บทที่ 4
ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการตรวจสอบความหนาแน่น

การตรวจสอบความหนาแน่นของโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ใช้วิธีการของอาร์คีมีดิส (Archimedes's Method) โดยชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการซินเทอร์ริ่ง(Sintering) และ การอัดขึ้นรูปซ้ำ(Repressing) ถูกนำมาตรวจสอบความหนาแน่น ผลการตรวจสอบแสดงดังตารางที่ 4.1 ชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะดีบุกออกไซด์ (SnO_2) และ สังกะสีออกไซด์ (ZnO) มีค่าความหนาแน่นประมาณ 8 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ส่วนโลหะเงินผสมโลหะทองแดงออกไซด์(CuO) มีค่าความหนาแน่นประมาณ 6.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร เมื่อชิ้นงานถูกนำมาอัดขึ้นรูปซ้ำทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นตามคำนวณ(Theoretical Density)โดยมีค่า ระหว่าง 9.0-9.8 กรัมต่อลูกบาศ์กเซ็นติเมตร คิดเป็น 91-96 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุเกิดจากปริมาณรูพรุนลดน้อยลง

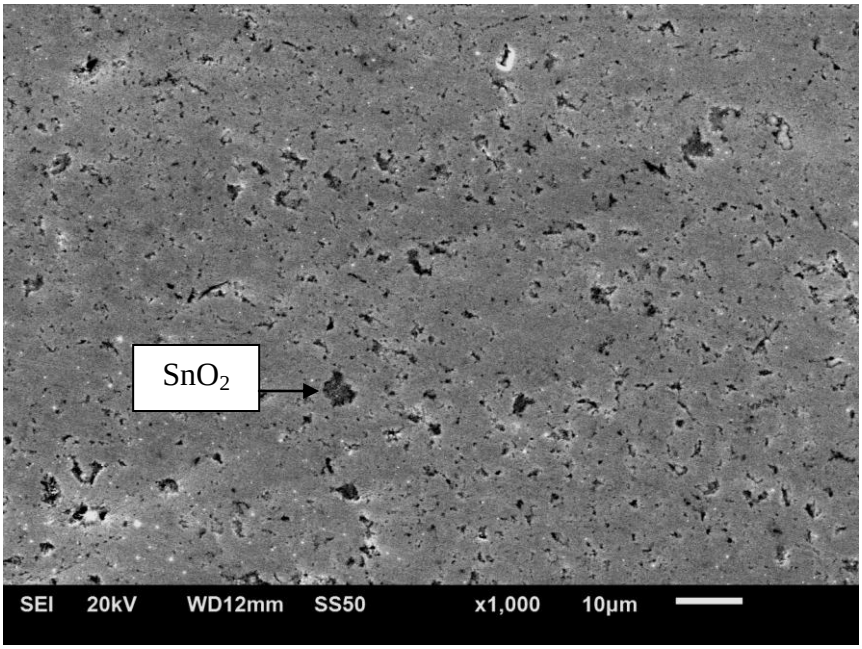
ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ที่กระบวนการขึ้นรูปต่างๆ

Type	Sintered density (g/cm^3)	Re-press density (g/cm^3)	Theoretical density (g/cm^3)	Relative density (%)
Ag-5SnO_2	8.10	9.80	10.31	95
Ag-5ZnO	8.26	9.78	10.25	95
Ag-5CuO	6.48	9.81	10.28	95
Ag-10SnO_2	8.80	9.32	10.14	92
Ag-10ZnO	7.74	9.09	10.00	91
Ag-10CuO	6.46	9.69	10.07	96

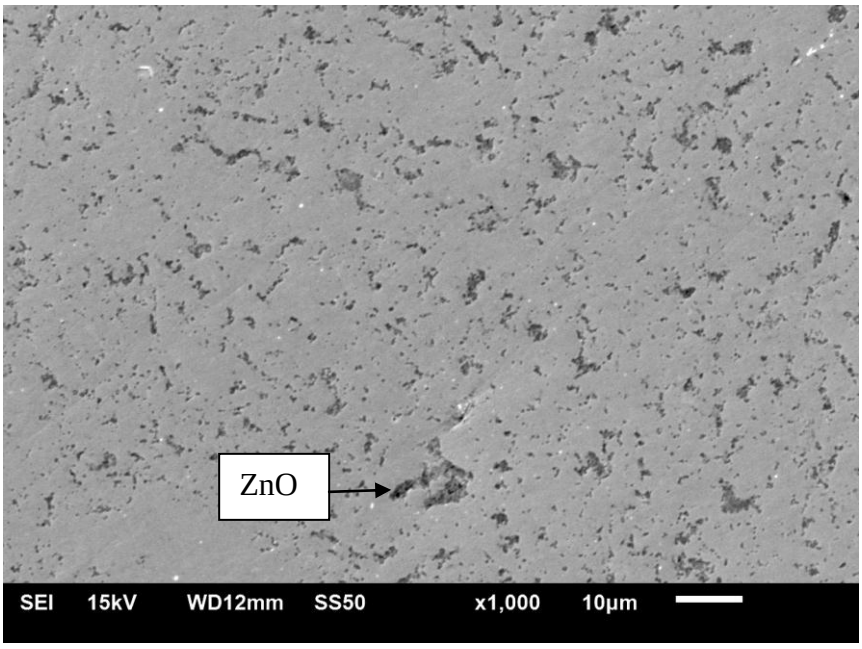
4.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ Ag-5SnO_2, Ag-5ZnO, Ag-5CuO, Ag-10SnO_2, Ag-10ZnO, Ag-10CuO หลังผ่านการอัดขึ้นรูป การซินเทอร์ริ่ง (Sintering) และอัดขึ้นรูปซ้ำ (Repressing) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า พร้อมทั้งตรวจสอบส่วนผสมด้วยวิธี EDS (Energy dispersive spectrometer) แสดงได้ดังนี้

