สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ช
สารบาญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การทบทวนเอกสารทางวิชาการ	2
2.1 ความเป็นมาของสารเซอร์โคเนียมติตาเนต	3
2.2 โครงสร้างของเซอร์โคเนียมติตาเนต	8
2.3 ลักษณะเฉพาะของไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์	13
2.4 ตัวอย่างการนำเซรามิกไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์ประยุกต์ใช้งาน	20
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	22
3.1 สารเคมีที่ใช้	22
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้	23
3.3 การเตรียมผงเซอร์โคเนียมติตาเนต	24
3.4 การตรวจสอบผงที่เตรียมได้	27
3.4.1 วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียล เทอร์มอล อนาไลซีส (DTA)	27
3.4.2 วิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)	28
3.4.3 วิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	30
3.5 การเตรียมเซรามิกเซอร์โคเนียมติตาเนต	32
3.6 การตรวจสอบเซรามิกที่เตรียมได้	34
3.6.1 การหาค่าการหดตัว	34
3.6.2 การหาค่าความหนาแน่น	35
3.6.3 การหาค่าความพรุน	36
3.6.4 การวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก	36
3.6.5 การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก	39

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล 41
4.1 ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของสารผสมด้วยเทคนิค DTA 41
4.2 ผลการตรวจสอบสารผสมที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยเทคนิค XRD 46
4.3 ผลการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของผงเซอร์โคเนียมติตาเนต 57
4.4 ผลการตรวจสอบลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเซรามิก เซอร์โคเนียมติตาเนตที่เตรียมได้ 59
4.5 ผลการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิกเซอร์โคเนียมติตาเนต 67
4.6 ผลการตรวจสอบพฤติกรรมทางไฟฟ้าของเซรามิกเซอร์โคเนียมติตาเนต 74
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผล 81
5.1 สรุป 81
5.2 ข้อเสนอแนะ 82

เอกสารอ้างอิง 83

ภาคผนวก
ภาคผนวก ก การคำนวณค่าความหนาแน่นทางทฤษฎีของเซอร์โคเนียมติตาเนต 89
ภาคผนวก ข ข้อมูลความหนาแน่นของน้ำที่ขึ้นกับอุณหภูมิ 90
ภาคผนวก ค ข้อมูลค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่และอุณหภูมิของเซรามิกที่เตรียมได้ 91

ประวัติผู้เขียน 103

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	แสดงวัสดุในกลุ่มไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์ที่ใช้ในทางการค้า	2
2.2	แสดงค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกของเซรามิกเซอร์โคเนียมติตาเนตที่ย่านความถี่ต่างๆ	19
3.1	แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ได้จากการคำนวณ	24
4.1	แสดงรายละเอียดของเงื่อนไขการเผาแคลไซน์สารที่ใช้ โดยมีอัตราการขึ้น-ลงอุณหภูมิที่ 5 °ซ / นาที	46
4.2	แสดงผลการคำนวณปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเฟส ZT ที่เกิด ณ เงื่อนไขการแคลไซน์ต่าง ๆ ของสารผสมเมื่อใช้อัตราส่วนเซอร์โคเนียมต่อติตาเนียมเป็น 0.2 : 1.8 โดยโมล	52
4.3	แสดงผลการคำนวณปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเฟส ZT ที่เกิด ณ เงื่อนไขการแคลไซน์ต่าง ๆ ของสารผสมเมื่อใช้อัตราส่วนเซอร์โคเนียมต่อติตาเนียมเป็น 0.4 : 1.6 โดยโมล	52
4.4	แสดงผลการคำนวณปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเฟส ZT ที่เกิด ณ เงื่อนไขการแคลไซน์ต่าง ๆ ของสารผสมเมื่อใช้อัตราส่วนเซอร์โคเนียมต่อติตาเนียมเป็น 0.6 : 1.4 โดยโมล	53
4.5	แสดงผลการคำนวณปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเฟส ZT ที่เกิด ณ เงื่อนไขการแคลไซน์ต่าง ๆ ของสารผสมเมื่อใช้อัตราส่วนเซอร์โคเนียมต่อติตาเนียมเป็น 0.8 : 1.2 โดยโมล	53
4.6	แสดงผลการคำนวณปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเฟส ZT ที่เกิด ณ เงื่อนไขการแคลไซน์ต่าง ๆ ของสารผสมเมื่อใช้อัตราส่วนเซอร์โคเนียมต่อติตาเนียมเป็น 1.0 : 1.0 โดยโมล	54
4.7	แสดงอิทธิพลของเงื่อนไขการเผาซินเตอร์ที่ใช้ในการเตรียมของเซรามิก ZT ต่อค่าความหดตัว (S) ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (ρ) และค่าความพรุนสัมพัทธ์ (P)	60

