สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
สารบาญ	(7)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(14)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	8
2 ทฤษฎี	9
ประวัติการพบปรากฏการณ์ไพอิโซอิเล็กทริก	9
เซรามิกเลดเซอร์โคเนทไทเทเนท	11
กระบวนการอบผนึก	16
กระบวนการโพลิง	18
สมบัติไพอิโซอิเล็กทริก	19
การปรับปรุงสมบัติ PZT	31
จุลโครงสร้างกับสมบัติไพอิโซอิเล็กทริก	33
3 วัสดุและวิธีการวิจัย	35
วัสดุ	35
อุปกรณ์	36
วิธีดำเนินการ	37
การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ	40
การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า	43
การทำเป็นชิ้นงาน	45
4 ผลและการอภิปรายผล	46

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ PZT	46
การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า PZT	53
การทำเป็นชิ้นงาน	65
5 บทสรุป	67
สรุปการทดลอง	67
ข้อเสนอแนะ	68
งานวิจัยในอนาคต	69
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก	74
ภาคผนวก (ก)	74
ภาคผนวก (ข)	78
ภาคผนวก (ค)	83
ประวัติผู้เขียน	84

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริกกับตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	21
2.2 แสดงลักษณะรูปทรงและทิศทางการยืดหดของวัสดุไพอิโซอิเล็กทริก	26
5.1 แสดงค่าสมบัติทางกายภาพของ $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$	67
5.2 แสดงค่าสมบัติทางไฟฟ้าของ $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$	67

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1 .1 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ไพอิโซอิเล็กทริกแบบตรงและแบบผันกลับ	1
2.1 แสดงการจัดกลุ่มผลึกตามความสมมาตรของผลึก	10
2.2 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่ากับจำนวนเปอร์เซ็นต์โมลระหว่าง $PbTiO_3$ กับ $PbZrO_3$ ที่อุณหภูมิ 25 ^oC	11
2.3 แสดงค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริกและค่าพลานาร์คัปปลิงแฟกเตอร์กับจำนวนเปอร์เซ็นต์โมลระหว่าง $PbTiO_3$ กับ $PbZrO_3$ ที่อุณหภูมิ 25 ^oC	12
2.4 แสดงเฟสโครงสร้างผลึก PZT	13
2.5 ค่าความยาวโครงผลึกของ $PbTiO_3 - PbZrO_3$ ที่อุณหภูมิ 25 ^oC	14
2.6 แสดงโครงสร้างผลึกแบบเพอรอฟสไกต์	14
2.7 แสดงลักษณะเฟสของ $PbTiO_3 - PbZrO_3$ ที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่อุณหภูมิคูรีและบริเวณ MPB	15
2.8 (a) แสดง 6 ทิศทางสำหรับการโพลาไรเซชันในโครงผลึกแบบเตตระโกนอล (b) แสดง 8 ทิศทางสำหรับการโพลาไรเซชันในโครงผลึกแบบรอมโบฮีดรัล	16
2.9 แสดงการเกิดคอ	17
2.10 แสดงกระบวนการอบผนึก	17
2.11 แสดงการจัดเรียงตัวของการโพลาไรเซชันก่อนและหลังได้รับสนามไฟฟ้า	18
2.12 แสดงเครื่องหมายของแกนสำหรับวัสดุไพอิโซเซรามิก	20
2.13 แสดงลักษณะวงจรสมมูลใน PZT ในกรณีไม่เกิดการเรโซแนนซ์ (a) กรณีขนาน และ(b) กรณีอนุกรม	23
2.14 วงจรสมมูลของเมสัน	23
2.15 แสดงลักษณะค่าความถี่เรโซแนนซ์และค่าความถี่แอนติเรโซแนนซ์	24
2.16 แสดงค่า k_p เมื่อเติมสารเจือคือ Nb_2O_5 ใน PZT	32
2.17 แสดงค่า k_p เมื่อเติมสารเจือคือ Na_2O ใน PZT	32
2.18 ลักษณะจุลโครงสร้างของ PZT เมื่ออบผนึก 1100 ^oC 1 ชั่วโมง (a) บดผสม 20 ชั่วโมง (b) บดผสม 40 ชั่วโมง (c) บดผสม 60 ชั่วโมง และ (d) บดผสม 80 ชั่วโมง	33
2.19 แสดงลักษณะผลของอุณหภูมิอบผนึกกับความหนาแน่น ขนาดเกรนเฉลี่ยกับอุณหภูมิและค่าคัปปลิงแฟกเตอร์กับขนาดเกรนเฉลี่ย	34

