ระบบต้นแบบสำหรับการผลิตฟิล์มทองแดงแบบต่อเนื่อง โดยการชุบเคลือบด้วยไฟฟ้า เพื่อใช้กับงานแผงวงจรไฟฟ้า ตามมาตรฐาน ASTM B451-81

(Pilot unit for contiuous copper foil production by electroplating for printed circuit boards in line with ASTM B451-81 Standard)

สมพร ชูเกลี้ยง ชูชาติ นิติปัญญาวงศ์, ชยันต์ คุ้มภัย, กฤษณพงศ์ กีรติกร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี

บทคัดย่อ

แผงวงจรไฟฟ้าผลิตจากแผ่นอัดทองแดงที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น แผงวงจรไฟฟ้าที่ผลิตได้ถูกใช้ภายในประเทศและส่งออก ปริมาณการส่งออกในปี 2535 28,580 ล้านบาท และมีแนวโน้มสูงขึ้น ฟิล์มทองแดงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของแผ่นอัดทองแดง ที่ต้องมีคุณสมบัติทางเคมี ทางฟิสิกส์ และทางกล ที่เหมาะสม มีข้อกำหนดตามมาตรฐาน ASTM B451-81 กระบวนการผลิตฟิล์มทองแดงโดยวิธีการชุบเคลือบด้วยไฟฟ้า เป็นกระบวนการที่เหมาะสมที่สุด เพื่อผลิตฟิล์มทองแดงที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับแผ่นอัดทองแดง งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษากระบวนการผลิตฟิล์มทองแดง เพื่อแนวทางการผลิตแผ่นอัดทองแดงต่อไป

งานวิจัยประกอบด้วยการออกแบบและสร้างระบบต้นแบบสำหรับการผลิตฟิล์มทองแดงแบบ

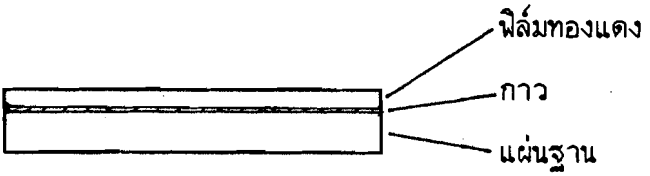
ต่อเนื่อง โดยใช้เหล็กสแตนเลสทรงกระบอกเป็นผิวรองรับ(แคโทด) และใช้ทองแดงแผ่นราบเป็นตัวล่อ(แอโนด) ทรงกระบอกจุ่มอยู่ในน้ำยาชุบเคลือบบางส่วน การทดสอบการผลิตฟิล์มทองแดง ทำโดยการหมุนเหล็กสแตนเลสทรงกระบอกด้วยความเร็วรอบที่เหมาะสม และชุบเคลือบทองแดงด้วยไฟฟ้าบนผิวทรงกระบอกส่วนที่จุ่มอยู่ในน้ำยาชุบเคลือบ ขณะเดียวกันทำการลอกฟิล์มทองแดงออกจากผิวทรงกระบอกที่หมุนขึ้นมาเหนือน้ำยาชุบเคลือบ และทำการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มทองแดงที่ได้

ผลการวิจัยแสดงผลว่า การผลิตฟิล์มทองแดงที่ ส่วนประกอบน้ำยาชุบเคลือบ คอปเปอร์ซัลเฟต($CuSO_4.5H_2O$) 225 g/l กรดซัลฟูริก 65 g/l อุณหภูมิ 30-33 °C อัตราการกวนลม 0.01-0.035 m^3/min ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10-30 A/dm^2 ได้ฟิล์มทองแดงที่ความหนา 36 ไมครอน มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับแผ่นอัดทองแดงตามมาตรฐาน ASTM B451-81 ที่ความหนา 18 ไมครอน มีรูตามด(pinhole)เกิดขึ้นเกินมาตรฐานจึงไม่เหมาะสมสำหรับแผ่นอัดทองแดง ระบบที่พัฒนาขึ้นมีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรม

