การพัฒนากระบวนการชุบทรูโฮลสำหรับแผ่นวงจรพิมพ์ระดับต้นแบบอุตสาหกรรม (ระยะที่ 4)

Development of Pilot Scale Industrial Process for Through-Hole Plating (Fourth Phase)

โดย

นางสาวพันธุ์ทิพย์ มัณฑะจิตร นายชูชาติ นิติปัญญาวงศ์

นายสมชาย ฉินสกลธนากร นายชยันต์ คุ้มภัย

สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

การชุบเคลือบแผ่นวงจรพิมพ์แบบสองหน้าทรูโฮล ประกอบด้วยกระบวนการชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า กระบวนการชุบเคลือบทองแดง และชุบเคลือบดีบุก - ตะกั่วแบบใช้ไฟฟ้า ตามลำดับ กระบวนการชุบทรูโฮลเป็นพื้นฐานของการชุบเคลือบแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดหลายชั้น งานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาสารชุบเคลือบในห้องปฏิบัติการ และพัฒนากระบวนการระดับอุปกรณ์ต้นแบบอุตสาหกรรม

การศึกษาในระยะที่ 1 และ 2 ประกอบด้วยการศึกษา 3 ขั้นตอน คือ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมผิวชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าด้วยสารสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ ผิวชุบเคลือบทองแดงแบบใช้ไฟฟ้า และผิวชุบเคลือบดีบุก-ตะกั่วแบบใช้ไฟฟ้าด้วยสารที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการบนชิ้นงานขนาด 2x3 ตารางเซนติเมตร

การศึกษาในระยะที่ 3 เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมผิวชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ด้วยสารที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ พบว่าผิวชุบเคลือบที่ได้มีโครงสร้างจุลภาคพื้นผิวเรียบสม่ำเสมอใกล้เคียงกับผิวที่ได้จากน้ำยาชุบเคลือบเชิงพาณิชย์ แต่สารที่เตรียมขึ้นมีเสถียรภาพต่ำกว่าสารสำเร็จรูป

การศึกษาในระยะที่ 4 เป็นการศึกษาการเตรียมชุบเคลือบครบ 3 กระบวนการ คือผิวชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ผิวชุบเคลือบทองแดงแบบใช้ไฟฟ้า และผิวชุบเคลือบดีบุก - ตะกั่วแบบใช้ไฟฟ้าด้วยสารที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ ทั้งสามกระบวนการบนชิ้นงานแผ่นวงจรพิมพ์ ขนาด 2 x 3 ตารางเซนติเมตร และขยายขนาดเป็น 10 x 14 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

Abstract

Through-hole plating processes consist of an electroless copper plating step, a copper electroplating step and a tin - lead electroplating step. The objectives of the project are local development of plating solutions and a pilot scale industrial process.

The First and Second Phases utilized commercial chemicals for the electroless copper plating step and solutions prepared in laboratory for tin - lead and copper electroplating steps on 2 x 3 cm^2 test samples. Optimum conditions were determined.

The Third Phase concentrated on electroless plating step using locally prepared solutions. Films prepared from these solutions and commercial solutions had similar microstructures. However, the stability of prepared solutions was less than that of commercial ones.

In the Fourth Phase, locally prepared solutions are used in all the three steps. Test samples are enlarged from 2 x 3 cm^2 to 10 x 14 cm^2.

