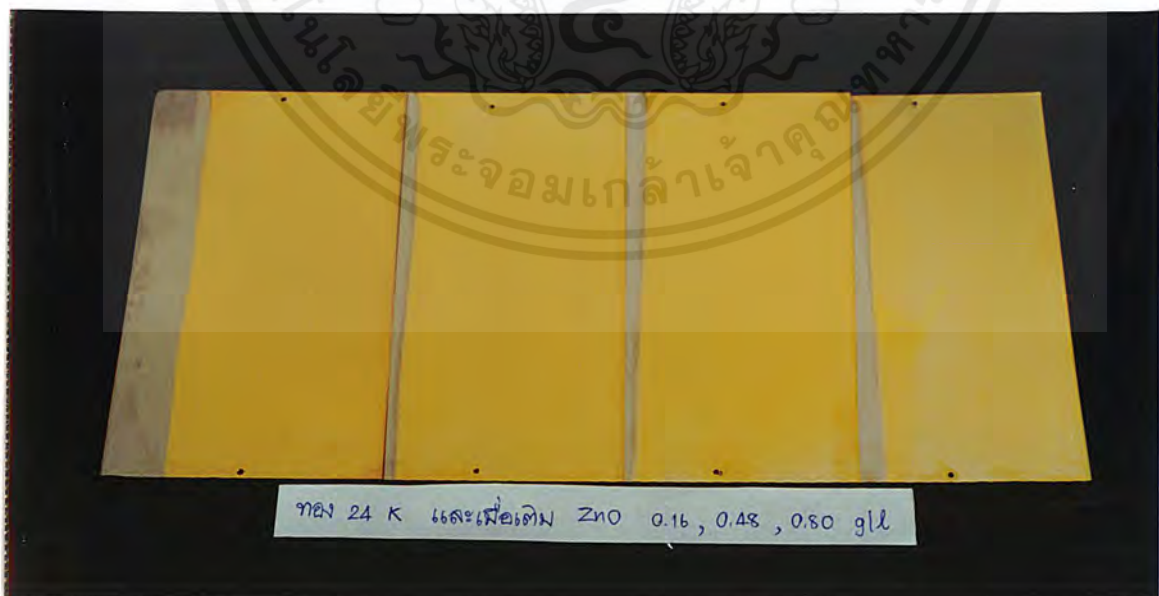
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. ผลของสังกะสี การเติม ZnO ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K จะทำให้สีเหลืองของทองจางลง เกรดสีของทองที่เกิดขึ้นในปริมาณ ZnO ต่างๆ กัน แสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการเติม ZnO ในปริมาณต่างๆ กันลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K

ปริมาณ ZnO (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.16	สีทองจางลงเล็กน้อย	-
0.32	สีทองจางลงมากขึ้นเล็กน้อย	สีจางลงทั่วทั้งแผ่น
0.48	สีทองจางลงอย่างชัดเจน	สีจางลงทั่วตลอดทั้งแผ่น
0.64	สีทองจางมาก	ด้านกระแสไฟฟ้าสูงสีจางลงมากกว่าด้านกระแสไฟฟ้าต่ำ
0.80	สีทองซีดลงจนเกือบขาว	สีเปลี่ยนไปจากสีของทอง 24 K อย่างมาก

จากตารางที่ 4.2 การเติม ZnO ลงไปทำให้สีทองของชิ้นงานค่อยๆ จางลง ยิ่งเติมลงไปปริมาณมากจะทำให้สีของทองจางลงมากขึ้น บริเวณด้านกระแสไฟฟ้าสูงสีของทองจะจางมากกว่าด้านที่มีกระแสไฟฟ้าต่ำ แสดงว่าการเคลือบผิวของ ZnO ยังไม่ทั่วทั้งแผ่น จนกระทั่งเมื่อเติมลงในปริมาณ 0.48 g/l จะซีดจางทั่วทั้งแผ่น



ทอง 24 K และเมื่อเติม ZnO 0.16, 0.48, 0.80 g/l

รูปที่ 4.3 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.16, 0.48, 0.80 g/l ของ ZnO ตามลำดับ

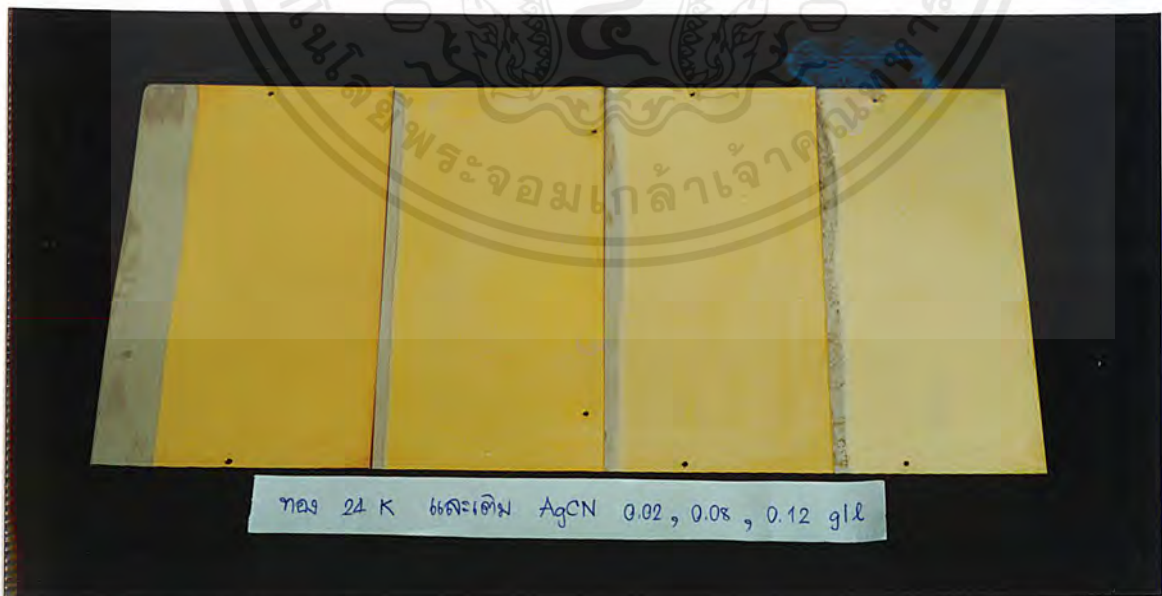
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3. ผลของเงิน การเติม AgCN ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K จะทำให้สีเหลืองของทอง 24 K เปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองอมเขียว เจดสีที่เกิดขึ้นในปริมาณ AgCN ต่างๆ กัน แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการเติม AgCN ในปริมาณต่าง ๆ กันลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24