บทนำ

แผ่นวงจรพิมพ์(Printed circuit board,PCB)เป็นอุปกรณ์ที่ขาดไม่ได้สำหรับแผงวงจรไฟฟ้าหรือวงจรอิเลคทรอนิคส์ ไม่ว่าเป็นอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ที่ใช้ในบ้าน ใช้ในงานอุตสาหกรรม เครื่องมือวัด คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์โทรคมนาคม แผ่นวงจรพิมพ์ที่ผลิตได้จากแผ่นอัดทองแดงซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น แผงวงจรไฟฟ้าได้ถูกใช้ภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ มูลค่าส่งออกสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปีพ.ศ.2534 ส่งออก 25,774 ล้านบาท ปีพ.ศ.2535 ส่งออก 28,580 ล้านบาท

แผ่นอัดทองแดงประกอบด้วยฟิล์มทองแดงและแผ่นฐาน แผ่นฐานทำจากวัสดุสังเคราะห์หลายชนิดขึ้นกับงานที่ใช้



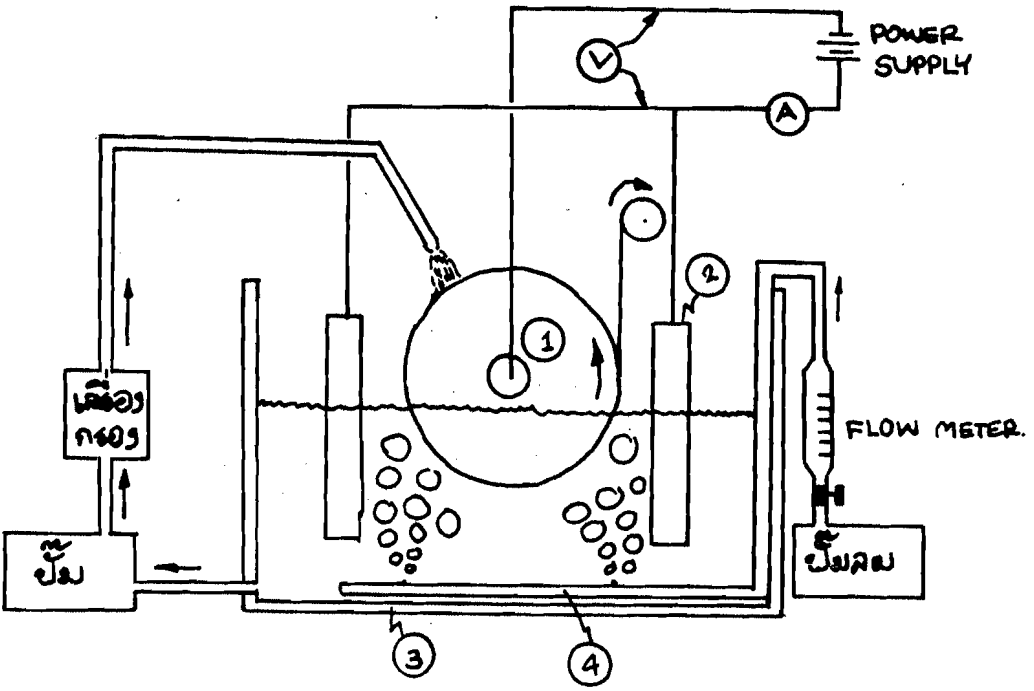
รูปที่ 1 แผ่นอัดทองแดง[1]

ฟิล์มทองแดงที่ติดบนแผ่นฐานเป็นส่วนที่เป็นโลหะที่จะเป็นลายวงจรในแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสม ฟิล์มทองแดงที่ได้จากกระการชุบเคลือบด้วยไฟฟ้ามีคุณสมบัติต่าง ๆตามมาตรฐานASTM B451-81 ได้แก่ ความหนา น้ำหนักต่อพื้นที่ ความบริสุทธิ์ของทองแดง ความต้านทานไฟฟ้า ค่าทนแรงดึง อัตราการยืดตัว และความสมบูรณ์ของแผ่นฟิล์ม(รูตามดรอยยับ รอยขีดข่วน รอยถลอก ความไม่เรียบ)[2]