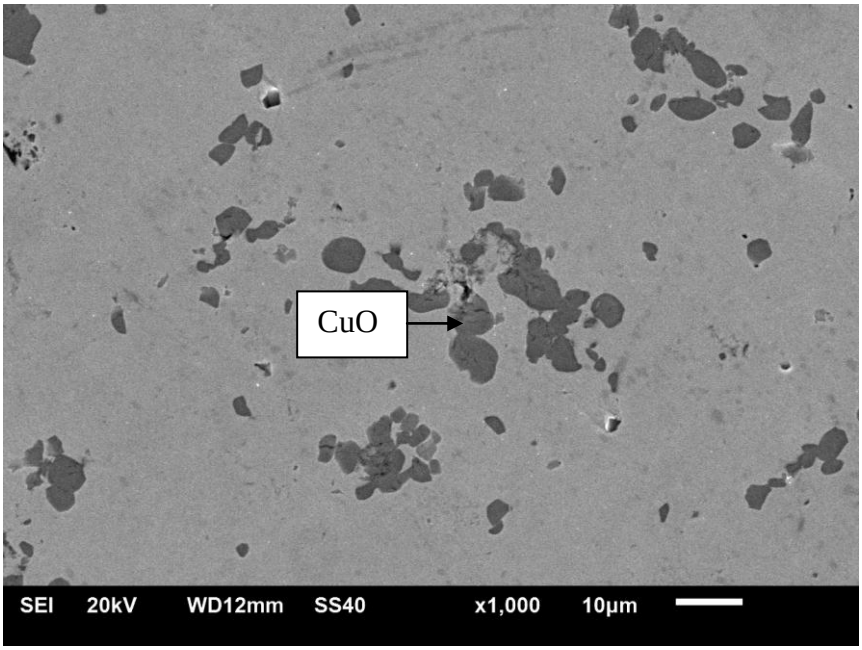
ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ หลังผ่านการเตรียมผิวหน้าชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600,800,1000 และ 1200 แล้วขัดละเอียดด้วยผงอลูมินาขนาด 1 และ 0.3 ไมครอน ผลการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 4.1(ก)-(ฉ) พบว่าเม็ดสีดำกระจายทั่วโลหะพื้นสีเทา โดยเม็ดสีดำเป็นโลหะออกไซด์ชนิดต่างๆ ได้แก่ SnO_2, ZnO และ CuO ที่กระจายบนโลหะเงินดังผลการตรวจสอบส่วนผสมเม็ดสีดำของโลหะ Ag-5CuO ตำแหน่งที่ถูกตรวจสอบแสดงในรูปที่ 4.1(ค) พบว่ามีส่วนผสมทางเคมี 76.2Cu-22.1O-1.8Ag ซึ่งมีส่วนผสมของทองแดงและออกซิเจนเป็นส่วนผสมหลักส่วนโลหะเงินมีปริมาณเล็กน้อยเป็นผลจากปริมาณโลหะเงินบริเวณโดยรอบ



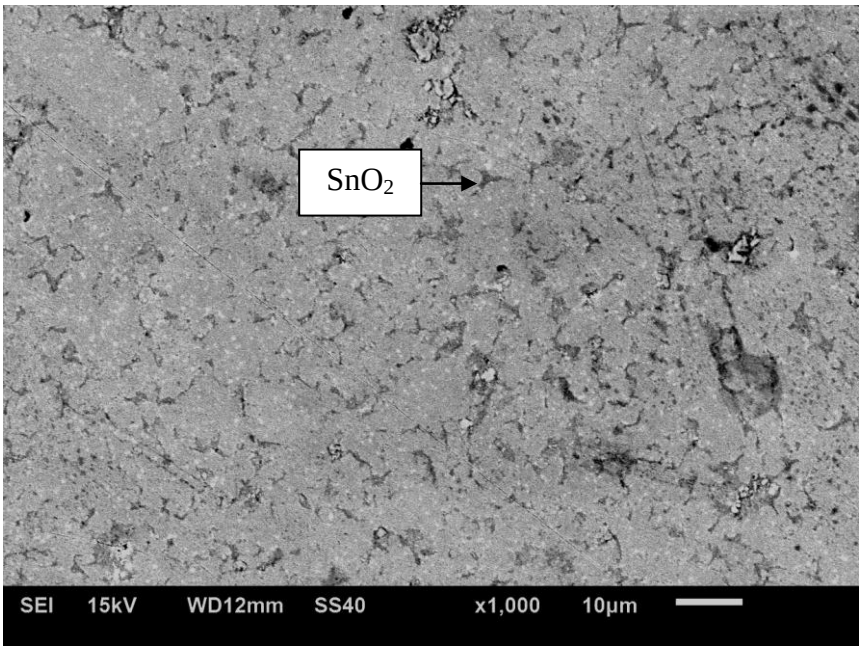
(ก)



