

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญภาพ	ณ
สารบัญตาราง	ญ
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ขอบเขตการวิจัย	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
สมบัติไพโซอิเล็กทริก (Piezoelectric property).....	5
แอนติเฟอร์โรอิเล็กทริก(Anti ferroelectric).....	7
เฟอร์โรอิเล็กทริก (Ferroelectric).....	8
พาราอิเล็กทริก (Paraelectric).....	10
เพอรอฟสไกต์เฟอร์โรอิเล็กทริก (Perovskite ferroelectric).....	11
โพราไรเซชัน (Polarization)	12
สมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric properties)	13
ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative permittivity: ϵ_r).....	13
การซินเตอร์ (Sintering).....	15
การบดย่อยด้วยลูกบอล (Ball milling).....	18
การเตรียมเซรามิกด้วยวิธีการเผาไหม้.....	19
เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer).....	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope).....	23
การหาความหนาแน่น	26
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	27
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสาร.....	27
การเตรียมผงผลึก BCTS และ BNT-6BCTS ด้วยวิธีการเผาไหม้.....	28
การเตรียมเซรามิก BCTS และ BNT-6BCTS	29
การเตรียมเซรามิก (1-x)BNT-xBCTS	29
4 ผลการวิจัย.....	31
ผลการวิเคราะห์ผงผลึกและเซรามิก BCTS ที่เตรียมด้วยวิธีการเผาไหม้.....	31
ผลการวิเคราะห์ผงผลึกและเซรามิก 0.94BNT-0.06BNT ที่เตรียมด้วยวิธีการ เผาไหม้.....	40
ผลการวิเคราะห์เซรามิก (1-x)BNT-xBCTS ที่เตรียมด้วยวิธีการเผาไหม้.....	47
5 บทสรุป.....	52
สรุปผลการทดลองการเตรียมผงผลึกและเซรามิก BCTS.....	52
สรุปผลการทดลองการเตรียมผงผลึกและเซรามิก 0.94BNT-0.06BCST.....	52
สรุปผลการทดลองการเตรียมเซรามิก (1-x)BNT-xBCST.....	53
บรรณานุกรม.....	54
ประวัติผู้วิจัย.....	58

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์และเปอร์เซ็นต์เฟสของเซรามิก BCTS ที่อุณหภูมิซินเตอร์ ต่างๆ.....	35
4.2 แสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟส สมบัติไดอิเล็กทริก ร้อยละความเครียด และค่า d_{33}^* ของเซรามิก BCTS.....	39
4.3 ร้อยละความบริสุทธิ์และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงผลึก 0.94BNT-0.06BCST แคลไซน์ที่อุณหภูมิระหว่าง 600 ถึง 900°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	41
4.4 ค่าขนาดเกรนเฉลี่ยและความหนาแน่นของเซรามิก 0.94BNT-0.06BCST ซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	44
4.5 อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสสมบัติไดอิเล็กทริกและโพซิโวลิตีของเซรามิก 0.94BNT-0.06BCST ซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	47
4.6 ค่าขนาดเกรนเฉลี่ยความหนาแน่นและ d_{33} ของเซรามิก (1-x)BNT-xBCST ที่ปริมาณ x ต่างๆ.....	50

