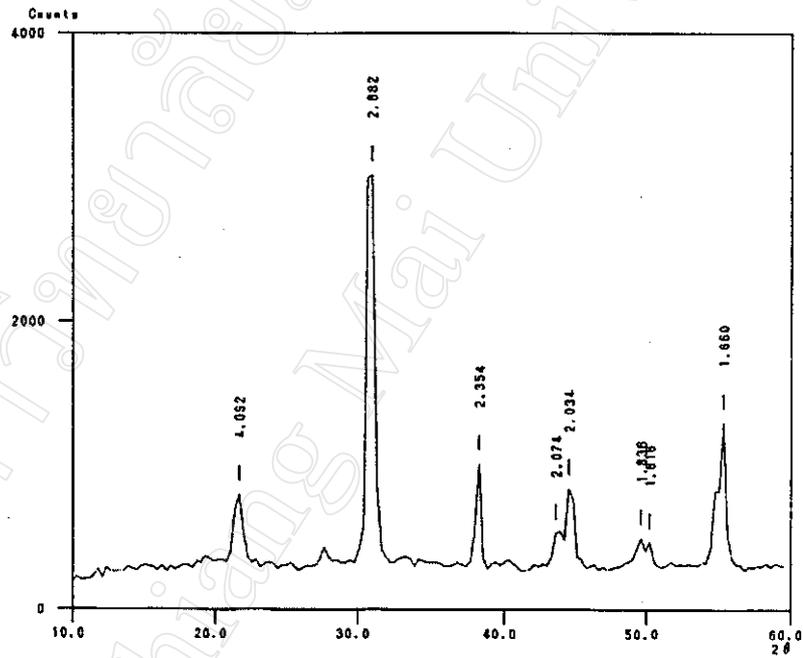


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาสมบัติต่างๆ ของสารตัวอย่างของ ACL 4030 และ ACL 4040
ได้ผลการทดลองดังนี้

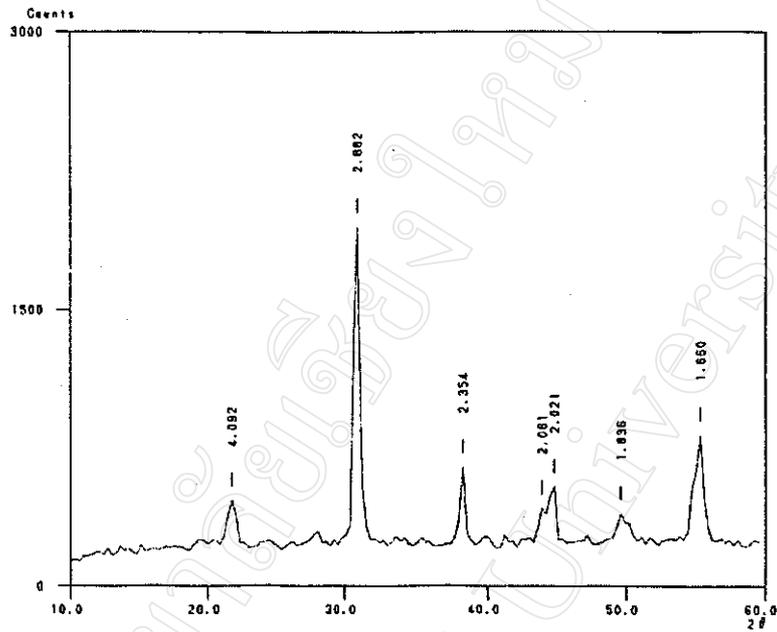
4.1.1. ผลจากการวิเคราะห์สารตัวอย่างโดย X-ray Diffraction ได้กราฟของ ACL 4030
และ ACL 4040 ดังนี้



$2\theta (^{\circ})$	$d (\text{Å})$	I (COUNT)	I/I
21.700	4.092	801	27
31.000	2.882	3020	100
38.200	2.354	1013	34
43.600	2.074	531	18
44.500	2.034	846	28
49.600	1.836	499	17
50.200	1.816	472	16
55.300	1.660	1302	43