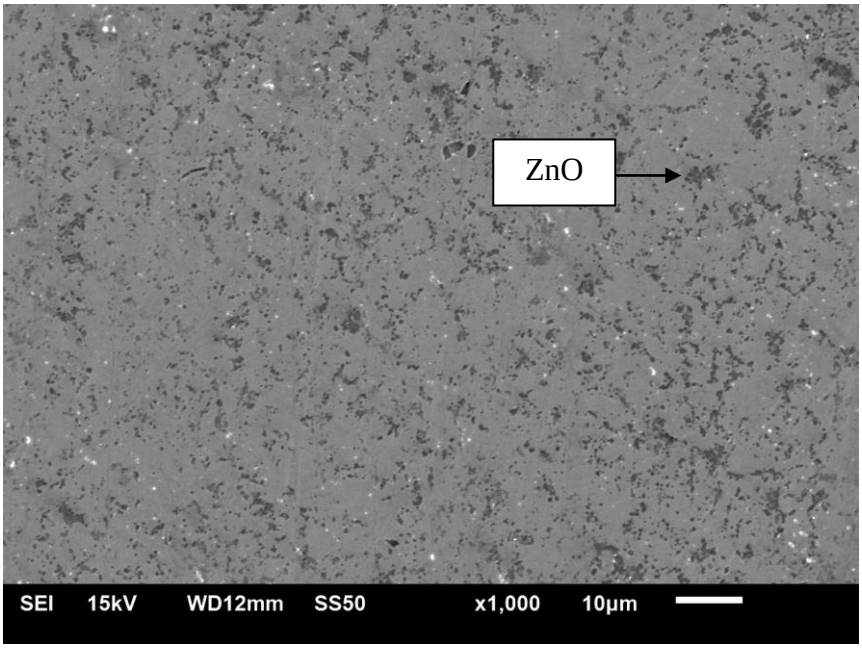
(ข)


CuO
SEI 20kV WD12mm SS40 x1,000 10µm

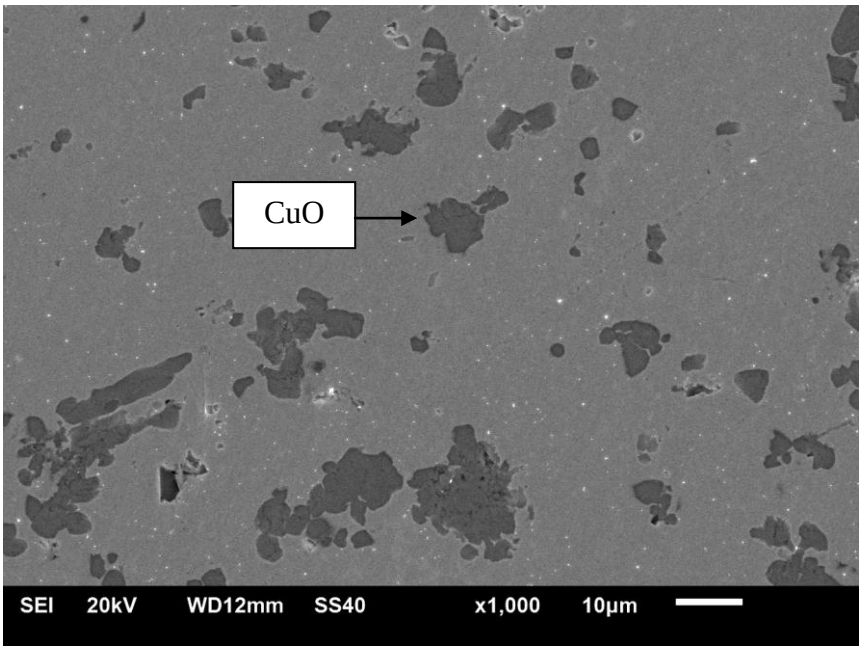
(ค)


SnO2
SEI 15kV WD12mm SS40 x1,000 10µm

(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.1 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ หลังผ่านการอัดขึ้นรูป ซินเทอร์ริ่ง และอัดขึ้นรูปซ้ำ (ก) Ag-5SnO_2 , (ข) Ag-5ZnO, (ค) Ag-5CuO, (ง) Ag-10SnO_2 , (จ)Ag-10ZnO และ (ฉ) Ag-10CuO

ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ชนิดต่างๆ ด้วยเทคนิค Energy Dispersive Spectrometer(EDS) แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยทำการตรวจสอบทั่ว

บริเวณของรูปที่ 4.1 พบว่า โลหะ Ag-5SnO_2 มีส่วนผสมของโลหะเงินประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับส่วนผสมที่ทำการชั่งน้ำหนัก ส่วนโลหะชนิดอื่นพบปริมาณโลหะเงินลดลง

