สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
	3. ขอบเขตโครงการวิจัย	2
	4. นิยามศัพท์	3
	5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2	**ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	**5**
	1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโครงสร้างและสมบัติทางไดอิเล็กตริกของ CCTO	5
	2. สมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุ CCTO	9
	3. การประยุกต์ใช้งานวัสดุอิเล็กตริกเซรามิกส์	39
บทที่ 3	**วิธีการดำเนินการวิจัย**	44
	1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	44
	2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	45
	3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิจัย	49
บทที่ 4	**ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล**	66
	1. การศึกษาสัณฐานวิทยาและโครงสร้างผงวัสดุ $CCT_{0.35}O$, $CPrCT_{0.35}O$, $CSrCT_{0.35}O$ และ $CCT_{0.35}SnO$	66
	2. การศึกษาสัณฐานวิทยาและโครงสร้างวัสดุเซรามิก $CCT_{0.35}O$,	79

สารบัญ (ต่อ) **หน้า**

$CPrCT_{0.35}O$, $CSrCT_{0.35}O$ และ $CCT_{0.35}SnO$

3. การศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริก 100

4. การศึกษาสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้น (Non linear properties) 110

บทที่ 5 **สรุป ผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ** 123

1. สรุปผลการวิจัย 123

2. ข้อเสนอแนะ 124

บรรณานุกรม 125

ประวัติผู้วิจัย 127

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงผลการศึกษาโครงสร้างของวัสดุ CCTO โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนนิวตรอนที่อุณหภูมิ -173.15 และ -198.15 องศาเซลเซียส	9
2-2	สรุปรายงานการวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเจืออิออนโลหะต่างๆ ในวัสดุ CCTO	35
2-3	ประสิทธิภาพต่อหน่วยปริมาตร (volumetric efficiency) และพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยปริมาตรของตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ	40
2-4	รหัสของตัวเก็บประจุกลุ่มที่ 2 และ 3 สำหรับการเลือกใช้งานในช่วงอุณหภูมิต่างๆ	41
3-1	สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมผง $CCT_{0.35}O$, $CPrCT_{0.35}O$, $CSrCT_{0.35}O$ และ $CCT_{0.35}SnO$	44
3-2	เงื่อนไขการเตรียมวัสดุผง $CCT_{0.35}O$, $CPrCT_{0.35}O$, $CSrCT_{0.35}O$ และ $CCT_{0.35}SnO$	48
3-3	เงื่อนไขการเตรียมวัสดุเซรามิก CCT0.35O และวัสดุที่เจือด้วย Sr, Pr และ Sn	48
3-4	แสดงความเร็วในการหมุนมอเตอร์ในเครื่องทดสอบกระแสและความต่างศักย์	63
4-1	แสดงขนาดผลึกเฉลี่ย (D) ของวัสดุผง $CCT_{0.35}O$, $CPrCT_{0.35}O$-03, $CSrCT_{0.35}O$-03, $CCT_{0.35}SnO$-03, $CCT_{0.35}O$, $CPrCT_{0.35}O$-06, $CSrCT_{0.35}O$-06 และ $CCT_{0.35}SnO$-06 เตรียมโดยวิธีสารละลายโพลิเมอร์ไพโรไรซีส	69
4-2	แสดงขนาดของเกรนเฉลี่ย ขนาดใหญ่ (Large grain) และเกรนเล็ก (Small grain) ในวัสดุเซรามิกตัวอย่าง ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีสารละลายโพลิเมอร์ไพโรไรซีส	96
4-3	แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε') และ (ข) tanδ ที่ความถี่ 1 kHz และอุณหภูมิห้อง สำหรับวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 $^{\circ}C$ ด้วยเวลา 6 และ 10 ชั่วโมง	108
4-4	แสดง ค่าสัมประสิทธิ์ของความไม่เป็นเชิงเส้น (α) และค่า E_b ในช่วง 1-10 mA/cm^2	120