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
2.1	แสดงภาพฉายโครงสร้างของ $ZrTiO_4$ ในทิศทาง [010] ที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอม แบบ (ก) ไม่สม่ำเสมอและ (ข) สม่ำเสมอแต่ไม่ได้สัดส่วน	8
2.2	แสดงเฟสไดอะแกรมระหว่างเซอร์โคเนียมไดออกไซด์กับติตาเนียมไดออกไซด์	10
2.3	แสดงลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคจากภาพถ่าย SEM ของเซอร์โคเนียมติตาเนต (ก) ผงที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ และ(ข) เซรามิกที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1600 °ซ	11
2.4	แสดงภาพถ่าย SEM ของเซรามิกเซอร์โคเนียมติตาเนตเมื่อใช้อัตราการลดลงของอุณหภูมิเป็น (ก) 120 °ซ / ชั่วโมง และ(ข) 1 °ซ / ชั่วโมง	12
2.5	แสดงภาพถ่าย TEM ของอนุภาคเซอร์โคเนียมที่ปนอยู่กับเซรามิกเซอร์โคเนียมติตาเนต สเกลที่ใช้มีขนาดเท่ากับ 0.5 ไมโครเมตร	13
2.6	แสดงการเกิดโพลาไรเซชันแบบต่างๆ	15
2.7	แสดง (ก) ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และ (ข) ค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกของสารไดอิเล็กตริกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่	16
2.8	แสดงลักษณะของไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์	20
2.9	แสดงวงจร oscillation แบบ (ก) Colpitts circuit และ (ข) Hertly circuit	21
3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมผงเซอร์โคเนียมติตาเนตที่ใช้	26
3.2	แผนภาพแสดงแผนผังการเผาแคลไซน์ที่ใช้	26
3.3	แสดงหลักการทำงานของเครื่อง DTA	27
3.4	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากระนาบของอะตอม	29
3.5	แสดงการเกิดอันตรกิริยาของลำอิเล็กตรอนกับสารตัวอย่าง	31
3.6	กราฟแสดงการกระจายพลังงานของอิเล็กตรอนที่เปล่งออกจากสารตัวอย่าง	31
3.7	แผนภาพแสดงการเตรียมสารตัวอย่างเพื่อถ่ายภาพ SEM	32
3.8	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเซรามิกเซอร์โคเนียมติตาเนตที่ใช้	33
3.9	แสดงการจัดเรียงชิ้นงานในถ้วยอลูมินาเพื่อเผาซินเตอร์	33
3.10	แสดงแผนผังการเผาซินเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	34

3.11 แสดงลักษณะการจัดเครื่องมือสำหรับการทดลองเพื่อทำการตรวจสอบพฤติกรรมทางไดอิเล็กตริกของเซรามิกที่เตรียมได้ 37

3.12 แสดงส่วนประกอบของชุดบรรจุชิ้นงาน สำหรับการวัดค่าความจุและ ค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกของเซรามิก ZT ที่เตรียมได้ 38

4.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารผสมระหว่าง ZrO_2 กับ TiO_2 เมื่อ • และ ∇ แทนเฟสของ ZrO_2 กับ TiO_2 ตามลำดับ 40

4.2 แสดงกราฟ DTA ของสารผสมที่มีอัตราส่วนของ Zr:Ti เป็น 1:1 โดยโมล ด้วยการใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ 10 °ซ / นาที 42

4.3 สารผสมที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1250 °ซ และ (ข) 1300 °ซ เมื่อ *, • และ ∇ แทนเฟสของ $ZrTiO_4$, ZrO_2 และ TiO_2 ตามลำดับ 44

4.4 แบบจำลองรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่สร้างจากการใช้ข้อมูลของ TiO_2 และ $ZrTiO_4$ ใน JCPDS หมายเลข (ก) 21-1276 และ (ข) 34-415 ตามลำดับ 45

4.5 แสดง XRD patterns ของสารผสมระหว่าง ZrO_2 กับ TiO_2 แบบ 0.2 : 1.8 โดยโมล ที่เงื่อนไขการเผาแคลไซน์แตกต่างกัน เมื่อ *, • และ ∇ แทนเฟสของ $ZrTiO_4$, ZrO_2 และ TiO_2 ตามลำดับ 47

4.6 แสดง XRD patterns ของสารผสมระหว่าง ZrO_2 กับ TiO_2 แบบ 0.4 : 1.6 โดยโมล ที่เงื่อนไขการเผาแคลไซน์แตกต่างกัน เมื่อ *, • และ ∇ แทนเฟสของ $ZrTiO_4$, ZrO_2 และ TiO_2 ตามลำดับ 48