บทความทางวิชาการ เสนอในการประชุมวิชาการครั้งที่ 4 ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

วันที่ 21-22 ตุลาคม 2535 ณ โรงแรมอโนมาสวิสโฮเต็ล

1. บทนำ

แผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board, PCB) เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญสำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ต้องการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรซับซ้อนชั้นและในเนื้อที่จำกัดเพื่อให้มีขนาดกระทัดรัด จึงมีการพัฒนาแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดสองหน้า (Double Side PCB) และแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดหลายชั้น (Multilayer PCB)

การชุบเคลือบแผ่นวงจรพิมพ์แบบสองหน้าทรูโฮล และแบบหลายชั้นมีความซับซ้อนเนื่องจากต้องทำการชุบเคลือบโลหะทองแดงบนผิวภายในรูแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวน

การชุบเคลือบแผ่นวงจรพิมพ์แบบสองหน้าทรูโฮล ประกอบด้วยการชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า การชุบเคลือบทองแดงแบบใช้ไฟฟ้า และการชุบเคลือบตะกั่ว-ดีบุก

หลักการชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า คือไอออนของทองแดงรับอิเลคตรอนจากสารรีดักชั่นได้แก่ ฟอมัลดีไฮด์ในสารละลายชุบเคลือบ เปลี่ยนสภาพเป็นโลหะทองแดงเคลือบบนผิวชิ้นงาน ซึ่งต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ พาเลเดียม ผิวชุบเคลือบนี้ได้มีความหนาประมาณ 0.2-0.3 ไมครอน ซึ่งสามารถทำการชุบเคลือบทองแดงแบบใช้ไฟฟ้าในขั้นต่อไปเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าแสดงดังนี้

ก. Sensitizing เป็นการสร้าง active sites บนผิวชิ้นงานเพื่อเหนี่ยวนำตัวเร่งปฏิกิริยายึดเกาะกับชิ้นงานได้ดี

$$Sn^{2+} \text{ -----> } Sn^{2+}/\text{Cu surface} + Sn^{2+}/\text{hole surface}$$

ข. Catalyzing เป็นการชุบเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาบนผิวชิ้นงาน

$$Pd^{2+} + Sn^{2+} \text{ (surface) ------> } Pd + Sn^{4+}$$

ค. Copper reduction พาเลเดียมทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยารีดักชั่นของทองแดงที่ผิวชิ้นงาน

$$CuSO_4 + 2HCHO + 4NaOH \xrightarrow{Pd} Cu + 2HCO_2Na + H_2 + 2H_2O + Na_2SO_4$$

กรณีที่ปฏิกิริยา ก. และ ข. เกิดแยกกันเรียกว่า การกระตุ้นผิวแบบสองขั้นตอน ถ้าเกิดขึ้นพร้อมกัน เรียกการกระตุ้นผิวแบบหนึ่งขั้นตอน การกระตุ้นผิวแบบหนึ่งขั้นตอนให้ผลการชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าดีกว่า เนื่องจากกระตุ้นผิวมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ของ Sn^{4+} ห่อหุ้มผิวของพาเลเดียมบนชิ้นงาน ดังนั้นก่อนการชุบเคลือบทองแดงจึงต้องล้าง Sn^{4+} ออกด้วย accelerator ได้แก่ สารละลายกรดหรือด่าง [3, 4, 5, 8]

สารละลายชุบเคลือบทองแดง หรือ electroless copper bath มีเสถียรภาพต่ำต้องเติมสารเพิ่มความเสถียร (stabilizer) ได้แก่ thiourea benzothiazole และ

2-mercapto-benzothiazole [5, 6, 9] เพื่อให้ผิวชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้ามีคุณสมบัติดี ได้มีการศึกษาสารเติม (additive) potassium hexacyanoferrate และ polyethylene glycol ช่วยให้ผิวชุบเคลือบทองแดงที่ได้มีความสม่ำเสมอไม่มีรอยแตกร้าว แต่อัตราการชุบเคลือบ (deposition rate) ต่ำลง ซึ่งสามารถปรับปรุงโดยอาศัย 2-mercaptobenzothiazole และ pyridine [7, 9]