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์

Type	Chemical composition(%wt)				
	Ag	O	Sn	Zn	Cu
Ag-5SnO_2	94.0	2.0	4.0	-	-
Ag-5ZnO	91.2	2.3	-	6.6	-
Ag-5CuO	87.7	6.3	-	-	6.0
Ag-10SnO_2	85.3	5.0	9.8	-	-
Ag-10ZnO	86.5	3.4	-	10.1	-
Ag-10CuO	81.7	9.1	-	-	9.2

4.3 ผลการทดสอบความแข็ง

ชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ หลังผ่านการซินเทอร์ริ่ง(Sintering) และอัดขึ้นรูปซ้ำ (Re-pressing) ถูกนำมาทดสอบความแข็งแบบจุลภาค(Microhardness Tester) ด้วยหัวกดเพชรรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส ใช้น้ำหนักกด 100 กรัม เวลาในการกดค้าง 15 วินาที สุ่มกด 3 ตำแหน่ง ผลการทดสอบความแข็งแสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่า ชิ้นงานหลังทำซินเทอร์ริ่งมีค่าความแข็งน้อย สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นชิ้นงานซินเทอร์ริ่ง เมื่อนำชิ้นงานดังกล่าวมาทำการอัดขึ้นรูปซ้ำ ความแข็งชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับความหนาแน่นของชิ้นงานที่เพิ่มมากขึ้น

นอกจากนั้นชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ชนิดเดียวกันที่ปริมาณโลหะออกไซด์ต่างกันไม่ส่งผลต่อค่าความแข็ง เช่น Ag-5SnO_2 และ Ag-10SnO_2 มีความแข็งหลังผ่านการอัดขึ้นรูปซ้ำประมาณ 100 HV โลหะ Ag-5ZnO และ Ag-10ZnO มีค่าความแข็งประมาณ 100 HV และ โลหะ Ag-5CuO และ Ag-10CuO มีค่าความแข็งประมาณ 88 HV ค่าความแข็งของโลหะเงินผสมดีบุกออกไซด์(SnO_2) และ สังกะสีออกไซด์(ZnO) ให้ค่าความแข็งสูงกว่าโลหะเงินผสมทองแดงออกไซด์ เนื่องจากค่าความแข็งของดีบุกออกไซด์ และ สังกะสีออกไซด์มีค่าความแข็งมากกว่า ทองแดงออกไซด์ โดยดีบุกออกไซด์มีค่าความแข็งระดับ 6-7 หรือ 1239-1467 HV สังกะสีออกไซด์มีค่าความแข็งระดับ 4 หรือ 205-221 HV และทองแดงออกไซด์มีค่าความแข็งระดับ 3.5 หรือ 190-300 HV [8]

ตารางที่ 4.3 ความแข็งชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์หลังผ่านการซินเทอร์ริ่งและอัดขึ้นรูปซ้ำ

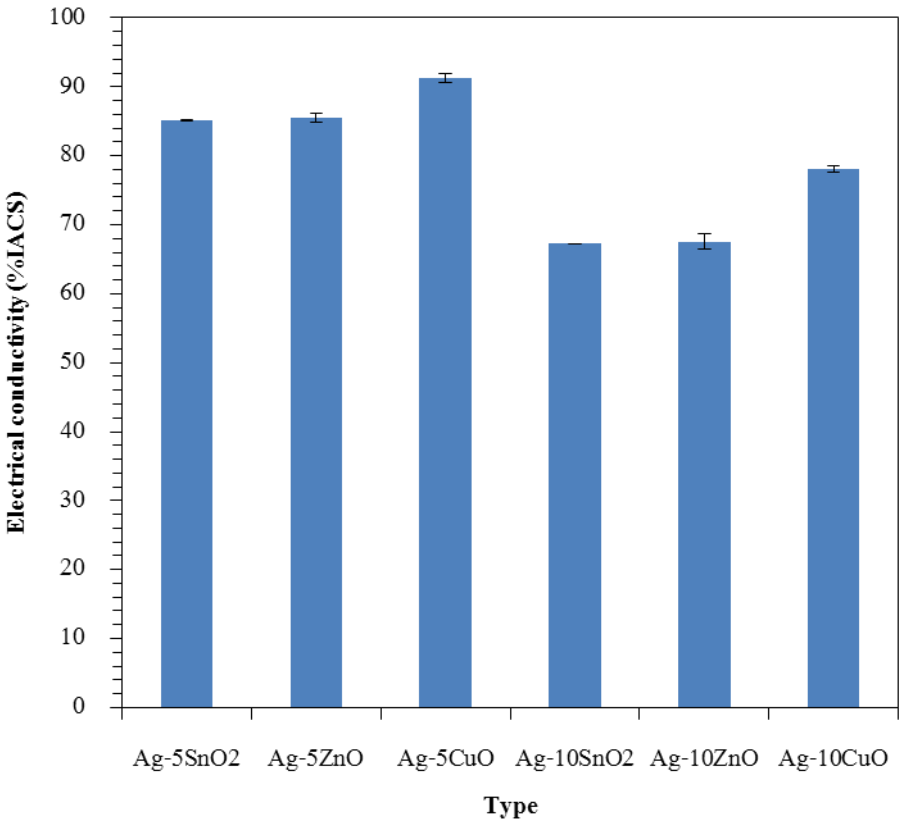
Type	Sintering hardness (HV)	Re-pressing hardness (HV)
Ag-5SnO_2	36.7	100.3
Ag-5ZnO	43.8	100.1
Ag-5CuO	15.9	89.7
Ag-10SnO_2	29.7	99.0
Ag-10ZnO	37.7	100.6
Ag-10CuO	16.2	87.2