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	แสดงโครงสร้างแบบลูกบาศก์ของ $BaTiO_3$	6
2-2	การเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิของค่าไดอิเล็กตริก สำหรับวัสดุ $BaTiO_3$	6
2-3	แสดงโครงสร้างของ $CaTiO_3$ ซึ่งประกอบด้วยรูปทรงแปดหน้าของ TiO_6 เชื่อมต่อกันด้วย ระนาบของ CuO_4	7
2-4	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในวัสดุเซรามิก CCTO (ภาพแทรกแสดงภาพถ่ายพื้นผิววัสดุ CCTO ด้วยเทคนิค SEM)	8
2-5	แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแทนเจนต์ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) ของวัสดุ CCTO ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 450 ^{o}C ที่ความถี่ 1 MHz	10
2-6	แสดงการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของ (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และ (ข) ค่าแทนเจนต์ ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ที่ความถี่ 1 kHz ในวัสดุเซรามิก CCTO	11
2-7	แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ก) ค่า แทนเจนต์ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก (ข) และ ความถี่ ω_o (ค) ณ ตำแหน่งยอดกราฟของค่าแทนเจนต์ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ของวัสดุเซรามิก CCTO ในช่วงความถี่ 100 Hz ถึง 1 MHz	13
2-8	แสดงการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ก) และ ค่าแทนเจนต์ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก (ข) ของผลึกเดี่ยว CCTO ในช่วงความถี่ 20 Hz ถึง 1 MHz	16
2-9	(ก) แสดงการเปรียบเทียบค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจากผลการทดลอง (จุด) กับแบบจำลองของเดบาย (เส้นทึบ) ที่อุณหภูมิและความถี่ต่างๆ และ (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log_{10}(\tau)$ กับ $100/T$	17
2-10	แผนภาพแสดงวงจรไฟฟ้าที่ใช้แทนสมบัติทางไฟฟ้าของเกรน (R_g, C_g) และขอบเกรน (R_{gb}, C_{gb}) ในวัสดุ CCTO	19
2-11	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(\sigma(S.cm^{-1}))$ กับ $1000/T\ (K^{-1})$	20

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-12	แสดงโครงสร้างผลึกเดี่ยวของ CCTO ที่ประกอบไปด้วยชั้นของขอบเขตคู่ภายในผลึกเดี่ยว	21
2-13	การเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของ CCTO ที่อุณหภูมิห้อง โดยอิเล็กโทรด ทำจากโลหะ และวิธีการเตรียมที่ต่างกัน (ก) อิเล็กโทรดทำจากกาวเงิน (silver paint) (ข) วัสดุเซรามิก CCTO ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 750 $^{\circ}$C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ N_2 และอิเล็กโทรดทำจากกาวเงิน (ค) วัสดุเซรามิก CCTO ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 750 $^{\circ}$C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ N_2 และอิเล็กโทรดทำจากโลหะแพททินัม (ง) วัสดุเซรามิก CCTO ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 750 $^{\circ}$C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ภายใต้ บรรยากาศ O_2 และอิเล็กโทรดทำจากโลหะแพททินัม	23
2-14	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเทียบกับความถี่ที่ความหนาแตกต่างกันของวัสดุเซรามิก CCTO	23
2-15	แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก CCTO ที่มีขนาดเกรนแตกต่างกัน (ก) ขนาดเกรน1.3 ± 0.4μm (ข) ขนาดเกรน 1.2 ± 0.4μm (ค) ขนาดเกรน 4.1 ± 1.8 μm	24
2-16	แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุเซรามิก CCTO ที่มีขนาดเกรน 1.2 ± 0.4 μm (ก) ขนาดเกรน 1.3 ± 0.4 μm (ข) และ ขนาดเกรน 4.1 ± 1.8 μm (ค)	25
2-17	ภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุเซรามิก CCTO ที่ผ่านการเผาผนึกที่ 1,100 $^{\circ}$C (ก) วัสดุเซรามิก MP1-3 (ภาพแทรกแสดงลักษณะของเกรนขนาดเล็ก) (ข) วัสดุเซรามิก AM1-3 (ค) วัสดุเซรามิก AM1-16 (ง) วัสดุเซรามิก AM2-3	27