ปริมาณ AgCN (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.02	สีทองเปลี่ยนสีทองอมเขียวเล็กน้อย	แตกต่างจากสีเหลืองของทอง 24K
0.04	สีทองอมเขียวมากขึ้น	เคลือบผิวดีทั่วทั้งแผ่น
0.06	สีทองอมเขียวมากยิ่งขึ้น	เป็นสีทองอมเขียวตลอดทั้งแผ่น
0.08	สีทองอมเขียวมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด	แตกต่างจากสีเหลืองของทองอย่างชัดเจน
0.10	สีเขียวของเงินชัดเจนมาก	เป็นสีเขียวมากกว่าสีทอง

จากตารางที่ 4.3 เมื่อเติม AgCN เพียงเล็กน้อยสีของทองที่ชุบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมเขียว แต่เมื่อเติมในปริมาณ 0.08 กรัม/ลิตร จะให้สีเหลืองอมเขียวอย่างชัดเจน และ เมื่อเติมมากขึ้นเรื่อยๆ จะให้สีเขียวของเงินมากกว่าสีของทอง



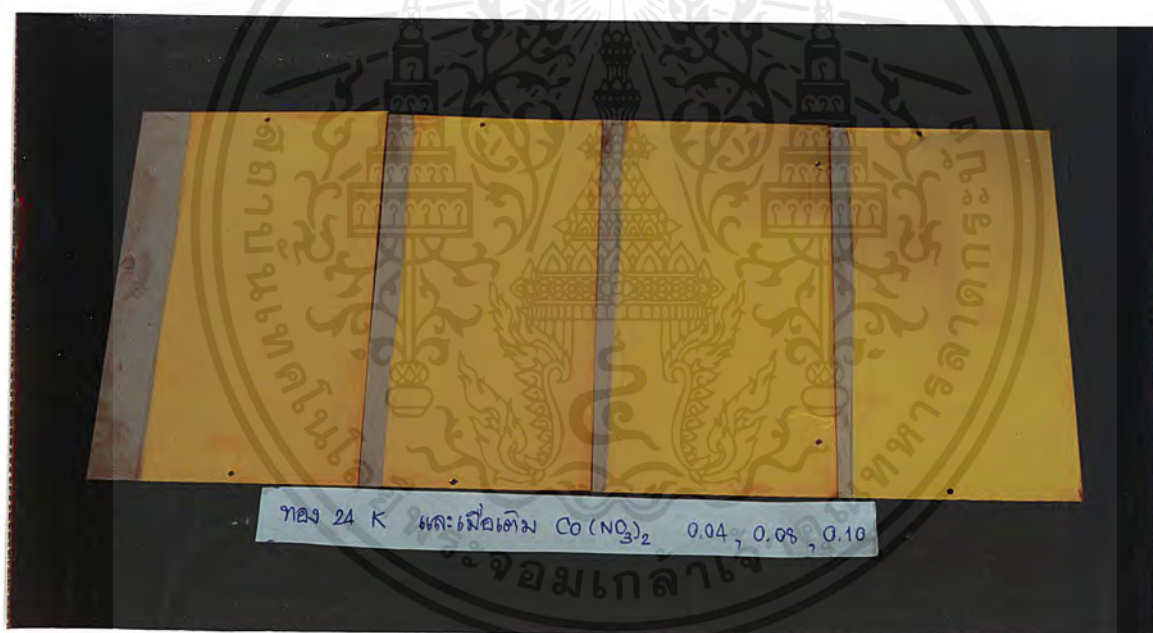
รูปที่ 4.4 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.02, 0.08, 0.12 g/l ของ AgCN ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลของโคบอลต์ การเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K จะไม่ทำให้สีของทองเปลี่ยนแปลง แสดงดังในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ในปริมาณต่างๆ กัน ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K

ปริมาณ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.04	สีเหลืองของทอง	-
0.08	สีเหลืองของทอง	-
0.10	สีเหลืองของทอง	-



รูปที่ 4.5 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.04, 0.08 และ 0.10 g/l ของ $\text{Co}(\text{II})$

เมื่อทราบปริมาณโลหะทรานสิชันแต่ละตัวที่น้อยที่สุด ที่ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจน จึงนำปริมาณนี้เป็นฐานในการเติมโลหะทรานสิชันชนิดที่ 2 และเนื่องจาก $\text{Co}(\text{II})$ ไม่ทำให้สีของทองเปลี่ยนแปลงจึงไม่นำมาเป็นตัวฐาน

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณโลหะทรานสิชันที่ใช้เป็นฐานในการศึกษาผลเมื่อเติมโลหะทรานสิชัน

2 ชนิด

โลหะทรานสิชัน	ปริมาณที่ใช้เป็นฐาน (g/l)
Cu	0.28
Zn	0.48
Ag	0.08



รูปที่ 4.6 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วย (1)สารละลายสำหรับชุบทอง 24 K (2)สารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม CuCN 0.28 g/l (3)ทอง 24K ที่เติม AgCN 0.08 g/l และ (4)ทอง 24K ที่เติม ZnO 0.48 g/l ตามลำดับ