เมื่อผิวภายในรูเจาะของแผ่นวงจรพิมพ์สามารถนำไฟฟ้าได้ ทำการชุบเคลือบทองแดงแบบใช้ไฟฟ้า เพื่อให้ได้แผ่นวงจรพิมพ์สองหน้าทรูโฮล กระบวนการชุบเคลือบทองแดงแบบใช้ไฟฟ้าที่นิยมได้แก่ acid sulphate bath เนื่องจากให้ผิวทองแดงที่มีความสม่ำเสมอ และคุณสมบัติดี ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะชุบเคลือบดังการชุบเคลือบด้วย cyanide bath ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง พบว่าอิออนของคลอไรด์ช่วยปรับปรุงให้ผิวชุบเคลือบมีความมันวาว และความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ไม่ช่วยเพิ่มอัตราการชุบเคลือบ ช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 50 mg/l ถ้าอิออนของคลอไรด์มีมากเกินผิวชุบเคลือบที่ได้จะหยาบ internal stress สูง ผลคือผิวเกิดรอยแตกร้าว [3, 8, 10]

การชุบดีบุก-ตะกั่ว เป็นการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนให้แผ่นวงจรพิมพ์ และการบัดกรีทำได้ง่าย อัตราส่วนของดีบุก-ตะกั่ว เป็น 63-37 ดีที่สุด เนื่องจากโลหะผสมที่อัตราส่วนนี้มีจุดหลอมเหลวต่ำที่สุด และขณะแข็งตัวไม่เกิดการแยก phase ของโลหะแต่ละตัว (eutectic point) อุณหภูมิประมาณ 196 - 205 °C ความหนาต่ำสุดของ film คือ 7.6 m สารเติมเช่น peptone, gelatin ช่วยลดการเกิด treeing (ผิวไม่เรียบมีบางจุดนูนคล้ายหนามแหลม) stannous ion ถูก oxidised ได้ง่าย ดังนั้นการดำเนินการจึงห้ามกวนสารละลายด้วยการพ่นฟองอากาศ ใช้การกวนทางกลอาจใส่ resorcinol เป็นตัวยับยั้งการเกิด oxidation [3, 8]

โดยทั่วไปเมื่อเปลี่ยนสภาวะการดำเนินการชุบเคลือบที่ส่งผลให้ polarization เพิ่มขึ้น ในการชุบ alloy ธาตุที่เสถียรน้อยกว่าจะเกาะจับตัวชิ้นงานดีกว่าในที่นี้คือ ดีบุก เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า เพิ่มสารเติม ดีบุกจะเกาะติดเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเพิ่มปริมาณของกรดฟลูโอโรบอริก ผิวชุบเคลือบที่ได้มีลักษณะเรียบขึ้น และ grain เล็กลง ให้ผลคล้ายกับการใส่สารเติม

2. วิธีการทดลอง

ทำการชุบเคลือบทรูโฮลบนชิ้นงานคือ แผ่นวงจรพิมพ์สองหน้า ขนาด 10x14 ตารางเซนติเมตร ซึ่งผ่านการเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.12 เซนติเมตร ด้วยดอกสว่านความเร็วรอบ 20,000 รอบต่อนาที ในถังชุบเคลือบขนาดความจุ 5 ลิตร ด้วยกระบวนการต่าง ๆ ตามลำดับคือ

2.1 การชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

ล้างชิ้นงานด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิก (Ultrasonic Cleaner) 10 นาที ทำความสะอาด และชุบเคลือบตามขั้นตอน แสดงดังตารางที่ 1 ระหว่างขั้นตอนที่ 6 7 และ 8 ไม่ต้องล้างชิ้นงานด้วยน้ำ

2.2 การชุบเคลือบทองแดงแบบใช้ไฟฟ้า

กรรมวิธีและรายละเอียดการชุบเคลือบ แสดงดังตารางที่ 2

2.3 การชุบเคลือบดีบุก-ตะกั่วแบบใช้ไฟฟ้า

กรรมวิธีและรายละเอียดการชุบเคลือบ แสดงดังตารางที่ 2

3. ผลการวิจัย

3.1 การศึกษาการชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

ผิวชุบเคลือบทองแดงภายในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ ติดสม่ำเสมอแสดงดังไมโครกราฟรูปที่ 1 เนื่องจากฉนวนของแผ่นวงจรพิมพ์เป็น fiber rainforced expoxy resin การชุบเคลือบ fiber ทำได้ยาก ต้องทำการเตรียมผิวด้วยโปแตสเซียมไดโครเมตและกรดซัลฟูริก ผลแสดงดังไมโครกราฟ รูปที่ 2