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.1 แสดงลักษณะเตาเผา	38
3.2 แสดงช่วงเวลาและอัตราอุณหภูมิของการเผาแคลไซน์	38
3.3 แสดงลักษณะแม่พิมพ์	39
3.4 แสดงการวางสารตัวอย่างในถ้วยเผาซึ่งหมายเลข 1 คือถ้วยอะลูมินา หมายเลข 2 คือ สารตัวอย่าง หมายเลข 3 คือ ผง $PbZrO_3$ ซึ่งกลบคลุมสารตัวอย่างหมาย เลข 4 คือ ผงอะลูมินาใช้ผง $PbZrO_3$ กลบคลุมอีกครั้ง	39
3.5 แสดงช่วงเวลาและอัตราอุณหภูมิของการอบผนึก	40
3.6 แสดงลักษณะการชั่งเซรามิกขณะอยู่ในน้ำ 1 เครื่องชั่ง 2 โต๊ะ 3 บีกเกอร์ 4 สารตัวอย่าง PZT 5 น้ำกลั่น	41
3.7 ลักษณะการโพลิง ① ไมโครโปรเซสเซอร์ เทอร์โมมิเตอร์ ② แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ③ เตาหน้าดำ④ บีกเกอร์ ⑤ เทอร์โมคอบเปิล ⑥ ขาตั้ง ⑦ สารตัวอย่าง	43
3.8 แสดงลักษณะชุดทดลองเกี่ยวกับการวัดค่าไดอิเล็กทริกเทียบอุณหภูมิ	44
3.9 วงจรวัดค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์ เมื่อความต่างศักย์คงที่	44
3.10 แสดงลักษณะชิ้นงานที่มี PZT เป็นส่วนประกอบ 1 คือแท่นรองแผ่นทองเหลือง 2 คือสารตัวอย่าง PZT 3 คือ สายไฟ	45
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับขนาดอนุภาค	46
4.2 แสดงลวดลายการเลี้ยวเบนของผง PZT เมื่ออบผนึกที่ 1200 ^oC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	47
4.3 แสดงลวดลายการเลี้ยวเบน ของผง PZT เมื่ออบผนึกที่ 1250 ^oC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	48
4.4 แสดงลวดลายการเลี้ยวเบนของผง PZT เมื่ออบผนึกที่ 1285 ^oC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	48
4.5 แสดงลักษณะเกรน ของ PZT ที่อบผนึกที่ 1200 ^oC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	49
4.6 แสดงลักษณะเกรน ของ PZT ที่อบผนึกที่ 1250 ^oC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	49
4.7 แสดงลักษณะเกรน ของ PZT ที่อบผนึกที่ 1285 ^oC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	50
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนกับอุณหภูมิอบผนึก	50
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอุณหภูมิอบผนึก	51
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิอบผนึก	52
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนกับอุณหภูมิอบผนึก	52
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิอบผนึก	53