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-18	การเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแทนเจนต์ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ของ CCTO ภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 $^{\circ}$C ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	28
2-19	แสดงพีคหลักของ CCTO ที่เจือด้วย Sr ที่ตำแหน่ง Ca ที่ปริมาณสารเจือที่แตกต่างกัน	29
2-20	แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ก) และค่า tanδ (ข) เทียบกับความถี่ในวัสดุ $Ca_xSr_{(1-x)}Cu_3Ti_4O_{12}$ (x=0.00, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25)	30
2-21	แสดงการเพิ่มขึ้นของค่าคงที่แลชทิช เมื่อปริมาณสารเจือ x เพิ่มขึ้น (ก) และ (ข) แสดงพีคหลักของวัสดุ $Ca_xSr_{(1-x)}Cu_3Ti_4O_{12}$ (x=0.00, 0.05, 0.10 และ 0.20) เมื่อเผาผนึกที่ 1080 $^{\circ}$C ด้วยเวลา 3 ชั่วโมงในอากาศ	31
2-22	แสดงความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (non linear properties) ในวัสดุ $Ca_xSr_{(1-x)}Cu_3Ti_4O_{12}$ (x=0.00, 0.05, 0.10 และ 0.20)	31
2-23	แสดงพีคหลักของวัสดุ $Ca_{(1-3x/2)}Pr_xCu_3Ti_4O_{12}$ (x=0.10 (ก) และ 0.20 (ข)) เมื่อเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1000 $^{\circ}$C ด้วยเวลา 5 ชั่วโมง	32
2-24	แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่า tanδ ที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของวัสดุ $Ca_{(1-3x/2)}Pr_xCu_3Ti_4O_{12}$ (x=0.10 (ก) และ 0.20 (ข)) เมื่อเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1000 $^{\circ}$C ด้วยเวลา 5 ชั่วโมง	33
2-25	แสดงพีคหลักของวัสดุ $CaCu_3(Ti_{1-x}Sn_x)_4O_{12}$ (x = 0, 0.05, 0.1, 0.2) เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1000 $^{\circ}$C ด้วยเวลา 5 ชั่วโมง	34
2-26	แสดงภาพสเปกตรัมของ XPS (X-ray photoelectron spectroscopy) ที่ตำแหน่ง (ก) Ti และ (ข) Cu วัสดุ $CaCu_3(Ti_{1-x}Sn_x)_4O_{12}$ (x = 0, 0.05, 0.1, 0.2)	34
2-27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ (I-V curve) ที่เกิดในวาริสเตอร์	37
2-28	แผนภาพการต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับวาริสเตอร์	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-29	แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุเซรามิกที่เป็นวาริสเตอร์ที่ประกอบองค์ประกอบที่เป็นเกรน และชั้นฉนวนระหว่างเกรน (IGLs) (ก) โครงสร้างจากการทดลอง และ (ข) โครงสร้างในทางอุดมคติ	38
2-30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส (I) และสนามไฟฟ้า (E) ที่แสดงสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นในวัสดุวาริสเตอร์	38
2-31	ตัวเก็บประจุแบบเซรามิกกลุ่มต่างๆ	40
2-32	สมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก $Ca2Cu_2Ti_4O_{12}$ เปรียบเทียบกับสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ใช้ ประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุในปัจจุบัน และแบ่งเป็น 3 กลุ่ม (ล้อมรอบด้วยกรอบสี่เหลี่ยม) ตามการประดิษฐ์ เป็นตัวเก็บประจุชนิดกลุ่มต่าง ๆ	42
3-1	แผนภาพการสังเคราะห์วัสดุผง $CCT_{0.35}O$, $CPrCT_{0.35}O$, $CSrCT_{0.35}O$ และ $CCT_{0.35}SnO$ โดยวิธีโพลิเมอร์ไพโรไลซีส	49
3-2	เตาเผาที่อุณหภูมิสูง 1200 องศาเซลเซียส	50
3-3	เครื่องชั่งดิจิตอลที่ให้ความละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง	50
3-4	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	50
3-5	เตาอบที่เพิ่มอุณหภูมิได้สูงสุด 200 องศาเซลเซียส	51
3-6	บิกเกอร์ที่ใช้ในการทดลอง	51
3-7	ถ้วยอลูมินา (Alumina Crucible)	51
3-8	ลักษณะการจัดวางตัวอย่าง เมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ และอุปกรณ์ตรวจวัด	52
3-9	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM)	54
3-10	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)	56
3-11	การเตรียมวัสดุตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติทางไดอิเล็กตริก (ก) ภาคตัดขวาง (ข) ผิวหน้า อิเล็กโทรดด้านบน	58
3-12	หลักการทำงานของเครื่องทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า Impedance/Gain-Phase Analyzer (HP-4194A)	59
3-13	ระบบทดสอบสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-14	หลักการวัดและการเก็บข้อมูลในการทดสอบสมบัติทางไดอิเล็กตริกในงานวิจัยนี้	60
3-15	วงจรไฟฟ้าแสดงระบบการวัดสมบัติทางไดอิเล็กตริกเมื่อพิจารณาผลของความผิดพลาดเนื่องจาก สายส่งสัญญาณและอิเล็กโทรด	61
3-16	แผนภาพแสดงการวัดและคำนวณค่า α และ E_b ในวัสดุเซรามิกด้วยเครื่อง Resistivity Adapter Keithley Model 6105	65
4-1	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงวัสดุ (ก) $CCT_{0.35}O$, $CPrCT_{0.35}O$-03, $CSrCT_{0.35}O$-03, $CCT_{0.35}SnO$-03 และ (ข) $CCT_{0.35}O$, $CPrCT_{0.35}O$-06, $CSrCT_{0.35}O$-06, $CCT_{0.35}SnO$-06 เตรียมโดยวิธีสารละลายโพลิเมอร์ไพโรไรซีสเผาแคลไซด์ที่อุณหภูมิ 850°C โดยใช้เวลา 9 ชั่วโมง โดยเทียบกับพีคมาตรฐานของ CCTO (ICSD: 95714)	68
4-2	แสดงภาพถ่ายผงวัสดุ $CCT_{0.35}O$ ด้วยเทคนิค TEM (ก) รูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน (ข) และองค์ประกอบของธาตุเมื่อศึกศึกษาด้วย EDS (ค)	71
4-3	แสดงภาพถ่ายผงวัสดุ ด้วยเทคนิค TEM (ก1, ก2) รูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน (ข1, ข2) และองค์ประกอบของธาตุเมื่อศึกศึกษาด้วย EDS (ค1, ค2) สำหรับผงวัสดุ $CSrCT_{0.35}O$-03 และ $CSrCT_{0.35}O$-06 ตามลำดับ	73
4-4	แสดงภาพถ่ายผงวัสดุด้วยเทคนิค TEM (ก1, ก2) รูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน (ข1, ข2) และองค์ประกอบของธาตุเมื่อศึกศึกษาด้วย EDS (ค1, ค2) สำหรับผงวัสดุ $CPrCT_{0.35}O$-03 และ $CPrCT_{0.35}O$-06 ตามลำดับ	74
4-5	แสดงภาพถ่ายผงวัสดุด้วยเทคนิค TEM (ก1, ก2) รูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน (ข1, ข2) และองค์ประกอบของธาตุเมื่อศึกศึกษาด้วย EDS (ค1, ค2) สำหรับผงวัสดุ $CCT_{0.35}SnO$-03 และ $CCT_{0.35}SnO$-06 ตามลำดับ	75
4-6	แสดงภาพถ่ายผงวัสดุด้วยเทคนิค SEM สำหรับผงวัสดุ $CCT_{0.35}O$	77
4-7	แสดงภาพถ่ายผงวัสดุด้วยเทคนิค SEM สำหรับผงวัสดุ (ก) $CSrCT_{0.35}O$-03 (ข) $CPrCT_{0.35}O$-03 (ค) $CCT_{0.35}SnO$-03 (ง) $CSrCT_{0.35}O$-06 (จ) $CPrCT_{0.35}O$-06 (ฉ) $CCT_{0.35}SnO$-06 ตามลำดับ	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่		
4-8	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์สำหรับวัสดุเซรามิก $CCT_{0.35}O$ เจือด้วย Sr (0.03, 0.06) เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ด้วยเวลา 6 ชั่วโมง (ก, ค) และเวลา 10 ชั่วโมง (ข, ง) เปรียบเทียบกับพีคมาตรฐาน CCTO (ICSD 95714)	80
4-9	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์สำหรับวัสดุเซรามิก $CCT_{0.35}O$ เจือด้วย Pr (0.03, 0.06) เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ด้วยเวลา 6 ชั่วโมง (ก, ค) และเวลา 10 ชั่วโมง (ข, ง) เปรียบเทียบกับพีคมาตรฐาน CCTO (ICSD 95714)	81
4-10	รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์สำหรับวัสดุเซรามิก $CCT_{0.35}O$ เจือด้วย Sn (0.03, 0.06) เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ด้วยเวลา 6 ชั่วโมง (ก, ค) และเวลา 10 ชั่วโมง (ข, ง) เปรียบเทียบกับพีคมาตรฐาน CCTO (ICSD 95714)	82
4-11	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CCT_{0.35}O$-A (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	84
4-12	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CCT_{0.35}O$-B (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	85
4-13	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CSrCT_{0.35}O$-03A (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	86
4-14	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CSrCT_{0.35}O$-03B (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	87
4-15	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CSrCT_{0.35}O$-06A (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-16	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CSrCT_{0.35}O$-06B (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	90
4-17	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CPrCT_{0.35}O$-03A (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	91
4-18	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CPrCT_{0.35}O$-03B (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	92
4-19	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CPrCT_{0.35}O$-06A (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	93
4-20	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CPrCT_{0.35}O$-06B (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	94
4-21	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CCT_{0.35}SnO$-03A (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	97
4-22	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CCT_{0.35}SnO$-03B (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	98
4-23	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 °C ของเม็ดวัสดุ $CCT_{0.35}SnO$-06A (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	99