SAMPLE	40/30
TARGET NAME	CU
STEP ANGLE	.300°
M. TIME	1.0 sec
VOLTAGE	30.0 kV
CURRENT	20.0 mA
MEMO	

รูปที่ 4.1 ข้อมูล X rays diffraction pattern ของสารผงสำเร็จ ACL 4030



2θ (°)	d (Å)	I (COUNT)	I/I
21.700	4.092	463	24
31.000	2.682	1946	100
38.200	2.354	647	33
43.900	2.081	422	22
44.800	2.021	538	28
49.600	1.836	392	20
55.300	1.660	824	42

SAMPLE 40/40
 TARGET NAME CU
 STEP ANGLE .300°
 M. TIME 1.0 sec
 VOLTAGE 30.0 kV
 CURRENT 20.0 mA
 MEMO

รูปที่ 4.2 แสดงข้อมูล X rays diffraction pattern ของสารผงตำแร่ ACL 4040

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า d-spacing ของผง ACL4030 เปรียบเทียบกับข้อมูลจากตาราง JCPDS

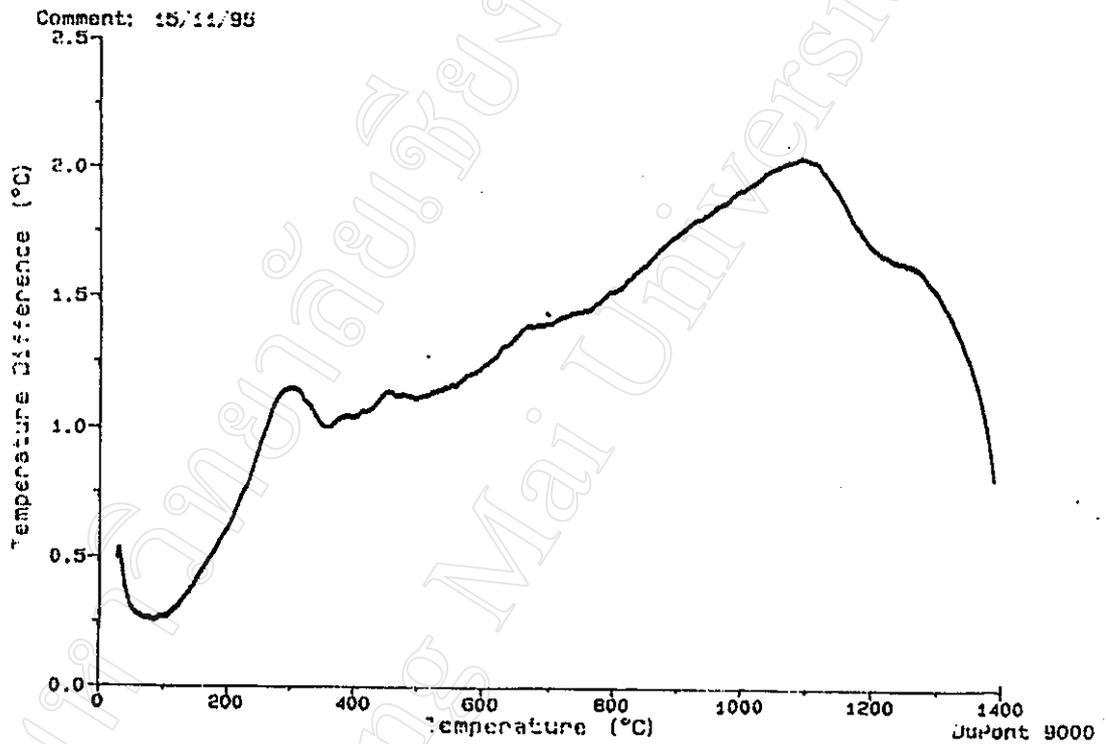
ค่า d - spacing ของผง 4030				ข้อมูลจากตาราง J.C.P.D.S.		
2θ	d (Å)	I/I ₁	hkl	d (Å)	I/I ₁	hkl
21.700	4.092	27	100	4.040	12	100
31.000	2.882	100	101	2.890	100	101
				2.850	100	110
38.200	2.354	34	111	2.351	15	111
43.600	2.074	18	002	2.073	9	002
44.500	2.034	28	200	2.018	16	200
49.600	1.836	17	102	1.844	5	102
50.200	1.816	16	201, 210	1.810	6	201, 210
				1.677	12	112
55.300	1.660	43	211	1.655	25	211
				1.446	9	022
				1.427	5	220
				1.328	2	003
				1.361	6	201
				1.35	6	221, 330
				1.308	6	103
				1.28	9	301, 310
				1.244	2	113
				1.220	2	311
				1.176	5	222
				1.14	4	203
				1.13	4	302
				1.12	4	320
				1.10	15	123
				1.09	15	312