แนวความคิดในการผลิตฟิล์มทองแดงแบบต่อเนื่องโดยการชุบเคลือบด้วยไฟฟ้าบนผิวทรงกระบอกมีมาก่อนปี 1937 [3] ต่อมาในปี 1988 Nakatsugawa[4]และPolam[5] ได้จดสิทธิบัตร(US Patent) เกี่ยวกับระบบการผลิตฟิล์มทองดังนี้ ทรงกระบอกซึ่งเป็นผิวรองรับมักทำจากเหล็กสแตนเลส แทนทาลัม ไททาเนียม หรือโครเมียม แอโนดทำจากทองแดง ตะกั่ว หรือแพลตินั่ม แอโนดมักมีลักษณะเป็นผิวโค้งขนานกับผิวทรงกระบอก น้ำยาชุบเคลือบถูกบังคับให้ไหลผ่านช่องว่างระหว่างชิ้นด้วยความเร็วที่เหมาะสม เพื่อขจัดฟองก๊าซที่เกิดขึ้นและเพื่อปรับสภาพน้ำยาส่วนที่เกิดการชุบเคลือบให้เหมือนกับในถังชุบ สำหรับระบบที่แตกต่างไปจากนี้ ได้แก่สิทธิบัตร(US Patent)ของBerdan ซึ่งจดเมื่อปี1979 [6] เป็นการชุบเคลือบทองแดงบนฟิล์มอลูมิเนียมซึ่งเป็นผิวรองรับชั่วคราว การชุบเคลือบในกระบวนการผลิมฟิล์มทองแดงมักใช้การชุบเคลือบทองแดงแบบกรดซัลฟิวริก องค์ประกอบคือคอปเปอร์ซัลเฟต($CuSO_4.5H_2O$) 210-240 g/l กรดซัลฟูริก(H_2SO_4) 52-75 g/l ฟิล์มทองแดงที่ได้จากน้ำยาชุบเคลือบนี้มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับแผงวงจรไฟฟ้า[7]

วิธีการทดลอง

งานวิจัยประกอบด้วยการออกแบบและสร้างระบบต้นแบบสำหรับการผลิตฟิล์มทองแดงแบบต่อเนื่อง โดยใช้เหล็กสแตนเลสทรงกระบอกเป็นผิวรองรับ(แคโทด)ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.7 cm ยาว 30.5 cm และตัวล่อ(แอโนด)ที่เป็นทองแดงที่มีฟอสฟอรัสเจืออยู่ 0.04 % มีลักษณะเป็นแผ่นราบ หนา 0.9 cm กว้าง 15 cm ยาว 30.5 cm ถังชุบเคลือบทำด้วย พี.วี.ซี หนา 0.5 cm กว้าง 30 cm ยาว 38 cm สูง 30 cm ปริมาตรน้ำยาชุบเคลือบขณะทำงาน 18-19 l ระบบชุบเคลือบแสดงดังรูปที่ 2



1 : เหล็กสแตนเลสทรงกระบอก(แคโทด)

2 : ทองแดงแผ่นราบ(แอโนด)

3 : ถังชุบ

4 : ท่อกวนลม

รูปที่ 2. ระบบต้นแบบสำหรับการผลิตฟิล์มทองแดง

ทรงกระบอกจมอยู่ในน้ำยาชุบเคลือบบางส่วน ระดับน้ำยาชุบเคลือบอยู่ต่ำกว่าจุดศูนย์กลางทรงกระบอก 2-3 cm ขั้วแอโนดอยู่ห่างจากผิวทรงกระบอก 1 cm(วัดในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งฉากกับผิวขั้วแอโนด) ทรงกระบอกหมุนโดยอาศัยมอเตอร์ซึ่งปรับความเร็วรอบตามที่ต้องการได้ ขณะทำการชุบเคลือบกรองน้ำยาชุบเคลือบด้วยไส้กรองขนาด 10 μm พ่นน้ำยาชุบเคลือบลงบนผิวรองรับสแตนเลสเพื่อทำความสะอาดผิวก่อนเริ่มกระบวนการชุบเคลือบผิวใหม่ รักษาอุณหภูมิให้คงที่ในช่วง 30-33 °Cด้วยระบบน้ำหล่อเย็นภายในถังชุบเคลือบ กวนน้ำยาชุบเคลือบด้วยระบบพ่นฟองอากาศระหว่างแคโทดและแอโนด โดยใช้ปั๊มลมขนาด 0.25 แรงม้า อัตราการไหลของลม 0-0.035 m^3/min กระแสที่ใช้ในการชุบเคลือบได้จากเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำขนาด 500 A 15 V วัดกระแสในขณะชุบเคลือบด้วยProbe วัดกระ