3.2 การศึกษาการชุบเคลือบทองแดงแบบใช้ไฟฟ้า

ผิวชุบเคลือบทองแดงภายในมีความหนาสม่ำเสมอ 30 ไมครอน แดงดังรูปที่ 3 โครงสร้างพื้นผิวละเอียด แสดงดังไมโครกราฟรูปที่ 4

3.3 การศึกษาการชุบเคลือบดีบุก-ตะกั่วแบบใช้ไฟฟ้า

ผิวชุบเคลือบที่ได้ค่อนข้างวาว ความหนาภายในรูสม่ำเสมอ 14 ไมครอน แสดงดังรูปที่ 3 โครงสร้างพื้นผิวละเอียด แสดงดังไมโครกราฟรูปที่ 5

4. สรุป

จากผลการทดลองชุบเคลือบแผ่นวงจรพิมพ์สองหน้าทรูโฮล บนชิ้นงานขนาด 10x14 ตารางเซนติเมตร ผิวชุบเคลือบที่ได้มีความหนาสม่ำเสมอ และอยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ ผิวชุบเคลือบทองแดงภายในรู หนา 25-35 ไมครอน ผิวชุบเคลือบดีบุก-ตะกั่ว หนา 10-20 ไมครอน งานที่กำลังศึกษาวิจัยเน้นการรักษาสภาพการชุบเคลือบ โดยการเติมสารเคมีเมื่อการชุบผ่านไป เพื่อให้ผิวชุบเคลือบที่ได้มีคุณสมบัติคงที่ โดยเฉพาะขั้นตอนการชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเสถียรภาพของน้ำยาชุบเคลือบค่อนข้างต่ำ สารเติมใช้ปริมาณน้อย สารชุบเคลือบประกอบด้วยสารเคมีถึง 9 ชนิด ทำให้ยากแก่การวิเคราะห์หาปริมาณ เมื่อศึกษาถึงการรักษาสภาพการชุบเคลือบได้ ขั้นตอนต่อไปทำการขยายขนาด ทำการชุบเคลือบแผ่นวงจรพิมพ์สองหน้าทรูโฮล บนชิ้นงาน 20x35 ตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นเป้าหมายของโครงการวิจัยนี้

5. เอกสารอ้างอิง

1. พันธุ์ทิพย์ มัณฑะจิตร และคณะ "การชุบเคลือบแผ่นวงจรพิมพ์โดยกระบวนการไม่ใช้ไฟฟ้า และใช้ไฟฟ้า" ในการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 1 "โครงการวิจัยและพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์" ณ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน ระหว่างวันที่ 15 - 16 สิงหาคม 2533
2. พันธุ์ทิพย์ มัณฑะจิตร และคณะ, "การพัฒนากระบวนการชุบทรูโฮลสำหรับแผ่นวงจรพิมพ์ระดับต้นแบบอุตสาหกรรม" ในการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 2 "โครงการวิจัยและพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์" ณ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน ระหว่างวันที่ 15 - 16 สิงหาคม 2534
3. Coombs, C.F., Printed Circuits Handbook, McGraw-Hill Book Company New York, 1967.
4. Eveleth, W.T., Mayer, L., Plated Through Hole Technology, PC. FAB., 60-64, AUG., 1985.
5. John, S., Shanmugam, N.V., Practical Formulations for Plating on ABS Plastics, Metal Finishing, 51-54, MARCH, 1986.
6. Krishnaram, T.S., Lakshminarayanan, S., Sastry, K.S., The Role of Stabilizers in Electroless Copper Bath, P.C. FAB., 24-30, FEB., 1982.
7. Mizumoto, S., Nawafune, H., Kawasaki, M., Mechanical Properties of Electroless Copper Deposits, Metal Finishing, 39-42, APRIL, 1987.
8. Sikonowiz, W., Designing and Creating Printed Circuits, Hayden Book Company, New Jersey, 1981.
9. Veleva, R., Role of Pottassium Ferrocyanide in Electroless Copper Baths, Surface and Coating Technology, 29, 87-93, 1986.
10. Walker, R., Cook, S.D., High Throw Copper Sulphate Bath with Chlorides, Surface Technology, 11, 189-203, 1980.