4.4 การตรวจสอบค่าการนำไฟฟ้า

การตรวจสอบค่าการนำไฟฟ้าของชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ ทำได้โดยใช้เครื่องวัดการนำไฟฟ้า Foerster Sigmatest 2.069 ช่วงความถี่ 240 กิโลเฮิรตซ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวโพรบ 14 มิลลิเมตร สุ่มวัด 3 จุด ที่อุณหภูมิการวัดประมาณ 26.5 องศาเซลเซียส ผลการตรวจสอบแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า ชิ้นงานหลังทำการอัดขึ้นรูปซ้ำมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานหลังทำกระบวนการซินเทอร์ริ่ง เนื่องจากชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4.1 ส่วนค่าการนำไฟฟ้าของโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์หลังผ่านการอัดขึ้นรูปซ้ำ Ag-5CuO มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 91 %IACS ส่วน Ag-5SnO_2 และ Ag-5ZnO มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า โดยโลหะทั้งสองชนิดมีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกันประมาณ 85 %IACS ส่วนโลหะที่มีส่วนผสมของโลหะออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าน้อยกว่าโลหะที่มีส่วนผสมของโลหะออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยหนัก โดยโลหะ Ag-10CuO มีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 78%IACS ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าการนำไฟฟ้าของ Ag-10SnO_2 และ Ag-10ZnO ที่มีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกันประมาณ 67%IACS นอกจากนั้น ชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์เมื่อปริมาณโลหะออกไซด์มากขึ้นค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณโลหะเงินมีปริมาณน้อยลงดังแสดงในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.4 ค่าการนำไฟฟ้าชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์หลังผ่านการซินเทอร์ริ่งและอัดขึ้นรูปซ้ำ

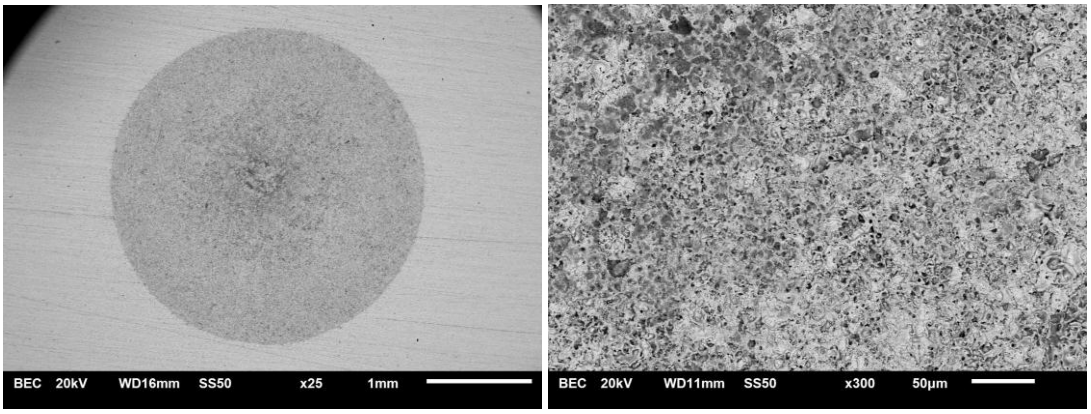
Type	Sintering electrical conductivity (%IACS)	Re-press electrical conductivity (%IACS)
Ag-5SnO2	64.28	85.22
Ag-5ZnO	71.37	85.50
Ag-5CuO	53.89	91.27
Ag-10SnO2	46.36	67.24
Ag-10ZnO	51.66	67.58
Ag-10CuO	48.26	78.08



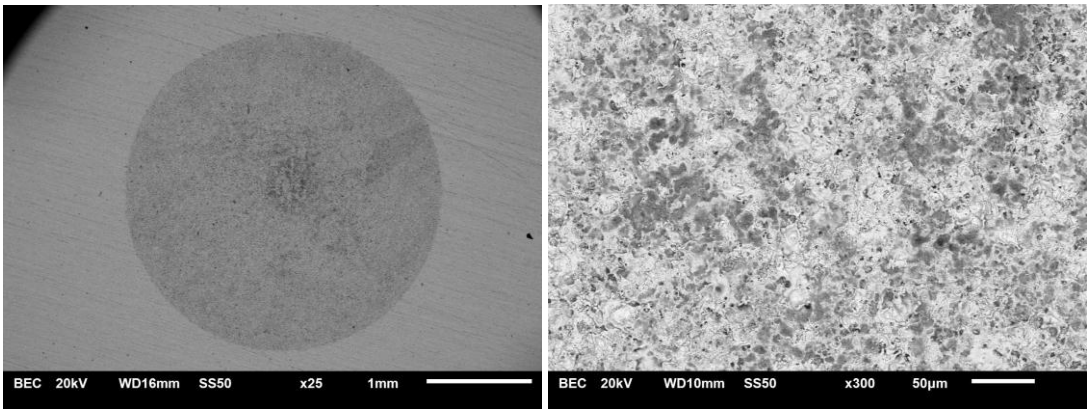
รูปที่ 4.2 ค่าการนำไฟฟ้าของโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์หลังผ่าการอัดขึ้นรูปซ้ำ