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า d – spacing ของผง 4040 เปรียบเทียบกับข้อมูลจากตาราง JCPDS

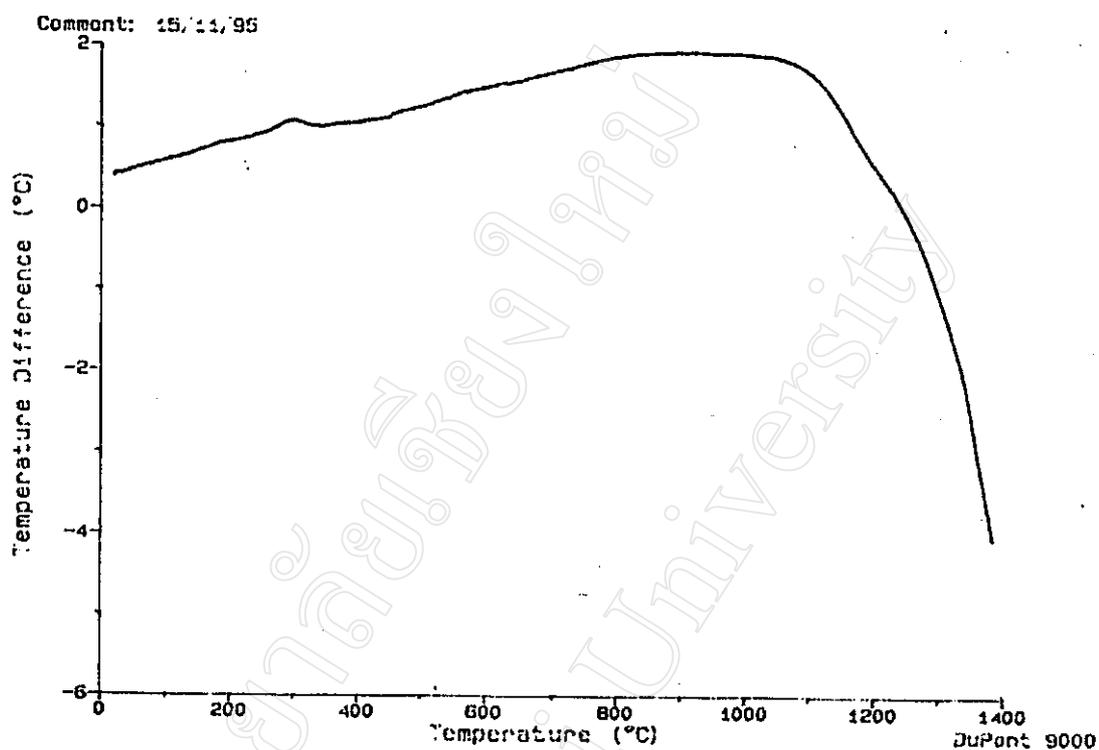
ค่า d – spacing ของผง 4040				ข้อมูลจากตาราง J.C.P.D.S.		
2θ	d (Å)	I/I ₁	hkl	d (Å)	I/I ₁	hkl
21.700	4.092	24	000	4.040	12	100
				2.890	100	101
31.000	2.882	100	110	2.850	100	110
38.200	2.354	33	111	2.351	15	111
43.900	2.061	22	002	2.073	9	002
44.800	2.021	28	200	2.018	16	200
49.600	1.836	20	102	1.844	5	102
				1.810	6	201, 210
55.300	1.660	42	211	1.677	12	112
				1.655	25	211
				1.446	9	022
				1.427	5	220
				1.328	2	003
				1.361	6	201
				1.35	6	221, 330
				1.308	6	103
				1.28	9	301, 310
				1.244	2	113
				1.220	2	311
				1.176	5	222
1.14	4	203				
1.13	4	302				
1.12	4	320				
1.10	15	123				
1.09	15	312				

