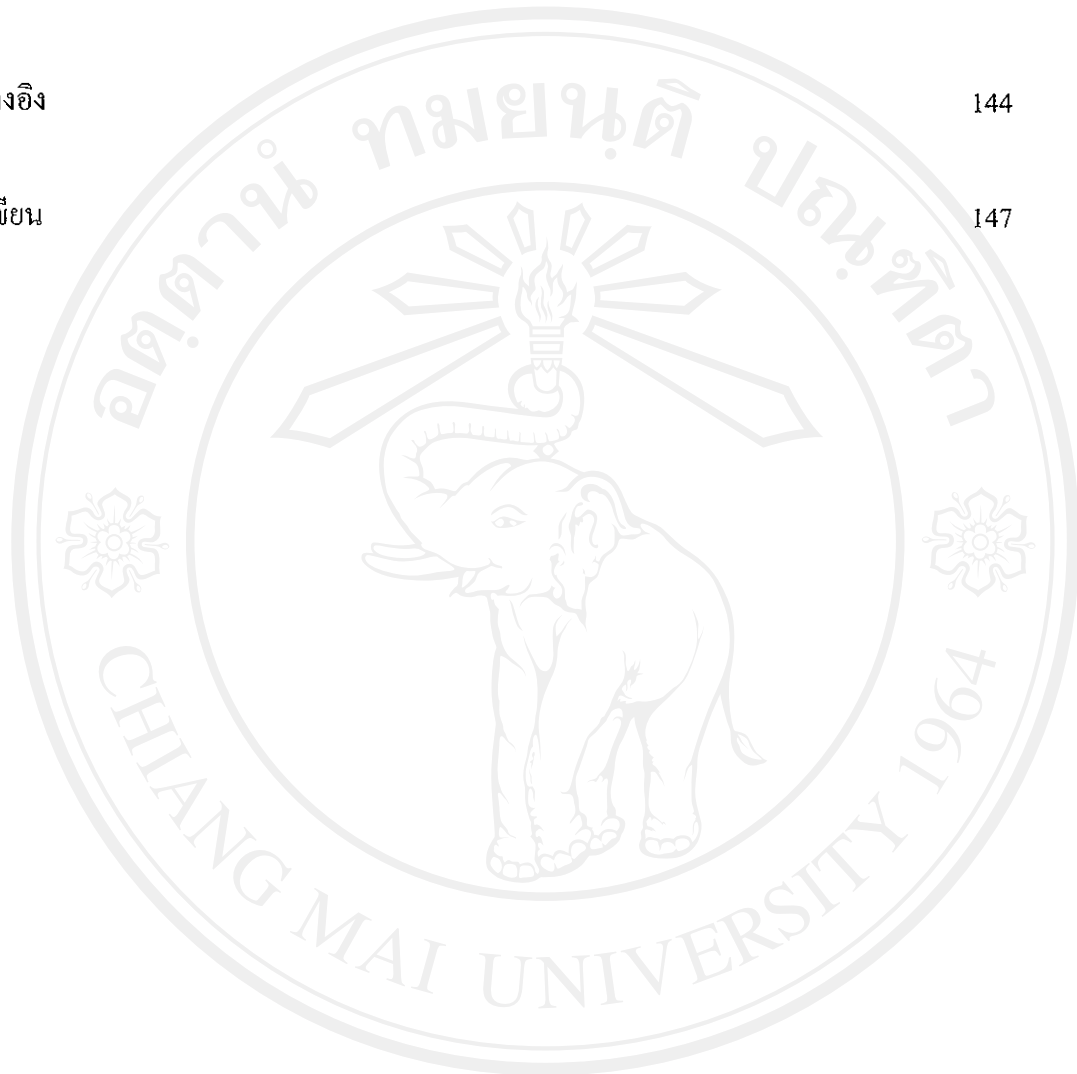


สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	น
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	3
2.1 สมบัติไดอิเล็กทริก	3
2.2 ความเค้นแบบแกนเดียว	9
2.3 ข้อมูลเบื้องต้นของสารเซรามิกเลดไทเทเนต, เลดเซอร์โคเนตไทเทเนต, เลดแมกนีเซียมไนโอเบต เลดอินเดียมไนโอเบต และเลดซิงค์ไนโอเบต	10
2.4 สมบัติไดอิเล็กทริกภายใต้ความเค้นแบบแกนเดียว	18
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	32
3.1 สารเคมี	32
3.2 อุปกรณ์	32
3.3 กระบวนการเตรียมเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบต-เลดไทเทเนต	34
3.4 กระบวนการเตรียมเซรามิกเลดอินเดียมไนโอเบต-เลดไทเทเนต	36
3.5 กระบวนการเตรียมเซรามิกเลดเซอร์โคเนตเลดไทเทเนต-เลดซิงค์ไนโอเบต	36
3.6 การตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	37
3.7 การหาค่าความหนาแน่น	38
3.8 การศึกษาสมบัติไดอิเล็กทริกของสารเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบต-เลดไทเทเนต เลดอินเดียมไนโอเบต-เลดไทเทเนต และเลดเซอร์โคเนตเลดไทเทเนต-เลดซิงค์ไนโอเบต	38

3.9 การศึกษาอิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดียวต่อสมบัติไดอิเล็กทริกของ สารเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบต-เลดไทเทเนต เลดอินเดียมไนโอ เบต-เลดไทเทเนต และเลดเซอร์โคเนตเลดไทเทเนต-เลดซิงค์ไนโอเบต	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	43
4.1 ผลการตรวจสอบและวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD	43
4.2 ผลการตรวจสอบความหนาแน่นของเซรามิก	45
4.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิและความถี่ ของสารเซรามิก PMN-PT	46
4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิและความถี่ ของสารเซรามิก PIN-PT	50
4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิและความถี่ ของสารเซรามิก PZT-PZN	54