4.5 การทดสอบการอาร์ค

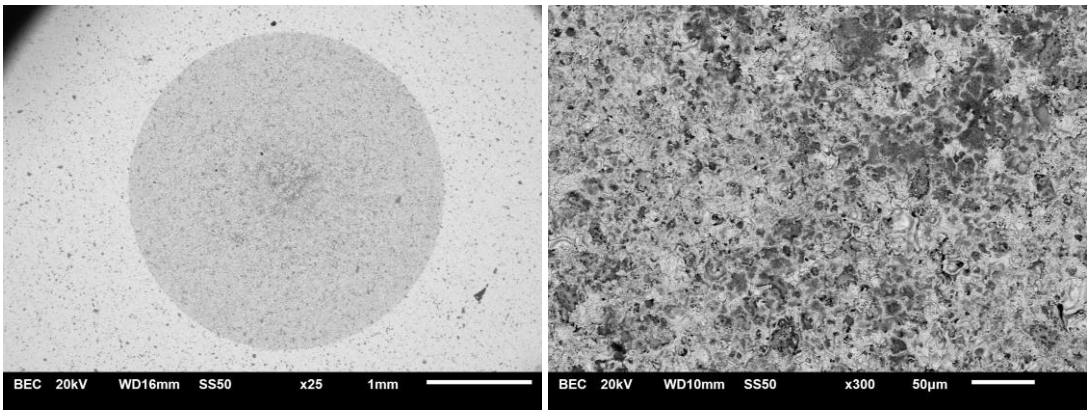
การตรวจสอบลักษณะผิวการอาร์คของชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก)-(ฉ) พบว่ารอยอาร์คของชิ้นงานแต่ละส่วนผสมมีลักษณะคล้ายกัน โดยลักษณะรอยขรุขระของรอยอาร์คชิ้นงาน Ag-5SnO_2 และ Ag-5ZnO มีลักษณะหยาบเนื่องจากหลุมของรอยอาร์คมีลักษณะใหญ่ ต่างจากลักษณะขรุขระของรอยอาร์คชิ้นงาน Ag-10SnO_2 และ Ag-10ZnO ซึ่งมีลักษณะละเอียด ส่วนชิ้นงาน Ag-5CuO มีลักษณะรอยขรุขระของรอยอาร์คเล็กกว่าชิ้นงาน Ag-10CuO บริเวณตรวจกลางของรอยอาร์คของทุกส่วนผสมพบคราบสีดำคาดว่าเป็นคราบเขม่าจากการอาร์ค



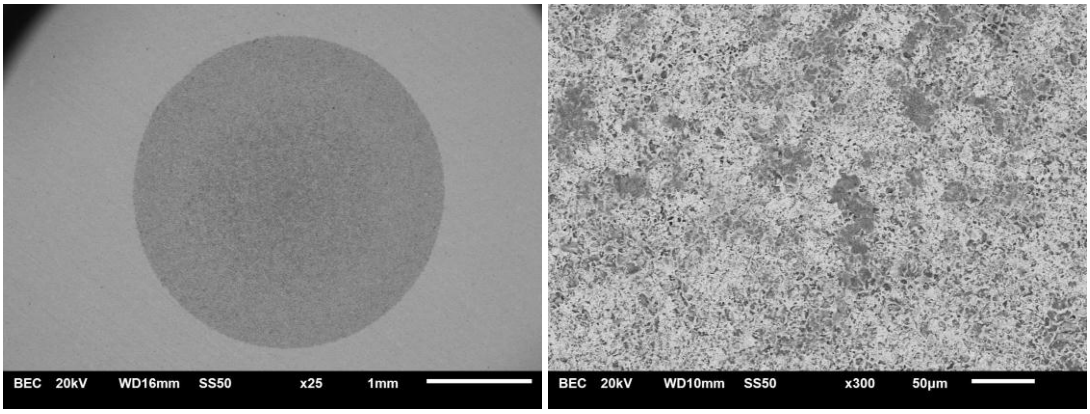
(ก)



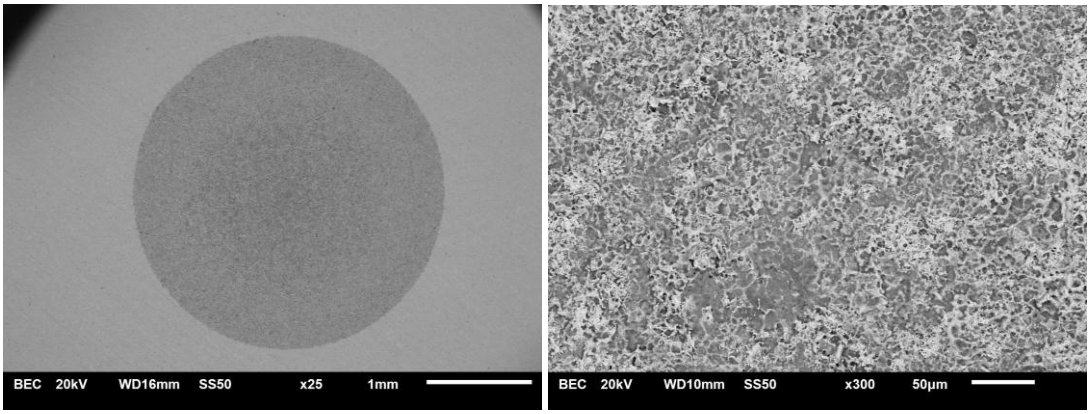
(ข)