4.3 ผลเมื่อเติมโลหะทรานสิชัน 2 ชนิด

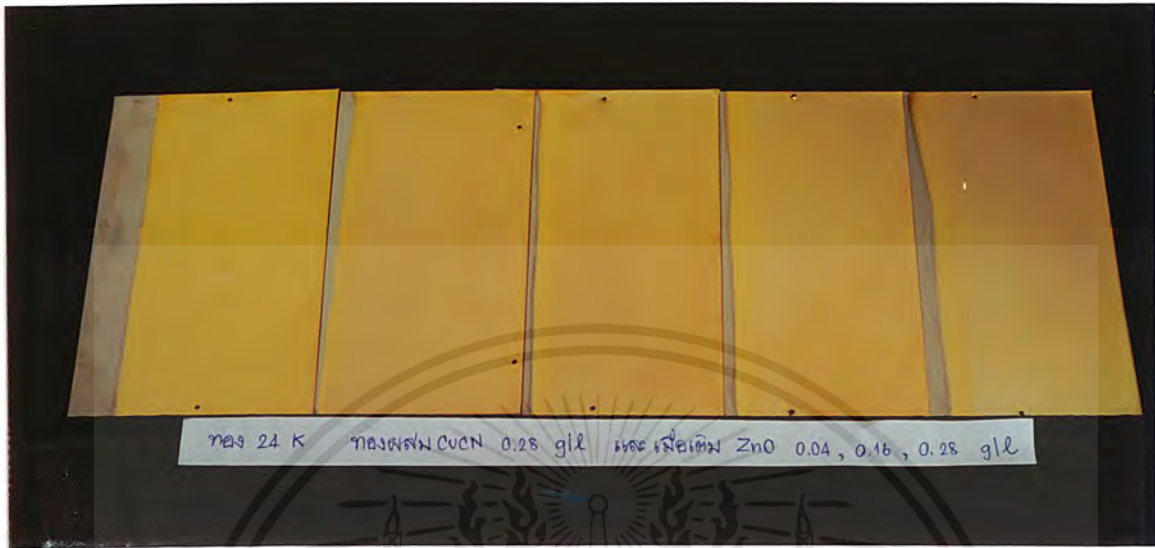
4.3.1 ใช้ตัว CuCN 0.28 g/l เป็นฐาน

• การเติม ZnO ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN ในปริมาณต่างๆ ผลที่ได้ทำให้สีทองผสมที่เป็นสีชมพูเปลี่ยนไปตามปริมาณของ ZnO ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเติม ZnO ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณ ZnO (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0	สีทองอมชมพู	เป็นตัวอ้างอิง
0.04	สีทองอมชมพูเริ่มจางลงเล็กน้อย	-
0.16	สีทองอมชมพูจางลง	-
0.28	สีทองอมชมพูจางลง	-
0.40	สีทองอมชมพูจาง	เมื่อปริมาณของสังกะสีเพิ่มขึ้น สีจะซีดจางลง
0.52	สีชมพูจาง	เมื่อปริมาณของสังกะสีเพิ่มขึ้น สีจะซีดจางลง
0.64	สีชมพูจะซีดจางลงมากๆ แต่ไม่กลายเป็นสีทองซีดของสังกะสี	ยังคงเป็นสีทองชมพู

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเติม ZnO ลงในสารละลายชุบทองที่มีปริมาณ CuCN 0.28 g/l จะทำให้สีชมพูของ CuCN จางลงอย่างเห็นได้ชัด และที่ปริมาณของ ZnO เท่ากับ 0.28 g/l จะเกิดการเปลี่ยนอย่างเด่นชัดที่สุด



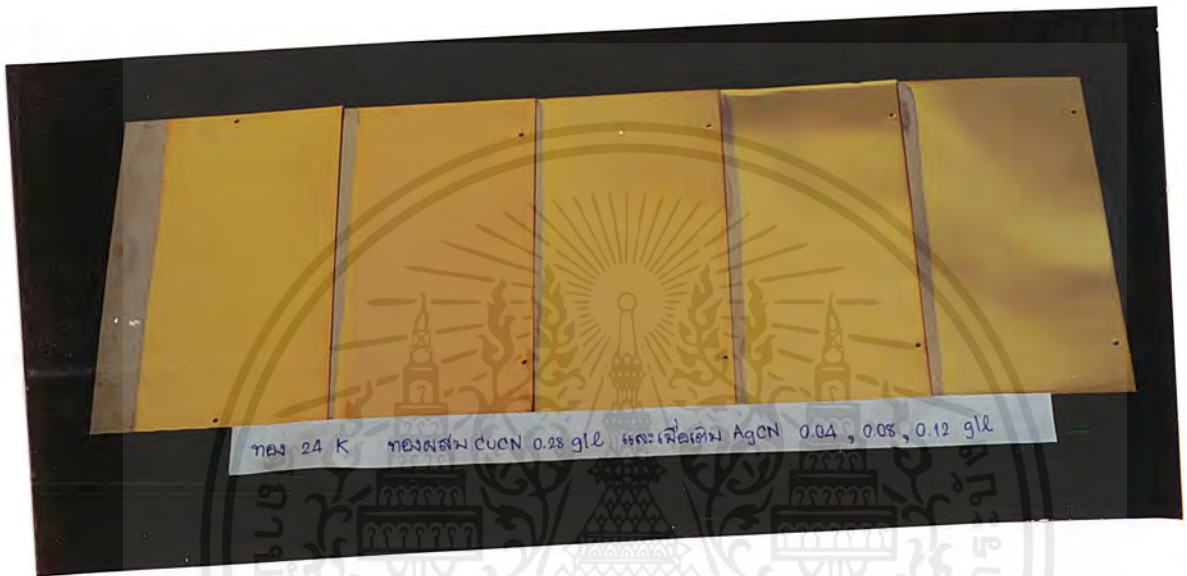
รูปที่ 4.7 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสีของชิ้นงานเมื่อเติม ZnO ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN เรียงตามลำดับความเข้มข้นของ ZnO เท่ากับ 0, 0.04, 0.16 และ 0.28 g/l

- การเติม AgCN ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN ผลที่ได้จะทำให้สีของทองผสมที่เป็นสีชมพูเปลี่ยนไป ตามปริมาณของ AgCN ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการเติม AgCN ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN ในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณ AgCN (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0	สีทองอมชมพู	เป็นตัวอ้างอิง
0.04	สีทองอมชมพูจางลงและมีสีเขียวปนเล็กน้อย	บริเวณกระแสไฟฟ้าสูงจะมีสีเขียว
0.08	สีของทองอมชมพูเริ่มหายไป เริ่มเป็นสีทองอมเขียว	-
0.12	สีทองอมเขียวทั่วทั้งแผ่น	เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอ้างอิงของ เงินแล้วจะมีสีชมพูปนอยู่

จากตารางที่ 4.7 เมื่อเติม AgCN ลงในสารละลายชุบทองที่มีปริมาณ CuCN 0.07 g/l จะทำให้สีชมพูเริ่มจางลง และเมื่อเติมลงไปในปริมาณที่มากขึ้น สีของทองอมเขียวก็จะมากขึ้น จนกระทั่งปริมาณของ AgCN เท่ากับ 0.08 g/l จะเห็นเปลี่ยนแปลงที่สุด



รูปที่ 4.8 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสีของชิ้นงาน เมื่อเติม AgCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN เรียงตามลำดับความเข้มข้นของ AgCN 0, 0.04, 0.08 และ 0.12 g/l

• การเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงในสารละลายของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN จะไม่ทำให้สีชมพูของ CuCN เกิดการเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าจะเติมลงไปปริมาณเท่าใดก็ตาม แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของการเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.28 g/l ของ CuCN ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0	สีทองอมชมพู	-
0.16	สีทองอมชมพู	-

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ปริมาณ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.28	สีทองอมชมพู	-
0.40	สีทองอมชมพู	-