4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดียวต่อสมบัติไดอิเล็กทริก ของเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบต-เลดไทเทเนต	59
4.6.1 สารเซรามิก PMN-PT ที่ยังไม่ผ่านการทำขั้ว	59
4.6.2 สารเซรามิก PMN-PT ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	72
4.7 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดียวต่อสมบัติไดอิเล็กทริก ของเซรามิกเลดอินเดียมไนโอเบต-เลดไทเทเนต	85
4.7.1 สารเซรามิก PIN-PT ที่ยังไม่ผ่านการทำขั้ว	85
4.7.2 สารเซรามิก PIN-PT ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	98
4.8 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเค้นแบบแกนเดียวต่อสมบัติไดอิเล็กทริก ของเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต-เลดซิงค์ไนโอเบต	110
4.8.1 สารเซรามิก PZT-PZN ที่ยังไม่ผ่านการทำขั้ว	110
4.8.2 สารเซรามิก PZT-PZN ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	123
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	139
5.1 สรุปผล	139
5.1.1 สารเซรามิก PMN-PT	139
5.1.2 สารเซรามิก PIN-PT	140

5.1.3 สารเซรามิก PZT-PZN	141
5.2 ข้อเสนอแนะ	143
เอกสารอ้างอิง	144
ประวัติผู้เขียน	147



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ข้อแตกต่างระหว่างเฟอร์โรอิเล็กทริกแบบปกติและแบบบีรแลกเซอร์	15
3.1 แสดงสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทำจ้าวสารเซรามิก PMN-PT, PIN-PT และ PZT-PZN	39
4.1 ค่าความหนาแน่นของสารเซรามิก PMN-PT, PIN-PT และ PZT-PZN ที่เตรียมได้	45
4.2 สรุปค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารเซรามิก (1-x)PMN-(x)PT ที่ความถี่ 1 kHz	50
4.3 สรุปค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารเซรามิก (1-x)PIN-(x)PT ที่ความถี่ 1 kHz	54
4.4 สรุปค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารเซรามิก (1-x)PZT-(x)PZN ที่ความถี่ 1 kHz	58