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-24	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ผิวหน้า โดยเทคนิค SEM ของเม็ดวัสดุที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1060 $^{\circ}$C ของเม็ดวัสดุ $CCT_{0.35}SnO$-06B (ก) (ภาพแทรก) แสดงตำแหน่งที่ยิง EDS โดยสเปกตรัมของตำแหน่งที่ยิง EDS แสดงในภาพ (ข)	100
4-25	การเปลี่ยนแปลงความถี่ของค่า ε' และ tanδ สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}$O-A และ $CCT_{0.35}$O-B ที่อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C)	102
4-26	การเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของค่า (ก) ε' และ (ข) tanδ สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}$O-A, $CPrCT_{0.35}$O-03A, $CCT_{0.35}SnO$-03A และ $CSrCT_{0.35}$O-03A ที่อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C)	103
4-27	การเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของค่า (ก) ε' และ (ข) tanδ สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}$O-B, $CPrCT_{0.35}$O-03B, $CCT_{0.35}SnO$-03B และ $CSrCT_{0.35}$O-03B ที่อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C)	104
4-28	การเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของค่า (ก) ε' และ (ข) tanδ สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}$O-A, $CPrCT_{0.35}$O-06A, $CCT_{0.35}SnO$-06A และ $CSrCT_{0.35}$O-06A ที่อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C)	106
4-29	การเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของค่า (ก) ε' และ (ข) tanδ สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}$O-B, $CPrCT_{0.35}$O-06B, $CCT_{0.35}SnO$-06B และ $CSrCT_{0.35}$O-06B ที่อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C)	107
4-30	แสดงการเปรียบเทียบค่า (ก) ε' และ (ข) tanδ ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารเจือและการเจือด้วย Pr, Sn และ Sr โดยใช้เวลาในการเผาผนึกที่ต่างกัน 6 และ 10 ชั่วโมง	109
4-31	(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (J) กับสนามไฟฟ้า (E) และ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง Log (E) กับ Log (J) สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}$O-A, $CSrCT_{0.35}$O-03A และ $CSrCT_{0.35}$O-06A ที่อุณหภูมิห้อง (30 $^{\circ}$C)	111