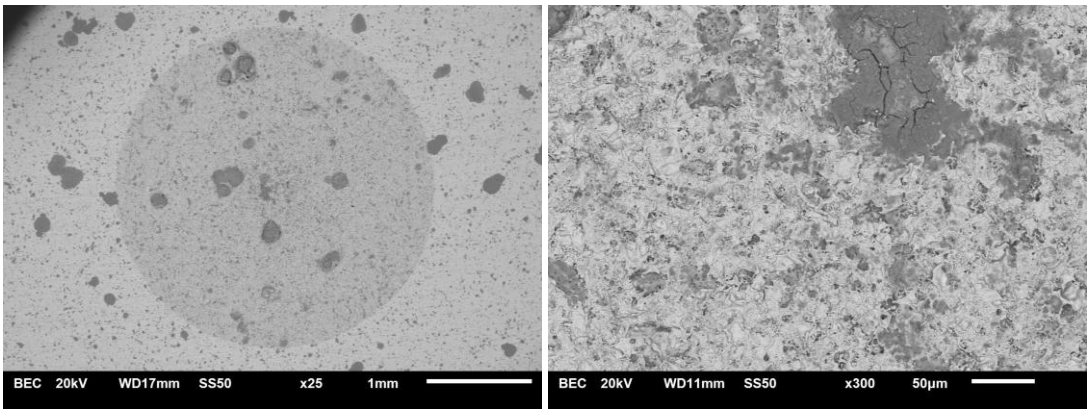
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.3 รอยอารค์ของโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ (ก) Ag-5SnO_2 , (ข) Ag-5ZnO, (ค) Ag-5CuO, (ง) Ag-10SnO_2 , (จ)Ag-10ZnO และ (ฉ) Ag-10CuO

ผลการตรวจสอบน้ำหนักชิ้นงานหลังผ่านการอาร์คแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ผลต่างของน้ำหนักชิ้นงาน Ag-5SnO_2, Ag-5ZnO, Ag-5CuO และ Ag-10CuO มีความแตกต่างเล็กน้อย โดยมีค่าความแตกต่างเฉลี่ย 0.0001, 0.0003, 0.0004 และ 0.0004 กรัมตามลำดับ โดยชิ้นงาน Ag-5SnO_2 มีความแตกต่างของน้ำหนักน้อยที่สุด ส่วนชิ้นงาน Ag-10SnO_2, Ag-10ZnO มีความแตกต่างของน้ำหนักมากโดยมีค่าเฉลี่ย 0.0025 และ 0.0049 กรัม ตามลำดับ โดยความแตกต่างของน้ำหนักมี 2

กรณี คือ กรณีน้ำหนักลดลงเนื่องจากสูญเสียน้ำหนักจากการอาร์คทางไฟฟ้า และกรณีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเนื่องจากการพอกติดของแท่งอิเล็กโตรดทองแดง คราบคาร์บอน และการเกิดออกไซด์ต่างๆ ดังผลการตรวจสอบส่วนผสมบริเวณรอยอาร์คดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบธาตุทองแดง คาร์บอน และออกซิเจน โดยตำแหน่งการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 4.4 (ก)-(ฉ)

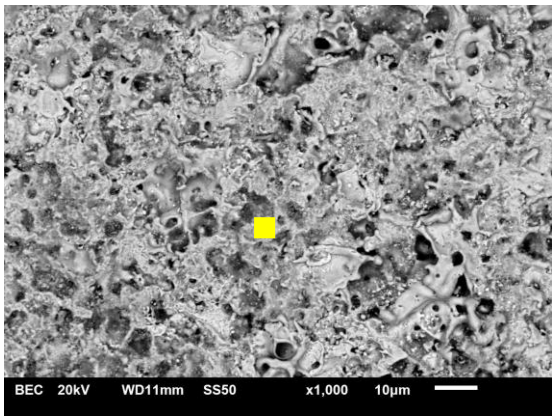
ตารางที่ 4.5 ผลต่างของน้ำหนักโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์หลังผ่านการทดสอบการอาร์ค

Type	Difference of weight (g)			
	1	2	3	Average *
Ag_5SnO2	+0.0001	+0.0001	-0.0001	0.0001
Ag_5ZnO	0.0000	-0.0005	-0.0003	0.0003
Ag_5CuO	-0.0003	-0.0004	-0.0006	0.0004
Ag_10SnO2	+0.0059	+0.0014	+0.0001	0.0025
Ag_10ZnO	+0.0063	+0.0049	+0.0034	0.0049
Ag_10CuO	-0.0002	+0.0006	-0.0003	0.0004