จาก Diffraction Pattern ที่ได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ JCPDS files พบว่าผงสารตัวอย่าง เป็นสารในตระกูลของ PZT ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่แสดงสมบัติทาง Piezoelectric ได้

4.1.2 ผลการทดลองเพื่อหาช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงของ ACL 4030 และ ACL 4040 โดยใช้เครื่อง DTA ดังนี้



รูปที่ 4.3 กราฟ DTA ของสารตัวอย่าง ACL 4030

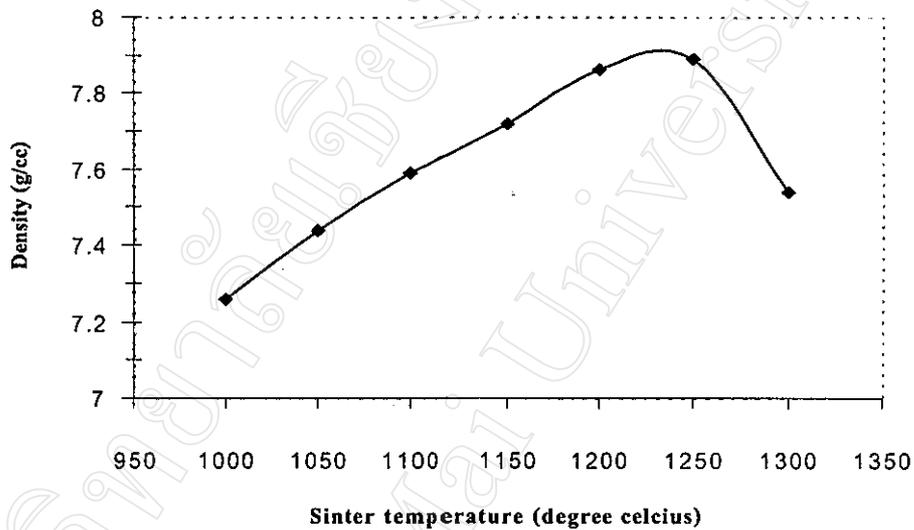


รูปที่ 4.4 กราฟ DTA ของสารตัวอย่าง ACL 4040

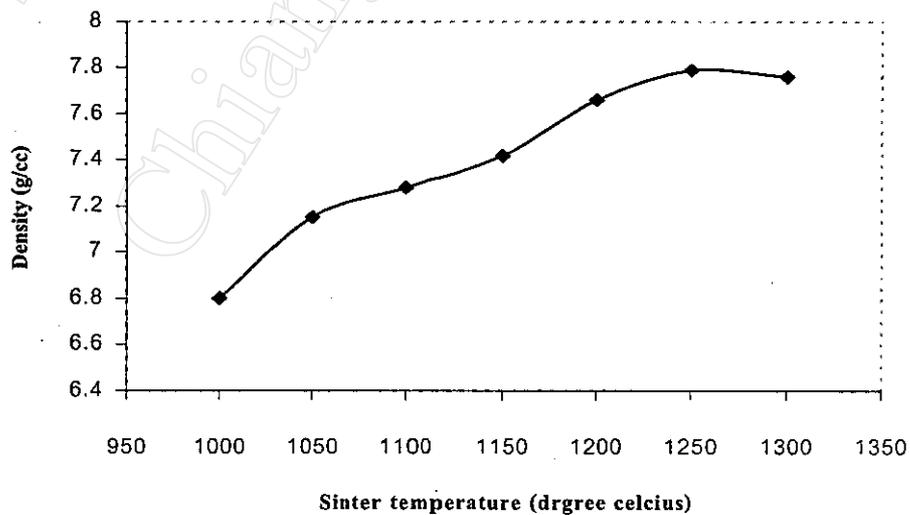
- จากกราฟที่ได้ พบว่าสาร ACL 4030 และ ACL 4040 มีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 1150 °C - 1250 °C

4.1.3 ผลการทดลองหาค่าอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมในการเผาซินเตอร์

เมื่อนำสารผงของสาร ACL 4030 และ ACL 4040 มาอัดเม็ดแล้วเผาซินเตอร์เพื่อหาค่าอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมในการเผาซินเตอร์ โดยอาศัยกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิซินเตอร์ (t) และค่าความหนาแน่น (ρ) ได้ผลตามกราฟ