ตารางที่ 1 กรรมวิธีและรายละเอียดการชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าในรูเจาะของแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยสารที่พัฒนาขึ้นเอง

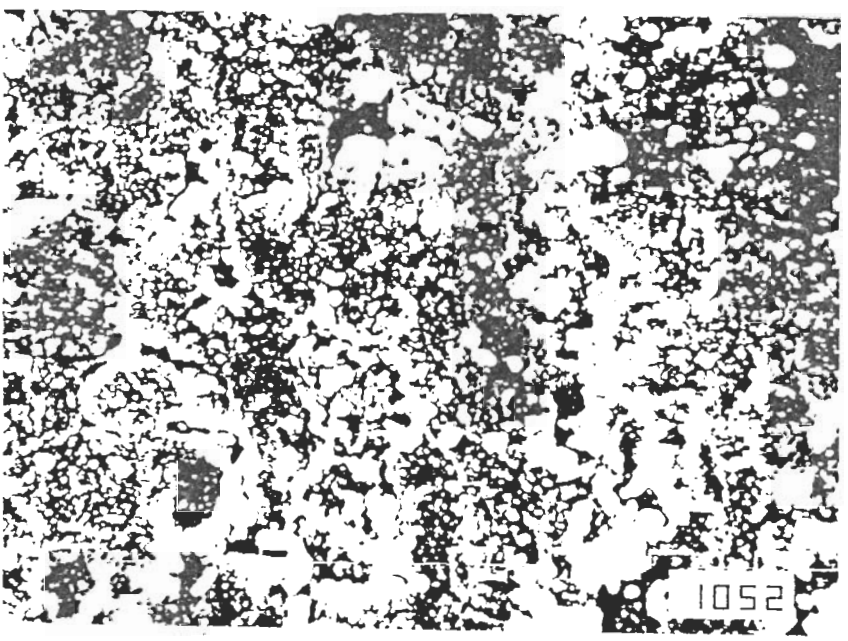
Flow Chart	Operation	Tank No.	Bath Composition			อุณหภูมิ °C	เวลา นาที	การกวน
1	Cleaning	1	Sodium carbonate	10	g/l	70	15	ทางกล
			Sodium hydroxide	9	g/l			
			Sodium pyrophosphate	10	g/l			
2	Copper Etch	2	Sulfuric acid	250	ml/l	บรรยากาศ	3	ทางกล
			Potassium dichromate	45	g/l			
3	Copper Etch	3	Ammonium persulphate	200	g/l	บรรยากาศ	2	ทางกล
4	Acid Dip	4	Sulphuric acid	10%	v/	บรรยากาศ	2	ทางกล
5	Acid Dip	5	Hydrochloric acid	33%	v/v	บรรยากาศ	2	ทางกล
6	Activating	6	Palladium chloride	1.1	g/l	บรรยากาศ	4	ทางกล
			Stannous chloride	55.5	g/l			
			Hydrochloric acid	333	ml/l			
7	Accelerating	7	Sulphuric acid	5%	v/v	บรรยากาศ	1	ทางกล
8	Electroless Copper plating	8	Electroless copper solution*			22	20	ทางกลเล็กน้อย