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-32	(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (J) กับสนามไฟฟ้า (E) และ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง Log (E) กับ Log(J) สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}O$-B, $CSrCT_{0.35}O$-03B และ $CSrCT_{0.35}O$-06B ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C)	113
4-33	(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (J) กับสนามไฟฟ้า (E) และ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง Log (E) กับ Log(J) สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}O$-A, $CPrCT_{0.35}O$-03Aและ $CPrCT_{0.35}O$-06A ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C)	114
4-34	(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (J) กับสนามไฟฟ้า (E) และ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง Log (E) กับ Log(J) สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}O$-B, $CSrCT_{0.35}O$-03B และ $CSrCT_{0.35}O$-06B ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C)	117
4-35	(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (J) กับสนามไฟฟ้า (E) และ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง Log (E) กับ Log(J) สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}O$-A, $CCT_{0.35}SnO$-03A และ $CCT_{0.35}SnO$-06A ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C)	118
4-36	(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (J) กับสนามไฟฟ้า (E) และ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง Log (E) กับ Log(J) สำหรับวัสดุ $CCT_{0.35}O$-B, $CCT_{0.35}SnO$-03B และ $CCT_{0.35}SnO$-06B ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C)	119
4-37	(ก) แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ความไม่เป็นเชิงเส้น (α) และ (ข) การเปลี่ยนแปลงค่าสนามไฟฟ้าที่ทำให้สูญเสียสภาพความต้านทาน (E_b) ของวัสดุเซรามิกที่เป็นฟังก์ชันกับสารเจือ และเวลาในการเผาผนึก	121