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิซินเตอร์ (t) และค่าความหนาแน่น (ρ) ของสาร ACL 4030

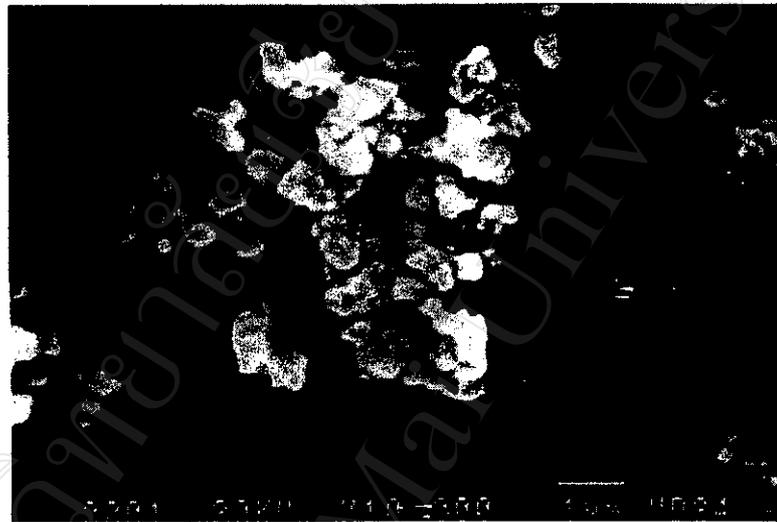


รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิซินเตอร์ (t) และค่าความหนาแน่น (ρ) ของสาร ACL 4040

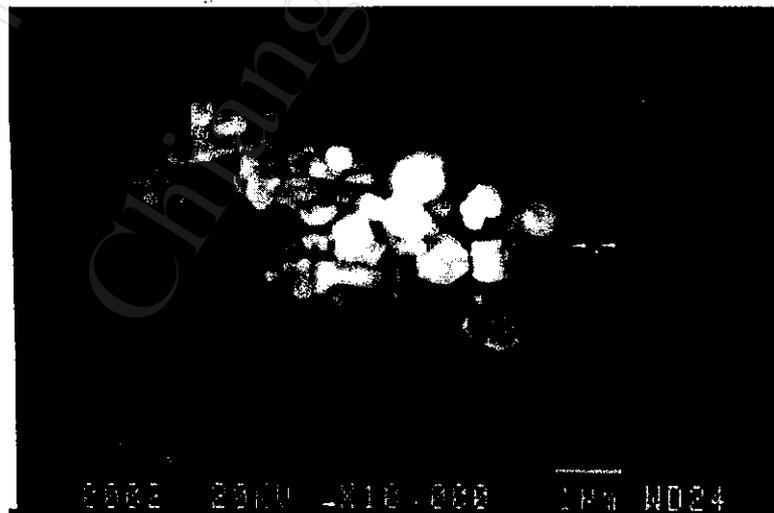
จากผลที่ได้พบว่าสาร ACL 4030 และ ACL 4040 มีอุณหภูมิซินเตอร์ที่เหมาะสม คือ สาร ACL 4030 ควรใช้อุณหภูมิซินเตอร์ที่ 1200 °C และ ACL 4040 อุณหภูมิซินเตอร์ที่เหมาะสมคือ 1250 °C

4.1.4 ผลที่ได้จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของสารผงสำเร็จ

ภาพถ่าย SEM ของสารผงสำเร็จ ACL 4030 และ ACL 4040 ปรากฏดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่าย SEM ของสาร ACL 4030