แสตรงขนาด 0-200 A

ขณะชุบเคลือบทรงกระบอกจะหมุน ส่วนที่อยู่ในสารละลายเกิดการชุบเคลือบ ขณะเดียวกันฟิล์มทองแดงถูกลอกออกจากผิวทรงกระบอกส่วนที่อยู่เหนือน้ำยาชุบเคลือบ ความหนาของฟิล์มทองแดงที่ได้ ขึ้นกับความเร็วรอบของทรงกระบอกและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ดังนั้นในการทดสอบผลิตฟิล์มทองแดงที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ ความเร็วรอบทรงกระบอกจะถูกปรับจนให้ได้ความหนาตามความต้องการ โดยใช้ ASTM B451-81 เป็นมาตรฐาน

สรุปสภาวะการทดลอง

ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต($CuSO_4.5H_2O$)	225	g/l
ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก(H_2SO_4)	65	g/l
พื้นที่แอโนด	7.02	dm^2
พื้นที่แคโทด	5.49	dm^2
ระยะห่างระหว่างขั้ว	1	cm
อุณหภูมิ	30 ถึง 33	°C
อัตราการกวนลม	0.01,0.02,และ 0.035	m^3/min
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	10,15,20,และ 30	A/dm^2

ฟิล์มทองแดงที่ได้นำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่

ก. ความหนา วัดโดยเครื่องวัดความหนาผิวเคลือบ Couloscope รุ่นS9 ของบริษัทHelmut Fischer GMBH ประเทศเยอรมัน

ข. น้ำหนักต่อพื้นที่ หาโดยการชั่งน้ำหนัก

ค. ค่าทนแรงดึงและอัตราการยืดตัว วัดโดยเครื่องวัดแรงดึง Shimadzu Autograph AGS-D Resies ของบริษัทShimadzu ประเทศญี่ปุ่น โดยใช้สภาวะการวัดตามมาตรฐาน ASTM E345-87 [8]

ง. ความบริสุทธิ์ของทองแดง หาโดยวิธี Electroanalytical [9]

จ. จำนวนรูตามด หาโดยวิธีนำแสงส่องด้านหนึ่งของแผ่นฟิล์มและสังเกตแสงที่ลอดผ่านอีกด้านหนึ่งของแผ่นฟิล์ม[2]

ฉ. ขนาดของรูตามด หาโดยใช้กล้องจุลทัศน์[2]

สรุปผลการทดลอง

ระบบต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถผลิตฟิล์มทองแดงได้หนา 18 และ 36 μm ขนาดหน้ากว้าง 28 cm(หลังจากตัดขอบออกด้านละ 1.25 cm) คุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มทองแดงเปรียบเทียบกับมาตรฐานASTM B451-81 แสดงดังตารางที่ 2.

ฟิล์มทองแดงที่ความหนา 18 μm ไม่ผ่านมาตรฐานในข้อกำหนดของรูตามด ซึ่งคาดว่าเกิดจากผิวรองรับที่ใช้วัสดุเป็นเหล็กสแตนเลส แต่เมื่อผลิตฟิล์มที่ความหนา 36 μmแรงยึดเกาะภายในเนื้อฟิล์มสูงกว่า ในขณะลอกฟิล์มจึงไม่เกิดรูตามด ระบบการชุบเคลือบนี้สามารถผลิตฟิล์มทองแดงหนา 36 μm ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐานของฟิล์มทองแดงเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบแผ่นอัดทองแดง ASTM B451-81 คือ ความหนา 36 $\pm$ 5.1 μm น้ำหนักต่อพื้นที่ 274.5-335 g/m^2 ความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.5 % ค่าทนแรงดึงอย่างน้อย 20.91 kg/mm^2 อัตราการยืดตัวมากกว่า 3 % จำนวนรูตามดไม่เกิน 8 จุดต่อตารางฟุต และขนาดพื้นที่รวมของรูตามดไม่เกิน 2.5×10^{-3} mm^2/ft^2

สภาวะที่ควรใช้ผลิตฟิล์มที่ความหนา 36 μmสำหรับระบบต้นแบบนี้ ที่ความเข้มข้นน้ำยาชุบและอุณหภูมินี้ คือ อัตราการกวนลม 0.01-0.035 m^3/min ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10-30 A/dm^2 ซึ่งให้อัตราการผลิตฟิล์มทองแดงหน้ากว้าง 28 cm ดังตารางที่ 1.