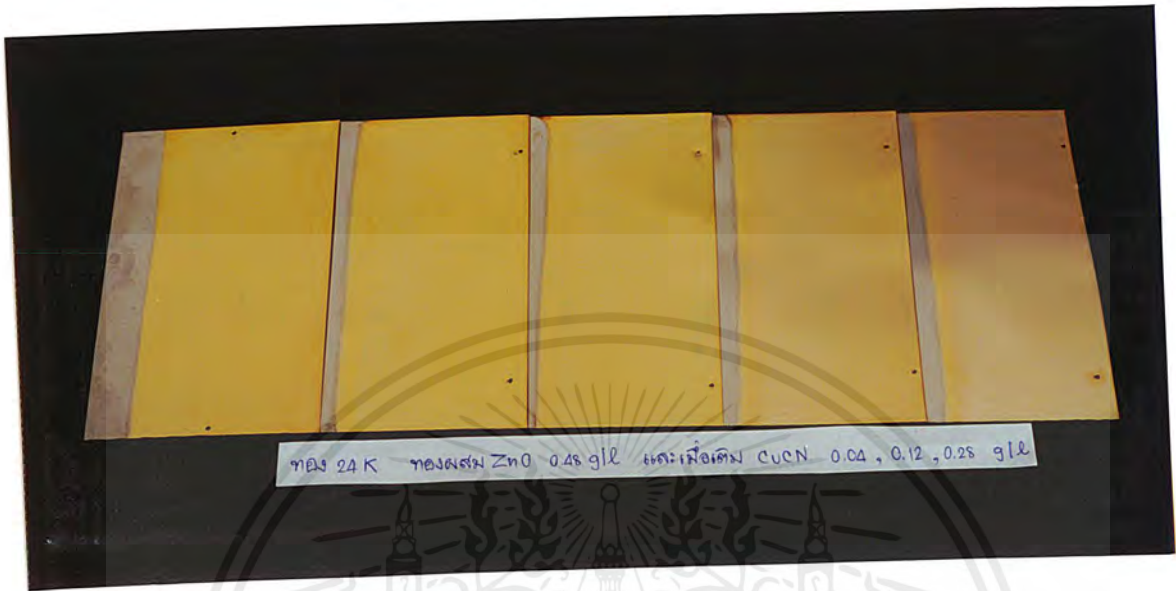
4.3.2 ใช้ ZnO เท่ากับ 0.48 g/l เป็นฐาน

• การเติม CuCN ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ZnO ผลที่ได้ทำให้สีของทองผสมที่เป็นสีทองซีดเปลี่ยนไปเป็นสีชมพูมากขึ้นตามปริมาณของ CuCN ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงผลของการเติม CuCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณ CuCN (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0	สีทองอ่อน	-
0.04	สีเหลืองเข้มขึ้น	บริเวณกระแสไฟฟ้าสูง เริ่มเป็นสีชมพูเล็กน้อย
0.12	สีทองอมชมพูเล็กน้อย	สีชมพูยังไม่ทั่วทั้งแผ่น
0.20	สีทองอมชมพูทั้งแผ่น	เมื่อเปรียบเทียบกับสีของสารละลายทอง 24 K ที่เติม CuCN เพียงอย่างเดียว ชิ้นงานที่มีการเติม ZnO จะมีสีอ่อนกว่า
0.28	เป็นสีทองอมชมพูมากขึ้นจนเกือบเป็นสีทองแดง	การเคลือบเกิดขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอ

จากตารางที่ 4.9 เมื่อเติม CuCN ลงในสารละลายชุบทองที่มีปริมาณ ZnO 0.48 g/l จะทำให้สีทองซีดของ ZnO เปลี่ยนเป็นสีชมพูมากขึ้น และที่ปริมาณของ CuCN เท่ากับ 0.2 g/l จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัดที่สุด



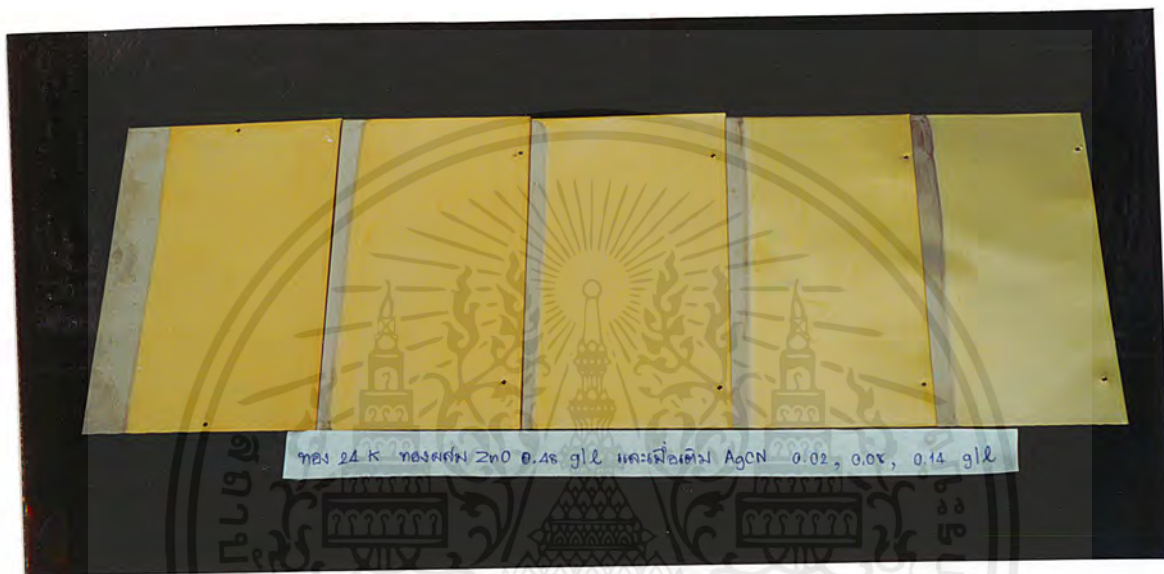
รูปที่ 4.9 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสีของชิ้นงาน เมื่อเติม CuCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO เรียงตามลำดับตามความเข้มข้นของ CuCN เท่ากับ 0, 0.04, 0.12 และ 0.28 g/l

● การเติม AgCN ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO ผลที่ได้ ทำให้สีของทองผสมที่เป็นสีทองอ่อนเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวมากขึ้นตามปริมาณของ AgCN ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการเติม AgCN ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ZnO ในปริมาณต่างๆ กัน

ปริมาณ AgCN (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0	สีทองซีด	-
0.02	สีทองอมเขียวทั่วทั้งแผ่น	ให้สีที่สว่างขึ้น
0.08	สีทองอมเขียวมากขึ้น	
0.14	สีเขียว	-

จากตารางที่ 4.10 เมื่อเติม AgCN ลงในสารละลายชุบทองที่มีปริมาณ ZnO เท่ากับ 0.48 g/l จะทำให้สีทองซีดของ ZnO เปลี่ยนไปเป็นสีทองอมเขียวและเริ่มเปลี่ยนมากที่สุดที่ปริมาณ AgCN เท่ากับ 0.02 g/l



รูปที่ 4.10 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสีของชิ้นงาน เมื่อเติม AgCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO เรียงตามลำดับความเข้มข้นของ AgCN เท่ากับ 0, 0.02, 0.08 และ 0.14 g/l

- การเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงในสารละลายผสมของทอง 24K กับ 0.28g/l ZnO จะไม่ทำให้สีทองอ่อนของ ZnO เกิดการเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าจะเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงในปริมาณมากก็ตาม ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงผลของการเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงในสารละลายชุบทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0	สีทองอ่อน	-
0.16	สีทองอ่อน	-
0.32	สีทองอ่อน	-
0.48	สีทองอ่อน	-