* electroless copper solution มีส่วนประกอบดังนี้

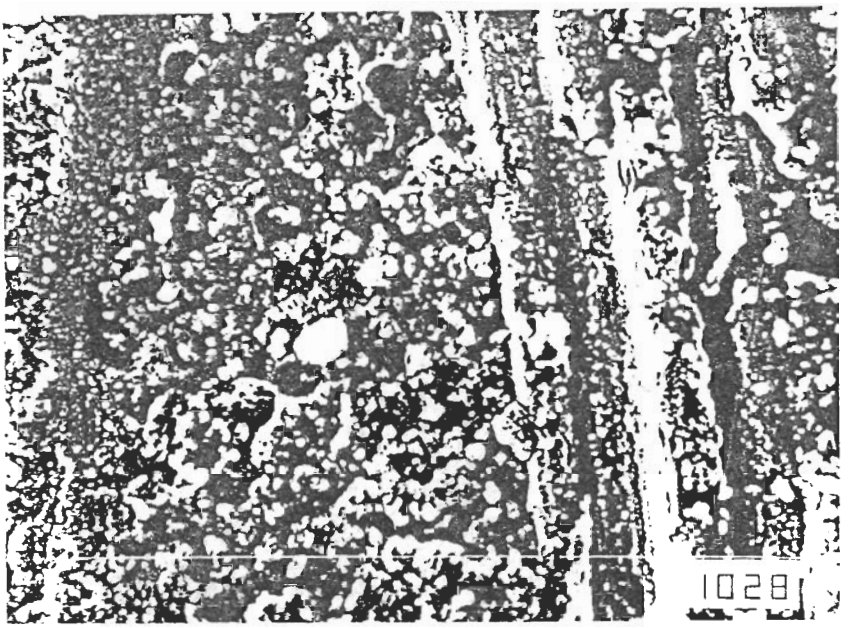
ส่วนประกอบหลัก			สารเติม (additive)	
part A ;	$CuSO_4.5H_2O$	35 g/l	$K_4Fe(CN)_6$	1×10^{-4} - 3×10^{-3} M
	NaOH	50 g/l	2 - MBT	1×10^{-4} - 3×10^{-4} M
	Na_2CO_3	30 g/l	triethanolamine	2 เท่าของปริมาณ $K_4Fe(CN)_6$
	Rochelle salt	170 g/l	PEG	0.17 M
part B ;	HCHO	40%	Glycine	0.06 M
part A : part B = 5 : 1				

ตารางที่ 2 กรรมวิธีและรายละเอียดการชุบเคลือบทองแดงและดีบุก-ตะกั่วแบบใช้ไฟฟ้า

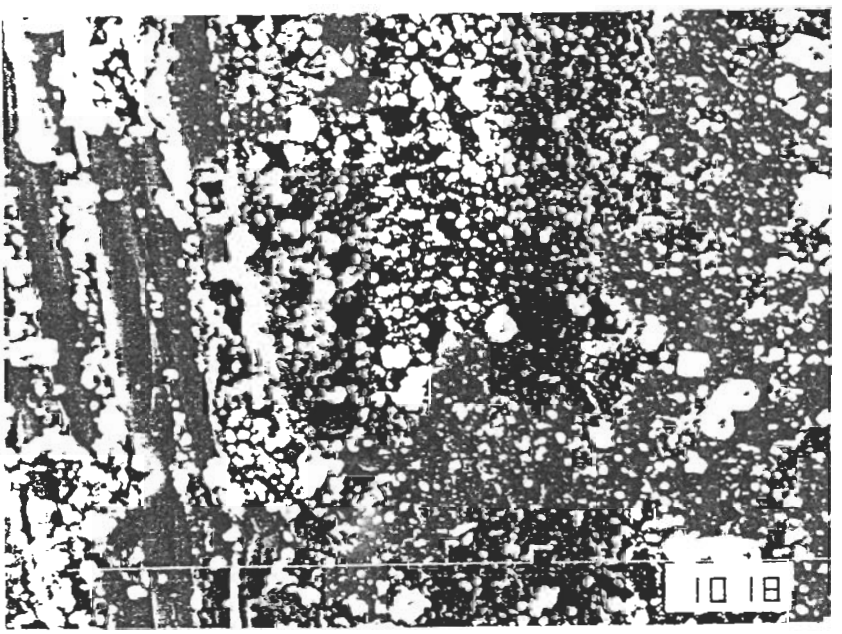
Flow Chart	Operation	Tank No.	Bath Composition		อุณหภูมิ °C	เวลา นาที	ความหนาแน่นกระแส (A/dm²)		การกวน
							CD_A	CD_C	
1	Acid Dip	9	Sulphuric acid	3.3% v/v	บรรยากาศ	5			ทางกล
2	Copper Plating	10	Copper sulphate-5 - hydrate	65 g/l	บรรยากาศ	30	3.1	5	พ่นอากาศ
			Sulphuric acid	150 ml/v					
			Chloride	40 ppm.					
			Brightener Hitachi	3 ml/l					
3	Acid Dip	11	Fluoboric acid	10% v/v	บรรยากาศ	5			ทางกล
4	Solder Plating	12	Stannous Fluoborate	170 ml/l	บรรยากาศ	20	2.2	2.2	ทางกล
			Lead fluoborate	53 ml/l					
			Fluoboric acid	142 ml/l					
			Boric acid	34 g/l					
			Peptone	5 g/l					