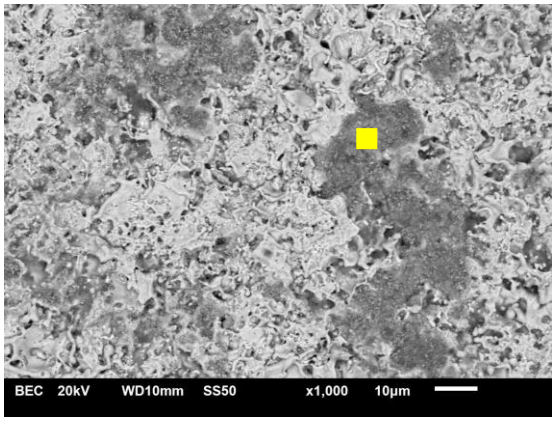
หมายเหตุ + น้ำหนักเพิ่มขึ้น, - น้ำหนักลดลง , * เชิงปริมาณ

ตารางที่ 4.6 ส่วนผสมทางเคมีบริเวณรอยอาร์คของโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์

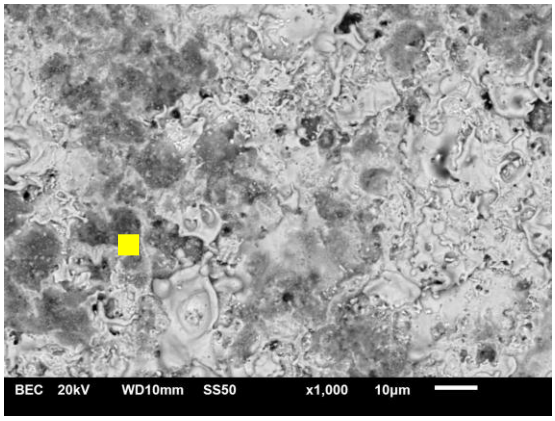
Type	Chemical composition(%wt)					
	Ag	O	C	Cu	Sn	Zn
Ag-5SnO_2	58.6	1.3	26.8	12.4	0.9	-
Ag-5ZnO	10.9	1.8	65.6	21.4	-	0.3
Ag-5CuO	23.9	2.7	39.2	34.2	-	-
Ag-10SnO_2	22.6	0.8	49.8	24.7	2.1	-
Ag-10ZnO	28.9	2.1	42.1	23.7	-	3.2
Ag-10CuO	30.8	1.4	43.6	24.2	-	-



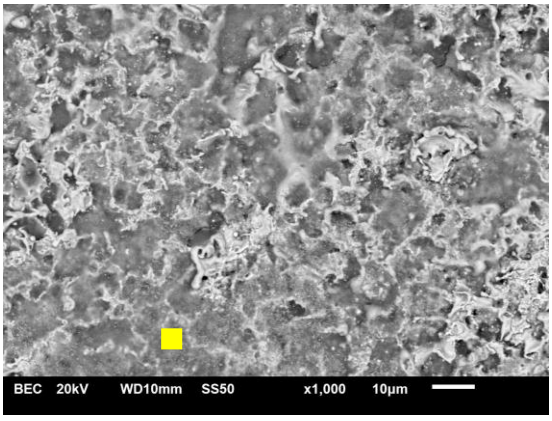
(ก)



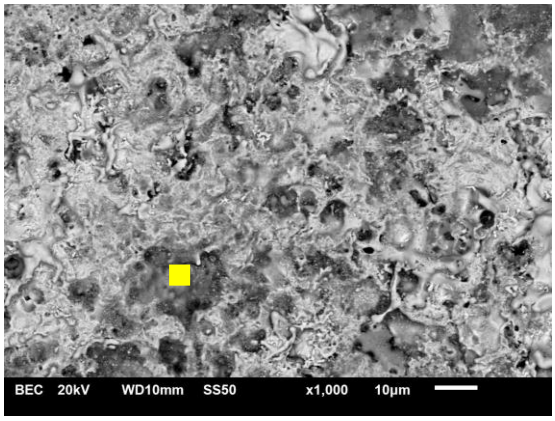
(ง)



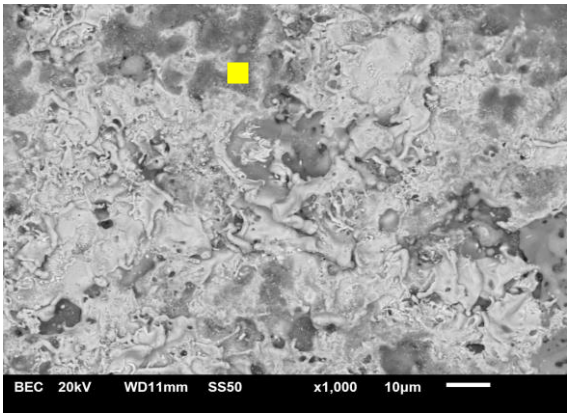
(ข)



(จ)



(ค)



(ฉ)

รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีรอยอาร์ค (ก) Ag-5SnO_2 , (ข) Ag-5ZnO, (ค) Ag-5CuO, (ง) Ag-10SnO_2 , (จ)Ag-10ZnO และ (ฉ) Ag-10CuO