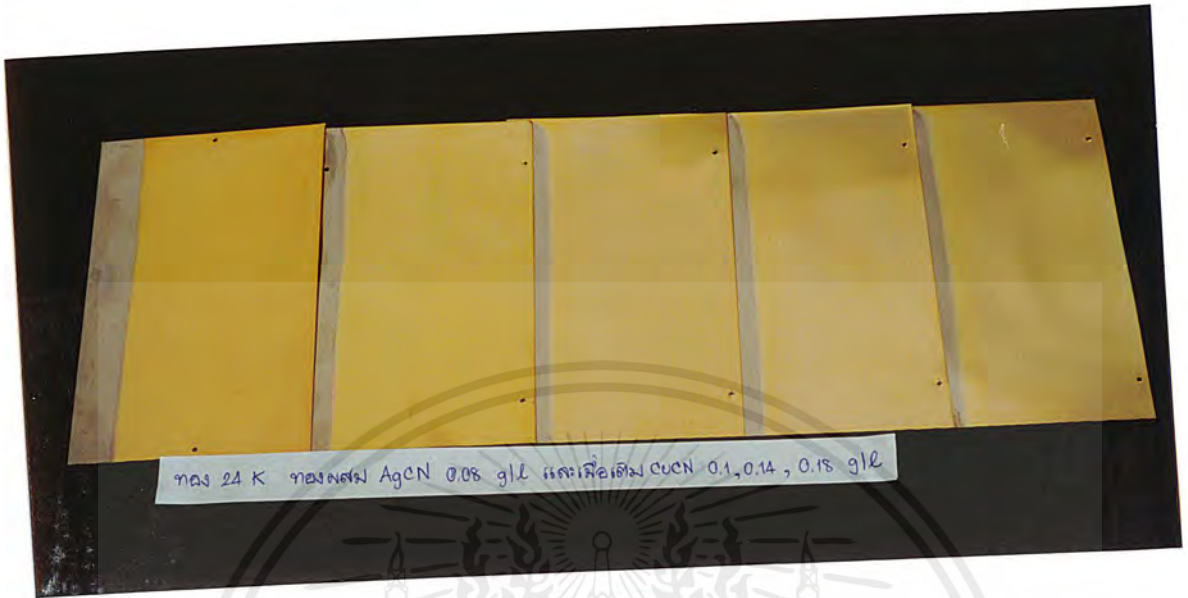
4.3.3 ใช้ AgCN 0.08 g/l เป็นฐาน

• การเติม CuCN ลงในสารละลายผสมของทอง 24K กับ 0.08 g/l AgCN ผลที่ได้ทำให้สีทองอมเขียวของ AgCN เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเขียวอมชมพูมากขึ้น ตามปริมาณของ CuCN ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงผลของการเติม CuCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.48 g/l ของ ZnO ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณ CuCN (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0	สีทองอมเขียว	-
0.1	สีทองอมเขียวจางลง เริ่มมีสีชมพู	การเคลือบของ CuCN ยังไม่ทั่ว
0.14	สีทองอมเขียวอมชมพูเล็กน้อย	สีชมพูเพิ่มมากขึ้น
0.18	สีทองเขียวอมชมพูมากขึ้น	จะได้จุดสีที่ต่างไปจากเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายที่เติม CuCN เพียงตัวเดียว

จากตารางที่ 4.12 เมื่อเติม CuCN ลงในสารละลายชุบทองที่มีปริมาณ AgCN 0.08g/l จะทำให้สีทองอมเขียว มีสีชมพูของ CuCN ปนอยู่ด้วย ปริมาณ CuCN ที่ 0.18 g/l จะเห็นเป็นสีทองเขียวอมชมพูอย่างชัดเจน



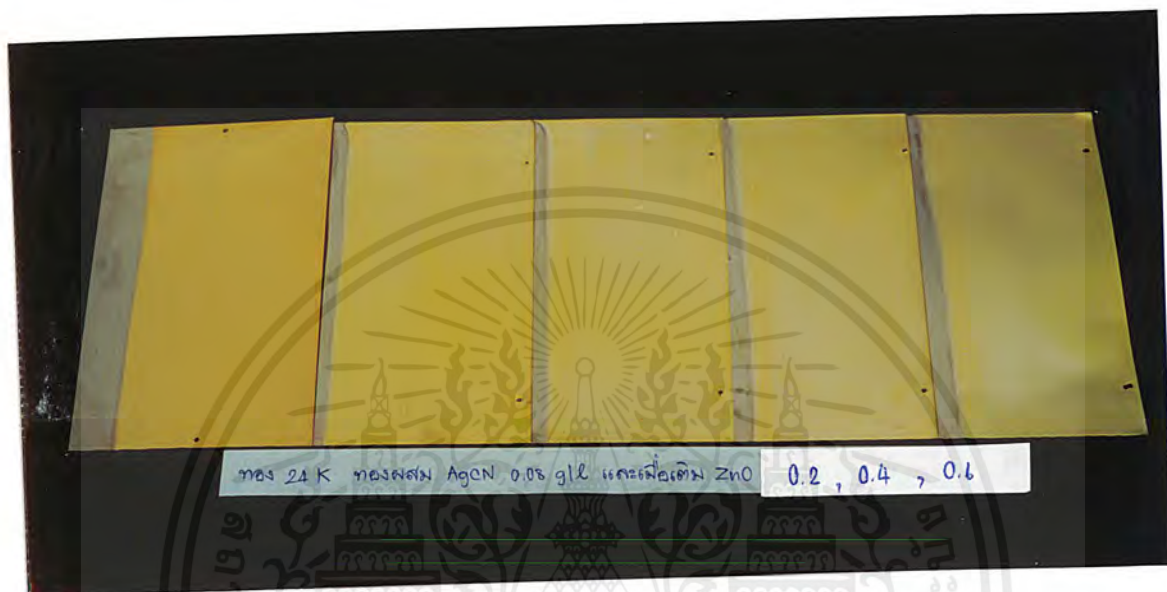
รูปที่ 4.11 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24K กับสีของชิ้นงานเมื่อเติม CuCN ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.08 g/l ของ AgCN เมื่อความเข้มข้นของ CuCN เท่ากับ 0, 0.1, 0.14 และ 0.18 g/l เรียงตามลำดับ

- การเติม ZnO ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.08 g/l ของ AgCN จะทำให้สีทองอมเขียวที่เกิดจาก AgCN เริ่มอ่อนลง เมื่อเพิ่มปริมาณของ ZnO ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงการเติม ZnO ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.08 g/l ของ AgCN ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณ ZnO (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0	สีทองอมเขียว	-
0.2	สีทองอมเขียวเริ่มอ่อนลง	ยังสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ไม่ชัดเจน
0.4	สีทองอมเขียวอ่อนลงอย่างเห็นได้ชัด	บริเวณที่กระแสไฟฟ้าสูงสีจะอ่อนลงมากกว่า
0.6	สีทองอมเขียวจางลงอย่างมาก	บริเวณที่กระแสไฟฟ้าสูงสีจะจางลงอย่างมาก