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ลักษณะของสารไดอิเล็กทริกที่เป็นสารไม่มีขั้วเมื่อมีสนามไฟฟ้าทำให้เกิดโมเมนต์ขั้วคู่	4
2.2 แสดงความสัมพันธ์ E-P ของสาร เฟอร์โรอิเล็กทริก	4
2.3 ลักษณะตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนาน	5
2.4 ตัวเก็บประจุแบบคู่ขนาน	7
2.5 ลักษณะมุมเฟสในตัวเก็บประจุในทางปฏิบัติ	8
2.6 แผนภาพแสดงการแบ่งกลุ่มวัสดุตามสมมาตร	12
2.7 ลักษณะโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์	13
2.8 แผนผังเฟสของเซรามิกระบบ $\text{PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$	14
2.9 แผนผังเฟสของสารละลายของแข็ง PMN-PT	16
2.10 แผนผังเฟสของสารละลายของแข็ง PIN-PT	17
2.11 แผนผังเฟสของสารละลายของแข็ง PZT-PZN	18
2.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่เป็นผลมาจากความเค้นเชิงกลภายใต้สนามไฟฟ้าของเซรามิก PZT-5H	19
2.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่เป็นผลมาจากความเค้นเชิงกลภายใต้สนามไฟฟ้าของเซรามิก PZT-8	20
2.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่เป็นผลมาจากความเค้นเชิงกลภายใต้สนามไฟฟ้าของเซรามิก 0.9PMN-0.1PT	20
2.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติไดอิเล็กทริกภายใต้ความเค้นแบบแกนเดียวของเซรามิก PZT	21
2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก PZT406 และ PZT552 ภายใต้สภาวะความเค้นต่ำ	22
2.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก PZT406 และ PZT552 ภายใต้สภาวะความเค้นสูง	23
2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก PMN-PZT ที่ถูกทำขั้วแล้ว ภายใต้สภาวะความเค้นต่ำ	23

2.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก PMN-PZT ที่ถูกทำขั้วแล้ว ภายใต้สภาวะความเค้นสูง	24
2.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก PMN-PZT ที่ไม่ถูกทำขั้ว ภายใต้สภาวะความเค้นต่ำ	24
2.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก PMN-PZT ที่ไม่ถูกทำขั้ว ภายใต้สภาวะความเค้นสูง	25
2.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของผลึกเดี่ยว PbTiO_3 กับอุณหภูมิ ที่ความดันต่างๆ กัน (ก) ที่ความดัน 0-500 bar (ข) ที่ความดัน 600-1500 bar	26
2.23	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ (วัดจากความชันของ P-E curves กับสนามไฟฟ้า) เมื่อความเค้นมีค่าเพิ่มขึ้น	27
2.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก PZT, 0.95PZT-0.05BT, 0.85PZT-0.15BT และ 0.75PZT-0.25BT ที่ไม่ถูกทำขั้ว	28
2.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.65PZT-0.35BT, 0.55PZT-0.45BT, 0.45PZT-0.55BT และ 0.35PZT-0.65BT ที่ไม่ถูกทำขั้ว	28
2.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.25PZT-0.75BT, 0.15PZT-0.85BT, 0.05PZT-0.95BT และ BT ที่ไม่ถูกทำขั้ว	29
2.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก PZT, 0.95PZT-0.05BT, 0.85PZT-0.15BT และ 0.75PZT-0.25BT ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	29
2.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.65PZT-0.35BT, 0.55PZT-0.45BT, 0.45PZT-0.55BT และ 0.35PZT-0.65BT ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	30
2.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.25PZT-0.75BT, 0.15PZT-0.85BT, 0.05PZT-0.95BT และ BT ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	30
3.1	แผนภาพแสดงการทดลองทั้งหมด	33
3.2	เครื่องบดย่อยผสมสารแบบ Ball-milling	35
3.3	แม่พิมพ์โลหะและเครื่องอัดระบบไฮดรอลิก	35
3.4	เครื่อง X-ray diffractometer รุ่น Siemens-D500	37
3.5	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำขั้วไฟฟ้า (poling)	39
3.6	อุปกรณ์วัดสมบัติไดอิเล็กทริกกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความถี่	40
3.7	ส่วนประกอบของเครื่องมืออัดแรงแบบแกนเดี่ยว และลักษณะการจัดเรียง	41
3.8	อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่า ϵ_r และ $\tan \delta$ ภายใต้ความเค้น	42