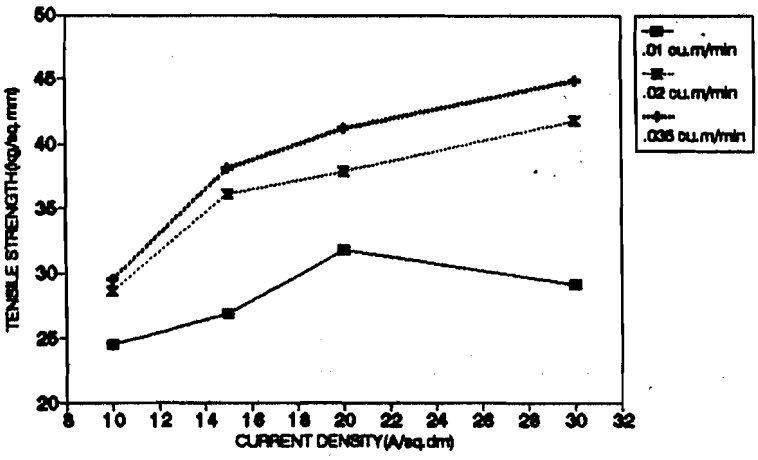
ตารางที่ 1. อัตราการผลิตฟิล์มทองแดงที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่าง ๆ

ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า(A/dm^2)	อัตราการผลิตฟิล์มทองแดง(m/hr)
10	0.66
15	0.99
20	1.32
30	1.98

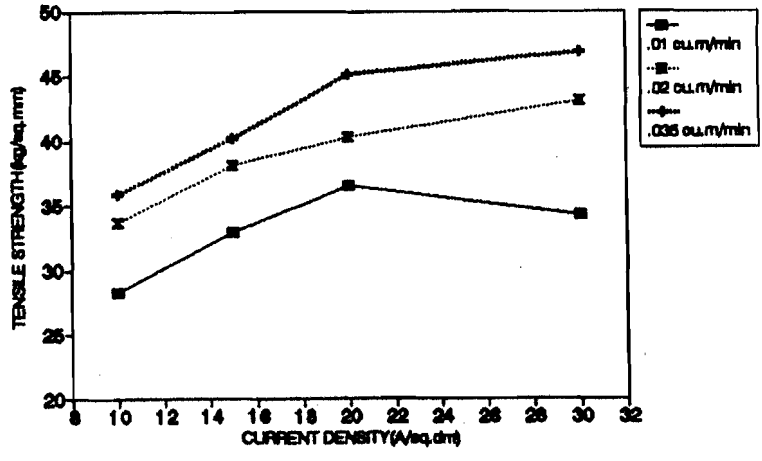
พบว่าค่าทนแรงดึงเพิ่มขึ้นตามอัตราการกวนลมและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3. และ 4. ซึ่งสอดคล้องตามข้อสรุปของLowenheim [7] และWinanrd [10]ที่สรุปว่าการชุบเคลือบที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นและอัตราการกวนเพิ่มขึ้นมีผลให้ขนาดของเกรนเล็กลงจึงเป็นเหตุให้ค่าทนแรงดึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2. แสดงเปรียบเทียบคุณสมบัติฟิล์มทองแดงตามมาตรฐานASTM B451-81และที่ผลิตได้จากระบบต้นแบบที่ความเข้มข้น $CuSO_4.5H_2O$ 225 g/l, H_2SO_4 65 g/l, อุณหภูมิ 31-33 °C, อัตราการกวนลม 0.01-0.035m^3/min, และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10-30 A/dm^2