จากตารางที่ 4.13 เมื่อเติม ZnO ลงไปในสารละลายชุบทองที่มีปริมาณ AgCN 0.08 g/l จะทำให้สีทองอมเขียวเริ่มอ่อนลง เมื่อเติม ZnO ลงไปประมาณ 0.4 g/l จะพบว่าสีทองอมเขียวอ่อนลงอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับแผ่นชิ้นงานที่ชุบสารละลาย AgCN เพียงอย่างเดียว

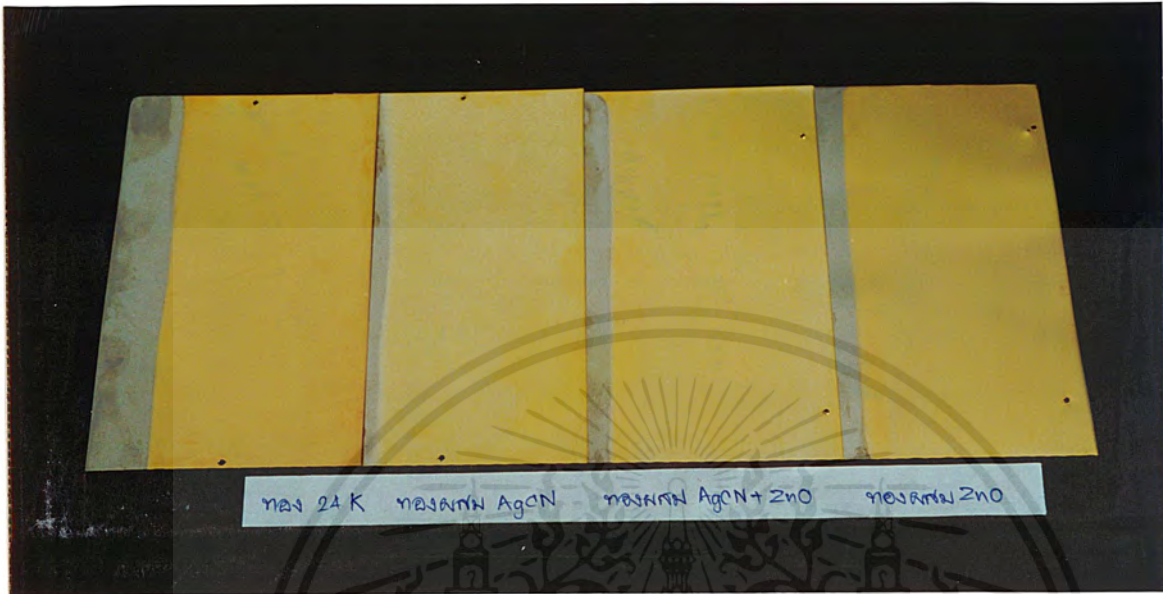


รูปที่ 4.12 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสีของชิ้นงานเมื่อเติม ZnO ลงไปในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.08 g/l ของ AgCN เรียงตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นของ ZnO เท่ากับ 0, 0.20, 0.40 และ 0.60 g/l

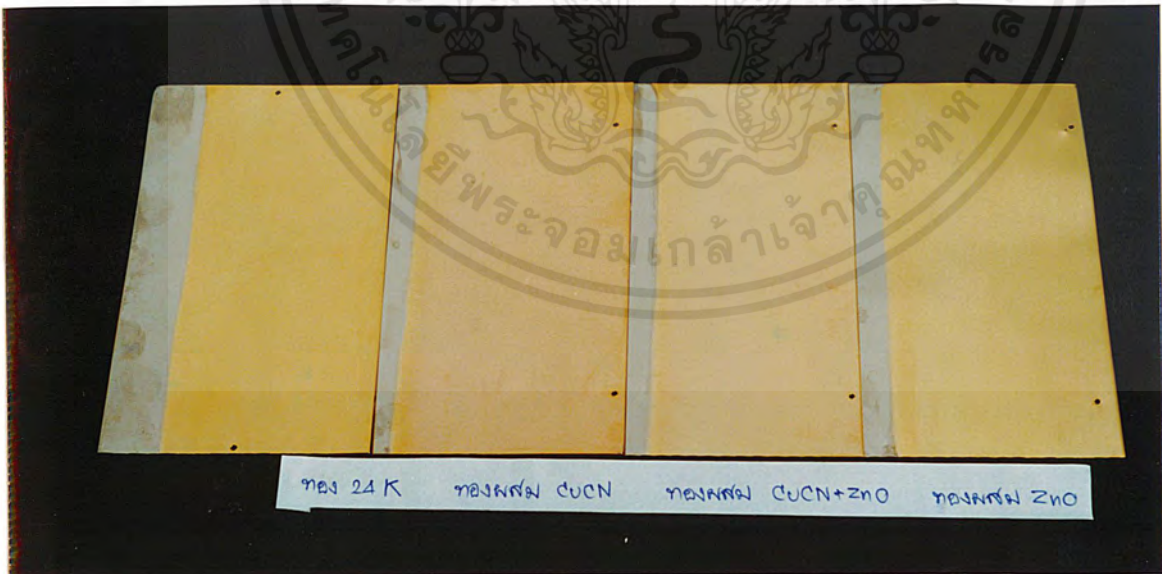
- การเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงในสารละลายผสมของทอง 24K กับ 0.08 g/l ของ AgCN จะไม่ทำให้สีเขียวเนื่องจาก AgCN เกิดการเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าจะเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงไปในปริมาณที่มากก็ตาม ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงผลของการเติม $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.08 g/l ของ AgCN ในปริมาณต่างๆ กัน

ปริมาณ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (g/l)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0	สีทองอมเขียว	-
0.04	สีทองอมเขียว	-
0.08	สีทองอมเขียว	-
0.10	สีทองอมเขียว	-