3

4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิและความถี่ของสารเซรามิกในระบบ PZT-PZN	54
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิและความถี่ของเซรามิก 0.5PZT-0.5PZN	55
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิและความถี่ของเซรามิก 0.6PZT-0.4PZN	55
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิและความถี่ของเซรามิก 0.7PZT-0.3PZN	56
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิและความถี่ของเซรามิก 0.8PZT-0.2PZN	56
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิและความถี่ของเซรามิก 0.9PZT-0.1PZN	57
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิคูรี (T_c) กับอัตราส่วนโดยโมลต่างๆของสารเซรามิกในระบบ $(1-x)\text{PMN}-(x)\text{PT}$, $(1-x)\text{PIN}-(x)\text{PT}$ และ $(1-x)\text{PZT}-(x)\text{PZN}$ ที่ความถี่ 1 kHz	58
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.5PMN-0.5PT ที่ยังไม่ผ่านการทำขั้ว	61
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.5PMN-0.5PT ที่ยังไม่ผ่านการทำขั้ว	61
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.6PMN-0.4PT ที่ยังไม่ผ่านการทำขั้ว	62
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.6PMN-0.4PT ที่ยังไม่ผ่านการทำขั้ว	62
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.7PMN-0.3PT ที่ยังไม่ผ่านการทำขั้ว	63
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.7PMN-0.3PT ที่ยังไม่ผ่านการทำขั้ว	63
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.8PMN-0.2PT ที่ยังไม่ผ่านการทำขั้ว	64

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

4.135 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกกับความเค้นของ เซรามิก 0.6PZT-0.4PZN ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	132
4.136 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นของค่าการสูญเสีย ทางไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.6PZT-0.4PZN ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	132
4.137 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกกับความเค้นของ เซรามิก 0.7PZT-0.3PZN ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	133
4.138 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นของค่าการสูญเสีย ทางไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.7PZT-0.3PZN ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	133
4.139 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกกับความเค้นของ เซรามิก 0.8PZT-0.2PZN ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	134
4.140 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นของค่าการสูญเสีย ทางไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.8PZT-0.2PZN ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	134
4.141 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกกับความเค้นของ เซรามิก 0.9PZT-0.1PZN ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	135
4.142 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นของค่าการสูญเสีย ทางไดอิเล็กทริกกับความเค้นของเซรามิก 0.9PZT-0.1PZN ที่ผ่านการทำขั้วแล้ว	135

อักษรย่อและสัญลักษณ์

PT	เลดไทเทเนต
PZ	เลดเซอร์โคเนต
PZT	เลดเซอร์โคเนตไทเทเนต
PMN	เลดแมกนีเซียมไนโอเบต
PIN	เลดอินเดียมไนโอเบต
PZN	เลดซิงค์ไนโอเบต
ϵ_r	ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์, ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก
ϵ_0	ค่าสภาพยอมของสุญญากาศ
$\tan \delta$	ค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริก
C	ค่าความจุของตัวเก็บประจุ
d	ความหนาของสารเซรามิก
A	พื้นที่ผิวของเซรามิก
F	แรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุ
S	ความเค้น
Pa	หน่วยพาสคาล
T_c	อุณหภูมิคูรี
MPB	รอยต่อเฟส
XRD	X-ray diffraction
JCPDS	Joint Committee for Powder Diffraction Standards