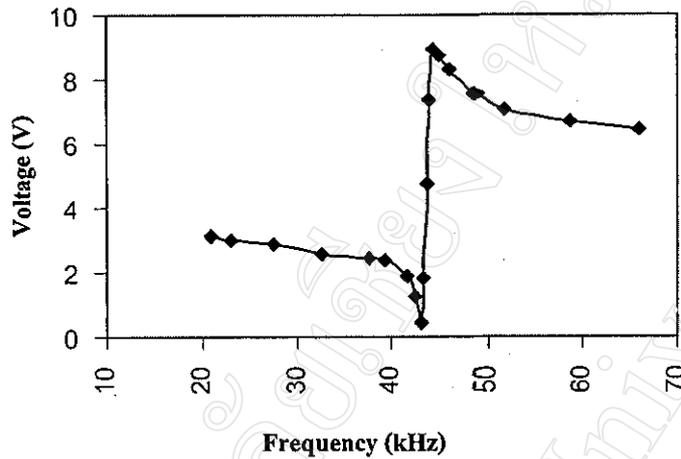


รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่าย SEM ของสาร ACL 4040

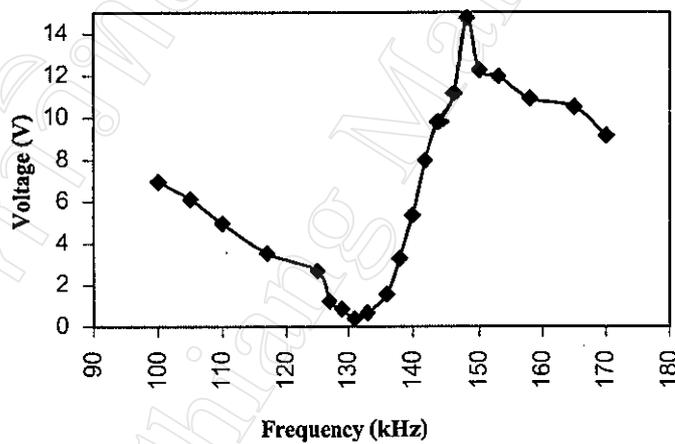
จากภาพที่ได้พบว่าขนาดของสารผง ACL 4030 และ ACL 4040 มีขนาดเล็กกว่า 1 μm

4.1.5 ผลการหาค่า f_r และ f_u ของสารตัวอย่าง

แสดงผลได้ดังกราฟ



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่า f_r และ f_u ของสารตัวอย่าง ACL 4030



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่า f_r และ f_u ของสารตัวอย่าง ACL 4040

จากกราฟที่ได้พบว่า ค่า f_r และ f_u ของสารตัวอย่างเป็นดังนี้

สารตัวอย่าง ACL 4030 มีค่า $f_r = 43.25$ kHz และ $f_u = 44.57$ kHz

สารตัวอย่าง ACL 4040 มีค่า $f_r = 131$ kHz และ $f_u = 148$ kHz

จากค่า f_r และ f_u ที่ได้ ทำให้สามารถคำนวณค่า k_p ได้ดังนี้

สารตัวอย่าง ACL 4030 มีค่า $k_p = 0.4392$

สารตัวอย่าง ACL 4040 มีค่า $k_p = 0.5728$

4.1.6 ผลการวัดค่าสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางไฟฟ้าของสารเซรามิกส์

จากการวัดและคำนวณหาค่าสมบัติต่างๆ พบว่าผลการทดลองที่ได้เมื่อหาค่าเฉลี่ยเชิงสถิติ (โดยคิดจากข้อมูลที่ได้ทั้งหมดดังแสดงในภาคผนวก) มีดังต่อไปนี้

ค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่ได้จากการวัดโดยวิธีแทนที่น้ำสามารถที่จะคำนวณหา ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของสาร ดังนี้คือ

ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของสาร ACL 4030 มีค่า 7.76 g/cm^3

ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของสาร ACL 4040 มีค่า 7.85 g/cm^3

ค่าความหดตัว หลังจากที่ได้จากเม็ดสารหลังจากที่ผ่านกระบวนการเผาซินเตอร์แล้วพบว่า มีค่า

ค่าความหดตัวเฉลี่ยของสาร ACL 4030 มีค่า 19.37%

ค่าความหดตัวเฉลี่ยของสาร ACL 4040 มีค่า 20.46%

ค่าความพรุนของเม็ดสารตัวอย่างที่เป็นเซรามิกส์ พบว่าค่าความพรุนเฉลี่ยที่ได้ คือ

ค่าความหดตัวเฉลี่ยของสาร ACL 4030 มีค่า 0.92%

ค่าความหดตัวเฉลี่ยของสาร ACL 4040 มีค่า 0.87%

ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (relative permittivity, ϵ_r) และค่า $\tan \delta$ ที่วัดได้จากเม็ดสารตัวอย่าง ที่ความถี่ 1 kHz ณ อุณหภูมิห้อง (ประมาณ $30 \text{ }^\circ\text{C}$) มีค่าดังต่อไปนี้