PLATING CONDITION			COPPER FOIL PROPERTY							
AIR BUBBLE RATE (ou.m/min.)	CURRENT DENSITY (A/sq.dm)	PLATING TIME (min.)	THICKNESS (um)	WEIGHT (g/sq.m)	PURITY (%)	TENSILE STRENGTH (kg/sq.mm)	ELONGATION IN 50 mm. (%)	NUMBER OF PINHOLE (AVERAGE) (1/sq.ft)	DIAMETER OF PINHOLE (AVERAGE) (um)	TOTAL PINHOLE AREA (sq.mm/sq.ft)
0.01	10	8.34	18.5 +,- 2.3	162	99.77	24.5	5	8064	9.63	0.5873
0.01	15	5.38	17.9 +,- 2.2	147	99.77	26.8	7	9072	9.63	0.6608
0.01	20	4.08	18.1 +,- 2.1	148	99.77	31.7	4	10512	9.63	0.7656
0.01	30	2.68	17.8 +,- 2.2	142	99.77	29.1	5	12096	9.63	0.8810
0.01	10	16.33	36.2 +,- 2.7	300	99.77	28.3	11	0	-	0.0000
0.01	15	10.46	34.8 +,- 1.8	297	99.77	32.9	13	1	3.00	0.0000
0.01	20	8.49	37.4 +,- 2.3	314	99.77	36.5	9	1	7.00	0.0000
0.01	30	5.58	37.1 +,- 2.4	301	99.77	34.3	8	2	4.50	0.0000
0.02	10	8.21	18.2 +,- 2.2	161	99.77	28.6	5	4032	9.63	0.2937
0.02	15	5.26	17.5 +,- 2.2	147	99.77	36.1	7	4608	9.63	0.3356
0.02	20	3.81	16.9 +,- 2.3	144	99.77	37.8	7	4320	9.63	0.3146
0.02	30	2.75	18.3 +,- 2.4	158	99.77	41.8	8	4752	9.63	0.3461
0.02	10	16.64	36.9 +,- 2.3	310	99.77	33.7	9	0	-	0.0000
0.02	15	10.58	35.2 +,- 2.3	306	99.77	38.1	12	0	-	0.0000
0.02	20	8.12	36.0 +,- 2.4	302	99.77	40.3	13	1	6.00	0.0000
0.02	30	5.36	35.8 +,- 2.4	303	99.77	43.1	12	0	-	0.0000
0.035	10	8.25	18.3 +,- 2.3	158	99.77	29.5	6	2592	9.63	0.1888
0.035	15	5.41	18.0 +,- 2.2	156	99.77	38.1	6	2160	9.63	0.1573
0.035	20	4.01	17.8 +,- 2.5	147	99.77	41.2	8	1872	9.63	0.1363
0.035	30	2.80	18.6 +,- 2.5	151	99.77	44.9	7	2016	9.63	0.1468
0.035	10	16.33	36.2 +,- 2.5	301	99.77	35.8	8	0	-	0.0000
0.035	15	10.77	35.8 +,- 2.9	294	99.77	40.2	12	0	-	0.0000
0.035	20	7.98	35.4 +,- 2.9	294	99.77	45.1	12	0	-	0.0000
0.035	30	5.53	36.8 +,- 3.0	292	99.77	46.8	13	1	5.00	0.0000
COPPER FOIL FROM ASTM B451-81 STANDARD			18 +,- 5.1 36 +,- 5.1	153 +,-10% 305 +,-10%	>=99.50 >=99.50	>10.71 >20.91	>3 >3	<15 <8	- -	<0.0025 <0.0025



รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทนแรงดึงของฟิล์มและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ที่อัตราการกวนลม 0.01,0.02 และ 0.035 m^3/min ความหนาฟิล์ม 18 μm



รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทนแรงดึงของฟิล์มและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ที่อัตราการกวนลม 0.01,0.02 และ 0.035 m^3/min ความหนาฟิล์ม 36 μm

เอกสารอ้างอิง

1. กฤษดา วิศวธีรานนท์,2529, แผ่นวงจรพิมพ์ การออกแบบ การผลิตและการควบคุมคุณภาพ, การอบรมทางวิชาการ, กรุงเทพ, หน้า 1-9
2. ASTM Standard, 1986, Standard Specification for copper fiol, Strip, and Sheet for Printed Cricuits and Carrier Tapes, B451-81
3. Hughes, L.E.C., 1959, Electronic Engineer's Refernce Book,2 edition, p.1381-1389
4. Nakatsngawa, H., 1988, Method of making electrolytic metal foil and applications used therefor, United States Patent, no. 4,778,571
5. Polam, N.W., 1988, Cathode surface treatment for elecforming metallic foil or strip, United States Patent, no. 4,789,438
6. Berdan, B.L., Luce, B.M., 1979, Process for electroforming copper fiol, United States Patent, no. 4,169,018
7. Lowenheim, F.A., 1978, Electroplating, New York, McGraw-Hill, p.115-150, 426-441
8. ASTM Standard, 1988, Standard test methods of tension testing od metallic fiol, E345-87
9. ASTM Standard, 1988, Standard test methods for chemical analysis of copper, E53-86a
10. Winanrd, Rena, Degrez, Marc,1989,Relationshipe between functional properties,morphology and electrolytic condition in the case of copper deposition from a sulfate solution, Acta Technnica Belgica Metallurgie, Univ Libre de Bruxelles, Brusells, Belg, vol. 29, no. 1-2, p 5-15