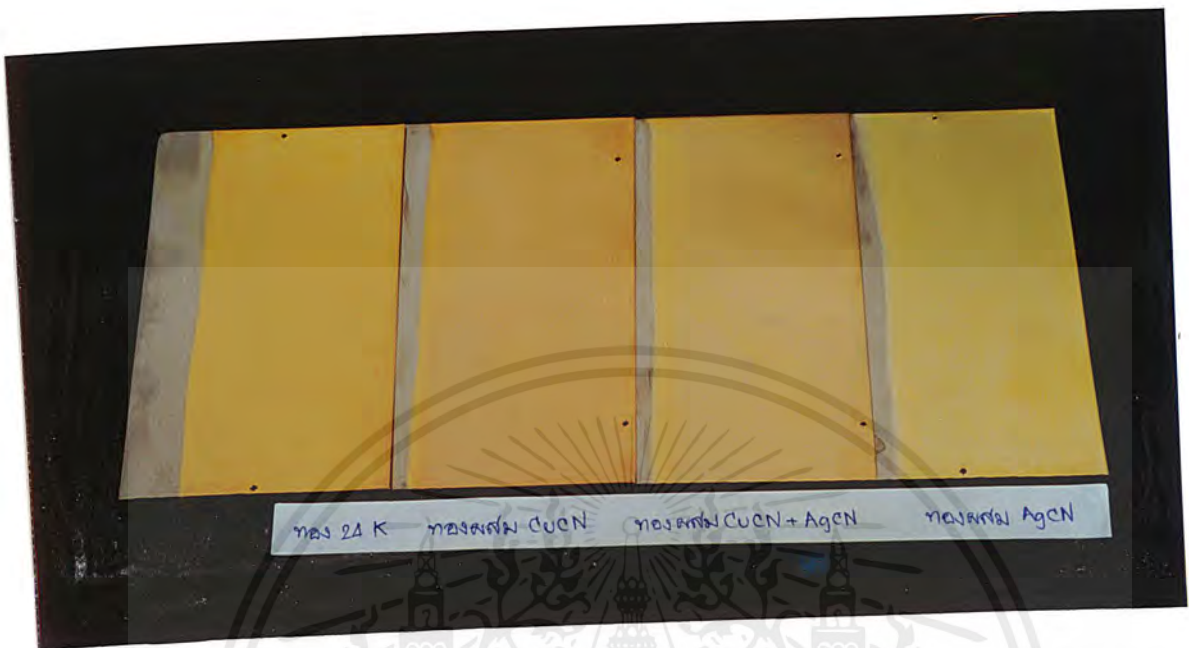


รูปที่ 4.13 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายชุบทอง 24 K, ทองผสม AgCN, ทองผสม AgCN+ZnO และ ทองผสม ZnO เรียงตามลำดับ



รูปที่ 4.14 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K, ทองผสม CuCN , ทองผสม CuCN+ZnO และทองผสม ZnO ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบทองด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K, ทองผสม CuCN , ทองผสม CuCN+AgCN และทองผสม AgCN

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

1) ผลเมื่อเติมโลหะทรานซิชันชนิดเดียวที่มีต่อสีของทอง

Au(I) กับ Cu(I) และ Au(I) กับ Ag(I) เกิดการผสมของโลหะผสมแบบ Substitution Solid Solution เนื่องจากมีการละลายเข้ากันได้ดี มีโครงสร้างผลึกแบบ FCC จึงทำให้เกิดโลหะผสมที่มีความคงทนมากขึ้น

Au(I) กับ Zn(II) ถึงแม้ว่ามีโครงสร้างผลึกต่างชนิดกัน แต่ว่าขนาดอะตอมใกล้เคียงกันจึงเกิดการแทนที่กันได้ การเปลี่ยนแปลงค่อนข้างชัดเจนที่ปริมาณ 0.48 g/l

Au(I) กับ Co(II) มีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกัน Co(II) เป็นแบบ HCP และขนาดก็แตกต่างกัน จึงทำให้สารละลายที่มี Co(II) ผสมอยู่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

เมื่อเติม CuCN ลงไปในสารละลายทำให้สีของชิ้นงาน กลายเป็นสีทองอมชมพู และที่ปริมาณ 0.28 g/l จะเห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนที่สุด

เมื่อเติม AgCN ลงไปทำให้สีของทองกลายเป็นสีทองอมเขียว และที่ปริมาณ 0.08 g/l จะเห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนที่สุด

เมื่อเติม ZnO จะไม่ทำให้สีเหลืองของทองเปลี่ยนไป แต่จะทำให้สีเหลืองของทองเป็นสีเหลืองอ่อน

เมื่อเติม $\text{Co}(\text{NO}_2)_3$ จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของทอง

จากผลการทดลองพบข้อสังเกตว่า โลหะที่มีระบบโครงสร้างผลึกแบบเดียวกัน จะให้ผลการทดลองที่ชัดเจนกว่า ดังเช่นกรณีของ Au(I) กับ Cu(I) และ Au(I) กับ Ag(I) และสำหรับโลหะที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน การเกิดเป็นโลหะผสมจะเกิดได้ไม่ดีนัก ผลที่ได้จึงไม่ชัดเจนเช่นกรณีของ Au(I) กับ Zn(II) และ Au(I) กับ Co(II) และจะพบว่าโลหะผสมที่เกิดจากโลหะที่มีโครงสร้างผลึกเดียวกันจะมีความคงทนมากกว่าโลหะผสมที่เกิดจากโลหะที่ต่างโครงสร้างผลึกกัน

2) ผลเมื่อเติมโลหะทรานสิชันมากกว่า 1 ชนิด ที่มีต่อสีของทอง

• ฏโลหะทรานสิชันระหว่าง Zn(II) กับ Cu(I)

เมื่อใช้ Cu(I) เป็นฐานและเพิ่มปริมาณ Zn(II) ลงไปจะทำให้สีทองอมชมพูที่เกิดจากทองแดงสว่างมากขึ้นและชัดเจนที่ 0.28 g/l ของ ZnO เนื่องจาก Cu(I) มีโครงสร้างผลึกเดียวกับ Au(I) ซึ่งจะทำให้การผสมของ Cu(I) มีอิทธิพลมากกว่า Zn(II) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงเมื่อเติม Cu(I) ลงไปใน Zn(II) จึงเห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนกว่าเมื่อเติม Zn(II) ลงไป

• ฏโลหะทรานสิชันระหว่าง Cu(I) กับ Ag(I)

ใช้ Cu(I) เป็นฐานและเพิ่มปริมาณ Ag(I) ลงไป จะทำให้สีชมพูเนื่องจาก Cu(I) จางลงและมีสีทองอมเขียวมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้ค่อนข้างเด่นชัด เนื่องจาก Ag(I), Cu(I) และ Au(I) มีโครงสร้างผลึกเดียวกัน สามารถเกิด Substitution Solid Solution ได้ง่าย แต่จะเห็นว่าเมื่อใช้ Ag(I) เป็นฐานและเพิ่มปริมาณ Cu(I) ลงไปจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจะชัดเจนเมื่อเติม Cu(I) 0.18 g/l เพราะฉะนั้นในการศึกษาสีที่เกิดขึ้นของสารละลายผสมของทองควรใช้ Ag(I) เป็นฐาน และเพิ่มปริมาณ Cu(I) ลงไปแทน จึงได้สีที่มีหลากหลายและเกิดเฉดสีใหม่

• ฏโลหะทรานสิชันระหว่าง Zn(II) กับ Ag(I)

เมื่อใช้ Zn(II) เป็นฐานและเพิ่มปริมาณ Ag(I) ลงไปที่ละน้อย จะทำให้สีทองอ่อนๆ ที่เกิดจาก Zn(II) มีสีเขียวมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเห็นชัดเมื่อเพิ่มปริมาณ Ag(I) ลงไป เพียง 0.02 g/l เท่านั้น เมื่อเติมมากขึ้นสีจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวมากขึ้น แต่สีก็จะมีความแตกต่างจากสารละลายของทองที่ผสมกับ Ag(I) ที่ปริมาณเดียวกัน