ค่า ϵ_r ของสาร ACL 4030 มีค่า 60387 และ $\tan \delta$ มีค่าเท่ากับ 0.0092

ค่า ϵ_r ของสาร ACL 4040 มีค่า 8247 และ $\tan \delta$ มีค่าเท่ากับ 0.0065

ค่า dielectric strength ที่วัดได้จากการทดลอง มีค่าดังนี้

ค่า dielectric strength ของสาร ACL 4030 มีค่า 1.6 kV/mm

ค่า dielectric strength ของสาร ACL 4040 มีค่า 1.8 kV/mm

4.2 ผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบเพียโซอิเล็กทริกทรานสฟอร์มเมอร์

4.2.1 ผลจากการเตรียมโดยวิธี Tape Casting

ได้รูปแบบเม็ดสารที่ผ่านกระบวนการ sinter แล้วได้เม็ดสารตามภาพ



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะเม็ดสารที่ผ่านกระบวนการเผาซินเตอร์ เตรียมโดยวิธี Tape casting

จากภาพแสดงให้เห็นถึงสารตัวอย่างที่ถูกเปลี่ยนโดยวิธี Tape Casting พบว่ามีความผิดรูปจากเดิมค่อนข้างสูง สารมีการบิดตัว มีรูพรุนมาก และมีสิ่งปนเปื้อนที่เกิดจากกระบวนการที่เตรียมมาก ถึงแม้ว่าจะพยายามเก็บสารไว้ในลักษณะที่ไม่ให้ฝุ่นละอองตกลงบนสารแล้วก็ตาม สารตัวอย่างก้อนใหญ่ที่เตรียมโดยวิธีนี้มักจะแตกในขบวนการเผา Sinter จากปัญหาหลายอย่างที่พบ จึงได้ยุติงานวิจัยในส่วนของการเตรียมสารโดยวิธี Tape Casting ไว้ที่จุดของการเผาสารที่ Sinter ได้

4.2.2 ผลจากการเตรียมโดยวิธี Disc ชนิด A

เมื่อเผา Sinter ครึ่งสุดท้ายแล้วปรากฏผลตามภาพ

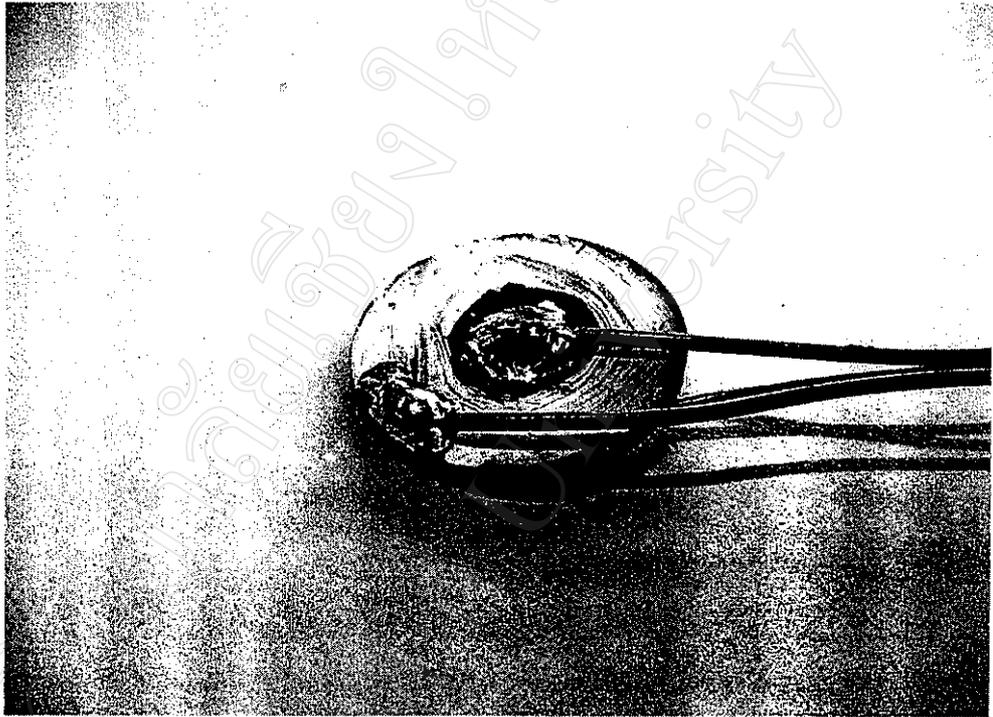


รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะเม็ดสารที่ได้จากการเผาซินเตอร์โดยวิธีการเตรียมชนิด A