<u>รูปที่ 1</u> ผิวชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า
จากสารที่เตรียมขึ้นจากห้องทดลอง (x 1,500)

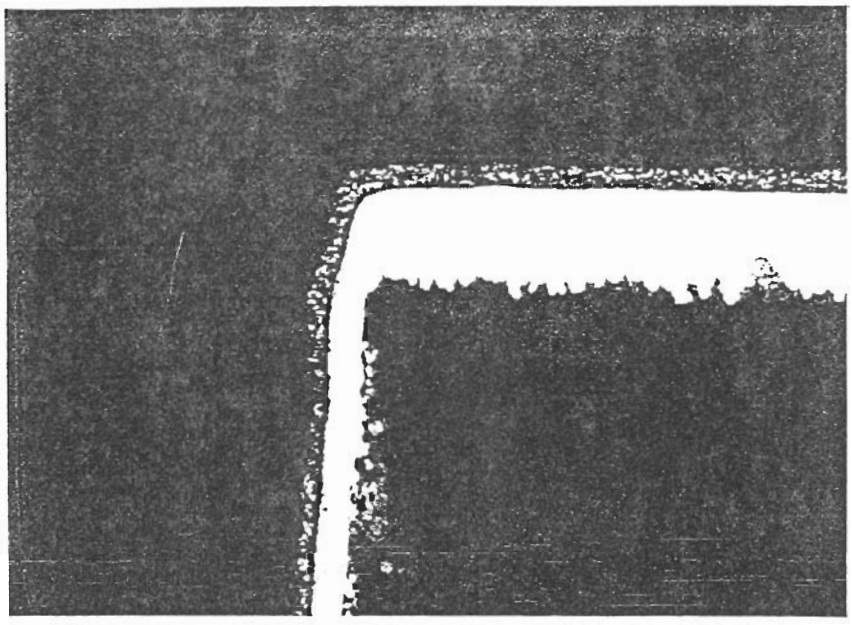


ก. เมื่อผ่านการเตรียมผิวด้วยโปแตสเซียมไดโครเมต
และกรดซัลฟูริก (x 1,500)