Ag(I) จะเกิด alloy กับ Cu(I) ได้ดีกว่า Zn(II) เนื่องจากมีโครงสร้างผลึกเดียวกับ Au(I) และมีขนาดอะตอมเกือบจะเท่ากันกับ Au(I) ขึ้นอยู่กับประจุของไอออนและค่า Electronegativity

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 สภาพที่ใช้ในการทดลอง

สภาวะที่เหมาะสมคือใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ความต่างศักย์ 5 โวลต์ ระยะเวลา 1 นาที

5.1.2 ผลของโลหะทรานสิชันที่มีต่อสีของทองที่ชุบ

1) ผลของโลหะทรานสิชัน 1 ชนิดที่มีต่อสีของทอง

- การเติม Cu(I) ลงในสารละลายชุบทอง จะทำให้สีทองเปลี่ยนเป็นสีทองอมชมพูและเริ่มเห็นอย่างชัดเจนเมื่อมี Cu(II) อยู่ในสารละลาย 0.28 กรัม/ลิตร
- การเติม Ag(I) ลงในสารละลายชุบทอง จะทำให้สีทองเปลี่ยนเป็นสีทองอมเขียวและเริ่มเห็นอย่างชัดเจนเมื่อมี Ag(I) อยู่ในสารละลาย 0.08 กรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่า Ag(I) จะเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- การเติม Zn(II) ลงในสารละลายชุบทอง จะไม่ทำให้เกิดสีใหม่ แต่จะทำให้ได้สีทองที่อ่อนลงและเริ่มเด่นชัดที่ปริมาณ Zn(II) เท่ากับ 0.48 กรัม/ลิตร ในสารละลายชุบทอง
- การเติม Co(II) ลงในสารละลายชุบทอง จะไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของทองที่ชุบเมื่อเพิ่มปริมาณมากแล้วก็ตาม

2) ผลของโลหะทรานสิชัน 2 ชนิดที่มีต่อสีของทอง

- การเติมโลหะทรานสิชัน 2 ชนิดลงไปในสารละลายชุบทองจะทำให้ได้เฉดสีใหม่ ซึ่งโลหะทรานสิชันเพียงชนิดเดียวไม่สามารถทำได้
- เมื่อเติมโลหะทรานสิชันตัวที่ 2 ลงไปในสารละลายชุบทอง จะทำให้สีแปรผันตามสีของโลหะทรานสิชันตัวที่ 2 ทั้งนี้ต้องศึกษาขนาดและลักษณะ โครงสร้างของโลหะทรานสิชันด้วย
- การเปลี่ยนแปลงสีของทอง จะเกิดได้ก็เมื่อมีโครงสร้างที่เหมือนกันและมีขนาดอะตอมใกล้เคียงกัน เนื่องจากเกิด Substitution Solid Solution ได้ง่าย
- การเติม Zn(II) ลงในสารละลายผสม Au(I)-Cu(I) จะทำให้เปลี่ยนเป็นสีทองชมพูที่สว่างขึ้น และชัดเจนเมื่อมี Cu(I)-Zn(II) ในปริมาณ 0.28:0.28 (กรัม/ลิตร)

- การเติม Cu(I) ในสารละลายผสม Au(I)-Ag(I) จะทำให้สีของทองอมเขียวมีสีชมพูเพิ่มมากขึ้นและเกิดการเคลือบผิวที่สม่ำเสมออย่างสวยงาม และจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อมี Ag(I)-Cu(I) ในปริมาณ 0.08:0.18 (กรัม/ลิตร)

- การเติม Ag(I) ลงในสารละลายผสม Au(I)-Zn(I) จะทำให้ได้สีทองเขียวอ่อนๆ เมื่อมี Zn(I)-Ag(I) ในปริมาณ 0.48:0.08 (กรัม/ลิตร)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำทองที่เหลืออยู่ในน้ำยาชุบหรือทองที่อยู่บนชิ้นงานที่เสียกลับมาใช้ใหม่ โดยวิธีการสกัดทองออกจากสารละลาย
2. ควรนำสารละลายชุบทองที่มีสีต่างๆที่เตรียมไว้ทดลองชุบเครื่องประดับ เปรียบเทียบกับเครื่องประดับที่ชุบด้วยน้ำยาจากต่างประเทศ
3. ในการเลือกโลหะเป็นฐานควรคำนึงในแง่ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Giles F. Carter and Donald E. Paul., "Materials Science and Engineering" ASM International.,New York.,1991.
2. F.A. Lowenheim., Modern Electroplating.,2nd ed., John Wiley & Sons., New York.,1963.
3. อนันต์ ทองมอญ. ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.,กรุงเทพมหานคร:ภาพพิมพ์,2530
4. พิชิต เลี่ยมทอง. ชุบทอง. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร:มิตรนราการพิมพ์,2531.
5. มาลินี ฉินนานนท์.การเตรียมสารละลายสำหรับชุบทองสีต่างๆ., วิทยานิพนธ์.,งานบัณฑิตศึกษา., คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.,2541.
6. วัชรพร วงศ์วีรธร และสิทธิเดช ปลั่งวุฒิกุล, ผลของโลหะไอออนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสีในการชุบทอง.(โครงการพิเศษ), ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2533.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1ก แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของทอง

Properties	Value
Atomic weight	196.9665
Melting point , K	1337.59
Boiling point , K	3081
Atomic radius , Au lattice , nm	0.1422
Crystal structure	FCC 4 atom/unit cell
Lattice constant at ambient temperature , nm	0.407
Interatomic distance at ambient temperature , nm	0.2878
Density at 273 K , g/cm ³	19.32
Brinell hardness (10/500/90) (annealed at 1013 K) , kgf/mm ²	25
Modulus of elasticity at 293 K (annealed at 1173 K) , MPa	7.747 x 10 ⁴
Possion`s ratio , as drawn	0.42
Tensile strength (annealed at 573 K) , MPa	123.7-137.3
Elongation (annealed at 573 K) , %	39-45
Compressibility at 300 K , Pa ⁻¹	6.01 x 10 ⁻¹²
Heat of fusion , J/mol	1.268 x 10 ⁴
Heat of evaporation at 298 K , J/mol	3.653 x 10 ⁵
Specific heat at 298 K , J/(g.K)	1.288 x 10 ⁻¹
Thermal conductivity at 273-373 K , W/(m.K)	311.4
Electrical resistivity at 273 K , Ω.cm	1.416 x 10 ⁻⁷

ตารางที่ 2ก แสดงค่า E° และค่า Electronegativity ของโลหะทรานสิชัน

Metal/Ion	Standard Electrode Potential , E° (V), 25 °C	Electronegativity Value
Au/Au ⁺	1.68	1.42
Ag/Ag ⁺	0.799	1.42
Cu/Cu ⁺	0.52	1.75
Co/Co ²⁺	-0.277	1.70
Zn/Zn ²⁺	-0.763	1.66