จากภาพได้แสดงให้เห็นถึง การไม่ประสานตัวเป็นเนื้อเดียวของ ACL 4030 และ ACL 4040 ที่บริเวณ Boundary โดยพบว่าสารตัวอย่างทุกเม็ดมีปรากฏการณ์เหมือนกันคือ ถ้ามองโดยตาเปล่าจะเห็นว่า สารตัวอย่างทั้งสองชนิดอยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อสังเกตจาก Optical Microscope จะพบรอยแตกที่แยกเป็นสารทั้งสองชนิดอย่างชัดเจน และเมื่อพิจารณาถึงเหตุผลในการส่งผ่านพลังงานในตัวเนื้อสารและการที่เนื้อสารมีความไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากรอยแตกบริเวณขอบของเนื้อสารแล้วการส่งผ่านพลังงานควรจะไม่ต่อเนื่องด้วย ดังนั้นจึงยุติการวิจัยในด้านการเตรียมสาร โดยวิธี Disc ชนิด A ไว้ในขั้นตอนสิ้นสุดขบวนการ Sinter

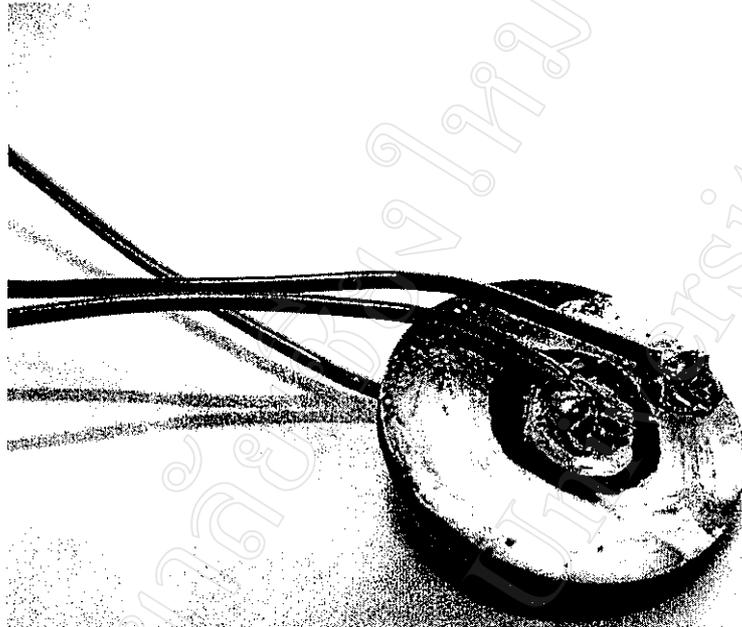
4.2.3 ผลจากการเตรียมสารโดยวิธี Disc ชนิด B

เมื่อเตรียมสารตัวอย่างแล้ว ได้สารตัวอย่างของ ACL 4030 ที่มีลักษณะดังภาพ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงสารตัวอย่างชนิด ACL 4030 ที่เตรียมได้โดยวิธีชนิด B

เมื่อเตรียมสารตัวอย่างแล้ว ได้สารตัวอย่างของ ACL 4040 ที่มีลักษณะดังภาพ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงสารตัวอย่างชนิด ACL 4040 ที่เตรียมได้โดยวิธีชนิด B

และเมื่อได้ทดสอบวัดค่า V_{out}/V_{in} ได้ผลคือ

สารชนิด ACL 4030 ได้ค่า $\frac{V_o}{V_i} = \frac{11.5}{1.05} = 10.95$ ที่ $f = 132 \text{ kHz}$

สารชนิด ACL 4040 ได้ค่า $\frac{V_o}{V_i} = \frac{32.17}{1.07} = 30.06$ ที่ $f = 138 \text{ kHz}$