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิอบผนึก	54
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับขนาดเกรน	54
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความถี่	55
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกความถี่	55
4.17 แสดงลักษณะการจัดวางสารตัวอย่างภายในเตาควบคุมอุณหภูมิ	56
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของ PZT ที่ผ่านการอบผนึกที่ 1200 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีอุณหภูมิคูรี 380 ^{o}C	57
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของ PZT ที่ผ่านการอบผนึกที่ 1250 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีอุณหภูมิคูรี 385 ^{o}C	57
4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของ PZT ที่ผ่านการอบผนึกที่ 1285 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีอุณหภูมิคูรี 385 ^{o}C	58
4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับค่าความต่างศักย์สำหรับ PKI 402 มีค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 186 และ194 kHz ตามลำดับ	59
4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับค่าความต่างศักย์สำหรับ PZT ที่อบผนึกที่ 1200 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 173 และ 175 kHz ตามลำดับ	60
4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับค่าความต่างศักย์สำหรับ PZT ที่อบผนึกที่ 1250 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 191 และ 194 kHz ตามลำดับ	60
4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับค่าความต่างศักย์สำหรับ PZT ที่อบผนึกที่ 1285 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 193 และ 196 kHz ตามลำดับ	61
4.25 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพลานาร์คัปปลิงแฟกเตอร์กับอุณหภูมิอบผนึก	61
4.26 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ k_{31} กับอุณหภูมิอบผนึก	62
4.27 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริก d_{31} กับอุณหภูมิอบผนึก	62
4.28 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริก g_{31} กับอุณหภูมิอบผนึก	63

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.29 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่ยืดหยุ่น s_{11}^{E} กับอุณหภูมิอบผนึกต่างๆ	63
4.30 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความเร็วเสียงใน PZT กับอุณหภูมิอบผนึกต่างๆ	64
4.31 ตัวกำเนิดเสียงซึ่งมี PZT เป็นส่วนประกอบหลัก	65
4.32 แสดงลักษณะการตรวจสอบการตอบสนองตอบสัญญาณไฟฟ้า	65

ตัวย่อและสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ หรือพื้นที่ขั้วไฟฟ้า
A_b	=	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ
c	=	ค่าคงที่ความแข็ง
C	=	ความจุไฟฟ้า
D	=	การกระจัดทางไฟฟ้า
d , e	=	ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริกความเครียด
E	=	สนามไฟฟ้า
f_a	=	ความถี่แอนติเรโซแนนซ์
f_r	=	ความถี่เรโซแนนซ์
g , h	=	ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริกความเค้น
k	=	ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์
k_p	=	ค่าพลานาร์คัปปลิงแฟกเตอร์
k_t	=	ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ในแนวความหนา
k_{31}	=	ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ในแนวความยาว
k_{33}	=	ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ในแนวความยาว
k_{15}	=	ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ในแนวเฉือน
L	=	ความหนา ความยาว
l	=	ความยาว
P	=	ความดัน หรือแรงดันต่อพื้นที่
P_P	=	เปอร์เซ็นต์ความพรุน
Q_m	=	แฟกเตอร์คุณภาพ
R	=	ความต้านทานไฟฟ้า
r	=	รัศมี
S	=	ความเครียดกล
s^E	=	ค่าคงที่ยืดหยุ่นภายใต้สนามไฟฟ้าคงที่
T	=	ความเค้นกล
t	=	ความหนา

ตัวย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

J_0	=	เบสเซลฟังก์ชันอันดับที่ศูนย์
J_1	=	เบสเซลฟังก์ชันอันดับที่หนึ่ง
η_1	=	ค่าบวกของรากที่ต่ำที่สุดของ $\left(1+\sigma^E\right)J_1(\eta)=\eta J_0(\eta)$
σ^E	=	อัตราส่วนของปัวส์ซอง
ρ_b	=	ความหนาแน่น
ρ_w	=	ความหนาแน่นของน้ำกลั่นที่อุณหภูมิขณะทดลอง
ε	=	สภาพยอมได้ทางไฟฟ้าของวัสดุ
ε_r	=	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก
ε^T	=	สภาพยอมได้ทางไฟฟ้าภายใต้ความเค้นคงที่
v	=	ค่าความเร็วเสียงในวัสดุ
W_d	=	น้ำหนักของสารตัวอย่างหลังอบแห้ง
W_a	=	น้ำหนักของสารตัวอย่างขณะชุ่มน้ำชั่งในอากาศ
W_{aw}	=	น้ำหนักในน้ำของสารตัวอย่าง
ω	=	ความเร็วเชิงมุม
Z	=	ความต้านทานเชิงซ้อน
Z_m	=	ความต้านทานเชิงซ้อนที่ความถี่เรโซแนนซ์