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 Direct piezoelectric effect.....	1
1.2 Invers piezoelectric effect.....	1
2.1 ปฏิกิริยาการเกิดโพสิทีฟไดอิเล็กทริกในวัสดุ.....	5
2.2 แผนภาพแสดงการแบ่งกลุ่มโพสิทีฟไดอิเล็กทริกและกลุ่มย่อย.....	6
2.3 วงรอบฮิสเทอรีซิสระหว่างโพลาไรเซชันกับสนามไฟฟ้าในของสารแอนติเฟอร์โรไดอิเล็กทริก.....	7
2.4 ความต่างเฟสระหว่างกระแสสลับ (I) และศักย์ไฟฟ้า (V) ของวัสดุไดอิเล็กทริก (a) กรณีไม่มีการสูญเสียพลังงาน (b) กรณีมีการสูญเสียพลังงาน.....	9
2.5 วงรอบฮิสเทอรีซิสระหว่างโพลาไรเซชันกับสนามไฟฟ้าในสารเฟอร์โรอิเล็กทริก.....	10
2.6 วงรอบฮิสเทอรีซิสระหว่างโพลาไรเซชันกับสนามไฟฟ้าในของสารพาราไดอิเล็กทริก.....	11
2.7 หน่วยเซลล์แบบเพอโรฟสไกต์ (ABO ₃) ของแบเรียมไททานเต.....	12
2.8 ไดโพลภายในเนื้อสาร (a) ก่อนทำการ poling และ (b) หลังทำการ poling.....	13
2.9 ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน.....	14
2.10 พฤติกรรมการซินเตอร์แบบสถานะของแข็งทั่วไปในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผา.....	16
2.11 พัฒนาการของโครงสร้างจุลภาคที่เกิดจากการซินเตอร์แบบสถานะของแข็ง (a) อนุภาคฝังยึดกันอยู่แบบหลวมๆ หลังการอัดขึ้นรูป (b) การซินเตอร์ช่วงเริ่มต้น (c) การซินเตอร์ช่วงกลาง และ (d) การซินเตอร์ช่วงสุดท้าย.....	17
2.12 ภาพตัดขวางแสดงองค์ประกอบหลักของการบดย่อยด้วยลูกบอล (ball-milling) และแสดงลักษณะพฤติกรรมของการบดย่อยแบบเลื่อนหล่นกันไป (cascading).....	19
2.13 การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการการเผาไหม้.....	20
2.14 แบบจำลองสำหรับการพิสูจน์กฎของแบรกก์.....	22
2.15 องค์ประกอบและหลักการเกิดภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
3.1 ขั้นตอนการซินเตอร์เซรามิก BCTS BNT-6BCTS และ (1-x)BNT-xBCTS.....	30
4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึก BCTS ที่อุณหภูมิแคลไซน์ 1050-1250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	32
4.2 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของผงผลึกที่อุณหภูมิแคลไซน์ (a) 1050 (b) 1150 และ (c) 1250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	32
4.3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเซรามิก BCTS ที่อุณหภูมิซินเตอร์ต่างๆ ที่มุม 10-70°.....	33
4.4 โครงสร้างการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Rietveld refinement ของเซรามิก BCTS ที่อุณหภูมิซินเตอร์ (a) 1350 (b) 1400 และ (c) 1450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	34
4.5 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของเซรามิกที่อุณหภูมิซินเตอร์ (d) 1350 (e) 1400 และ (f) 1450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	36
4.6 แสดงค่าความหนาแน่นและค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเซรามิก BCTS ที่อุณหภูมิซินเตอร์ต่างๆ.....	36
4.7 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเซรามิก BCTS ที่อุณหภูมิซินเตอร์ต่างๆ วัดที่ความถี่ 1 kHz (a) 1325 (b) 1350 (c) 1375 (d) 1400 และ (f) 1450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	38
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดกับสนามไฟฟ้าของเซรามิก BCTS ที่อุณหภูมิซินเตอร์ต่างๆ.....	39
4.9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึก 0.94BNT-0.06BCST แคลไซน์ที่อุณหภูมิระหว่าง 600 ถึง 900°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยที่ (♦) คือ TiO ₂ (*) คือ SnO ₂ (●) คือ BaSnO ₃ และ (♥) คือ BaBiO ₃	40
4.10 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของผงผลึก 0.94BNT-0.06BCST แคลไซน์ที่อุณหภูมิ (a) 650, (b) 700, (c) 750, (d) 850, และ (e) 900 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงอัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิเป็น 5°C/min	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.11 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก 0.94BNT-0.06BCST ที่ซินเตอร์ระหว่าง 1100 ถึง 1200°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิเป็น 5°C/min.....	42
4.12 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก 0.94BNT-0.06BCST ซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (f) 1100, (g) 1125, (h) 1150, (i) 1175, และ (j) 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	43
4.13 สมบัติไดอิเล็กทริกของเซรามิก 0.94BNT-0.06BCST ซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส (a) ไม่ผ่านการให้สนาม และ (b) ที่ผ่านการให้สนาม.....	45
4.14 สมบัติไดอิเล็กทริกของเซรามิก 0.94BNT-0.06BCST ซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1150 ถึง 1200 องศาเซลเซียส (a) ไม่ผ่านการให้สนาม และ (b) ที่ผ่านการให้สนาม	45
4.15 (a) รวงนฮีสเทอรีซิสของเซรามิก 0.94BNT-0.06BCST ที่อุณหภูมิซินเตอร์ต่างๆ (b) ค่าสภาพขั้วคงค้างของโพลาริเซชัน (P_r) และค่าสนามไฟฟ้าลบล้าง (E_c) ของเซรามิก 0.94BNT-0.06BCST ที่อุณหภูมิซินเตอร์ต่างๆ.....	46
4.16 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงผลึก (1-x)BNT-xBCTS ที่ปริมาณ x=0.03-0.09 แคลไซน์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	47
4.17 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก (1-x)BNT-xBCST ที่ซินเตอร์ระหว่าง 1150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	49
4.18 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก (1-x)BNT-xBCST ที่ปริมาณ x เท่ากับ (a) 0.03, (b) 0.04, (c) 0.05, (d) 0.06, (e) 0.07, (f) 0.08 และ (j) 0.09 ซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส.....	50
4.19 ค่าสภาพขั้วคงค้างของโพลาริเซชัน (P_r) และค่าสนามไฟฟ้าลบล้าง (E_c) ของเซรามิก (1-x)BNT-xBCST ที่ปริมาณ x ต่างๆ.....	50