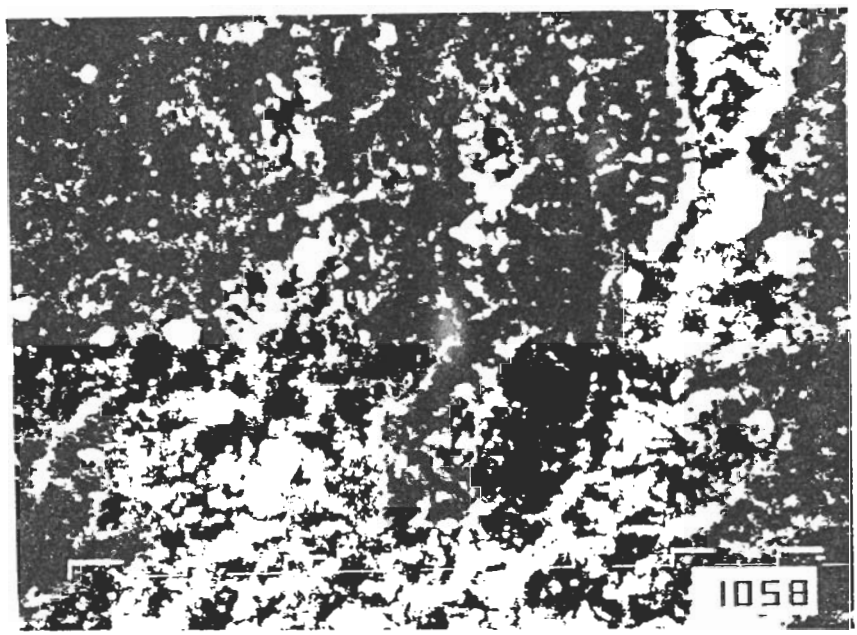


ข. เมื่อไม่ได้ผ่านการเตรียมผิวด้วยโปแตสเซียมไดโครเมต
และกรดซัลฟูริก (x 1,500)

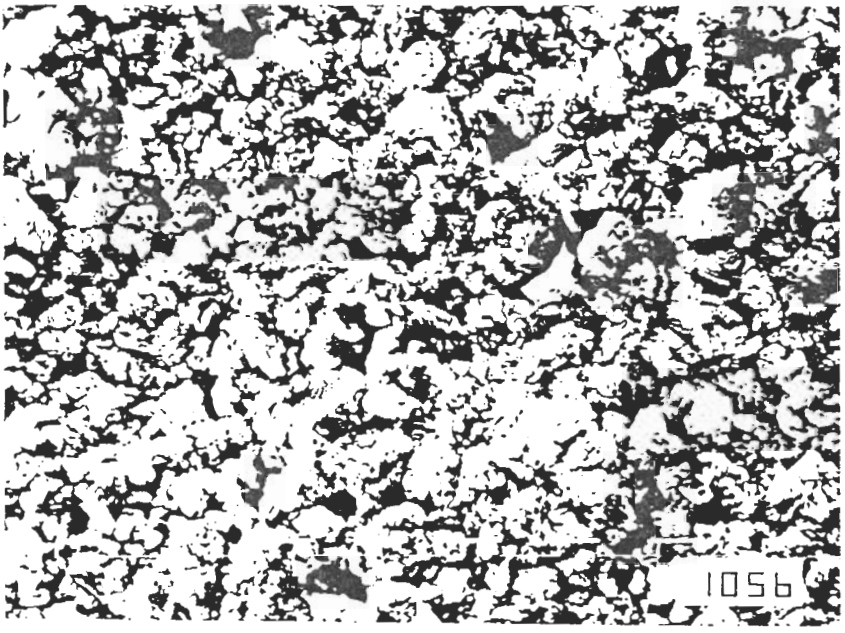
รูปที่ 2 ผิวชุบเคลือบทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้า บริเวณที่มี fiber



รูปที่ 3 ภาคตัดขวางผิวชุบเคลือบทองแดงแบบใช้ไฟฟ้า และ ผิวชุบเคลือบดีบุก-ตะกั่ว แบบใช้ไฟฟ้า (x 200)



รูปที่ 4 ผิวชุบเคลือบทองแดงแบบใช้ไฟฟ้า (x 1,500)



รูปที่ 6 ผิวชุบเคลือบดีบุก-ตะกั่ว แบบใช้ไฟฟ้า (x 1,500)