4.7 แสดง XRD patterns ของสารผสมระหว่าง ZrO_2 กับ TiO_2 แบบ 0.6 : 1.4 โดยโมล ที่เงื่อนไขการเผาแคลไซน์แตกต่างกัน เมื่อ *, • และ ∇ แทนเฟสของ $ZrTiO_4$, ZrO_2 และ TiO_2 ตามลำดับ 49

4.8 แสดง XRD patterns ของสารผสมระหว่าง ZrO_2 กับ TiO_2 แบบ 0.8 : 1.2 โดยโมล ที่เงื่อนไขการเผาแคลไซน์แตกต่างกัน เมื่อ *, • และ ∇ แทนเฟสของ $ZrTiO_4$, ZrO_2 และ TiO_2 ตามลำดับ 50

4.9 แสดง XRD patterns ของสารผสมระหว่าง ZrO_2 กับ TiO_2 แบบ 1.0 : 1.0 โดยโมล ที่เงื่อนไขการเผาแคลไซน์แตกต่างกัน เมื่อ *, • และ ∇ แทนเฟสของ $ZrTiO_4$, ZrO_2 และ TiO_2 ตาม 51

4.10 แสดงภาพถ่าย SEM ของผงเซอร์โคเนียมติตาเนตเมื่อเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ (ก) 1300 °ซ (ข) 1350 °ซ และ (ค) 1400 °ซ 58

4.11	แสดง XRD patterns ของเซรามิก ZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยเงื่อนไขต่างๆ	62
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวเชิงเส้นกับอุณหภูมิซินเตอร์ของเซรามิก ZT เมื่อใช้ระยะเวลาเผาแช่นานต่างกัน	63
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิซินเตอร์ของเซรามิก ZT เมื่อใช้ระยะเวลาเผาแช่นานต่างกัน	64
4.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนสัมพัทธ์กับอุณหภูมิซินเตอร์ของเซรามิก ZT เมื่อใช้ระยะเวลาเผาแช่นานต่างกัน	65
4.15	แสดงภาพถ่าย SEM พื้นผิวหน้าของเซรามิก ZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1450 ^{o}ซ (ข) 1500 ^{o}ซ (ค) 1550 ^{o}ซ และ (ง) 1600 ^{o}ซ	68
4.16	แสดงภาพถ่าย SEM ของบริเวณผิวหน้าเซรามิก ZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก)1450 (ข) 1500 (ค) 1550 และ (ง) 1600 ^{o}ซ นาน 8 ชั่วโมง	70
4.17	แสดงภาพถ่าย SEM บริเวณผิวหน้าที่ทำการขัดของเซรามิกที่ใช้อุณหภูมิซินเตอร์ (ก)1450 (ข) 1500 (ค) 1550 และ (ง) 1600 ^{o}ซ นาน 4 ชั่วโมง	71
4.18	แสดงภาพถ่าย SEM บริเวณผิวที่ไม่ได้ทำการขัดของเซรามิกที่ใช้อุณหภูมิซินเตอร์ (ก)1450 (ข) 1500 (ค) 1550 และ (ง) 1600 ^{o}ซ นาน 4 ชั่วโมง	72
4.19	แสดงภาพถ่าย SEM บริเวณผิวที่ไม่ได้ทำการขัดของเซรามิกที่ใช้อุณหภูมิซินเตอร์ (ก)1450 (ข) 1500 (ค) 1550 และ (ง) 1600 ^{o}ซ นาน 6 ชั่วโมง	73
4.20	แสดงภาพถ่าย SEM บริเวณผิวที่ไม่ได้ทำการขัดของเซรามิกที่ใช้อุณหภูมิซินเตอร์ (ก)1450 (ข) 1500 (ค) 1550 และ (ง) 1600 ^{o}ซ นาน 8 ชั่วโมง	74
4.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (ε_r) และค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก (tan δ) เทียบกับ (ก) ความถี่ และ (ข) อุณหภูมิของเซรามิก ZT ที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ร้อยละ 95	75
4.22	แสดงพฤติกรรมของค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (ε_r) และค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก (tan δ) ของเซรามิก ZT ที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างๆ กันเทียบกับอุณหภูมิ	76
4.23	แสดงพฤติกรรมของค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (ε_r) และค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก (tan δ) เทียบกับอุณหภูมิ ที่ความถี่ 10 เมกกะเฮิรตซ์ ของเซรามิก ZT	78

4.24 แสดงพฤติกรรมของค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (ε_r) และค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก (tan δ) เทียบกับความถี่ ที่อุณหภูมิ 50 °ซ ของเซรามิก ZTที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยการใช้ระยะเวลาเผาแช่นานต่างกัน 78

4.25 แสดงพฤติกรรมของค่าตัวประกอบคุณภาพ (QF) เทียบกับความถี่ ที่อุณหภูมิ 50 °ซ ของเซรามิก ZT ที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างๆ กัน 79

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University