

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
รายการตารางประกอบ	ฉ
รายการภาพประกอบ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ลักษณะเฉพาะของตัวเก็บประจุ	3
2.2 สมบัติไดอิเล็กตริก	9
2.2.1 สันามไฟฟ้าเฉพาะที่และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	11
2.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียของไดอิเล็กตริก	19
2.2.3 ผลของความถี่ต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียของไดอิเล็กตริก	22
2.2.4 ความคงทนต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าและกลไกการเบรคดาวน์ในไดอิเล็กตริกของแข็ง	27
2.3 ความพรุนของวัสดุ	32
2.4 โครงสร้างจุลภาค	38
2.5 พลิกเฟอร์ไรต์ไดอิเล็กตริก	40
2.6 โครงสร้างผลึกของสารแบเรียมติตาเนต	43
2.7 การพัฒนาสมบัติทางไดอิเล็กตริกของแบเรียมติตาเนต	46
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	50
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	50
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	51
3.3 วิธีการทดลอง	60
3.3.1 การเตรียมสารตัวอย่าง	60
3.3.2 การหา Shrinkage, Density และ Porosity ของสาร	67

3.3.3 การตรวจสอบโครงสร้างด้วย X-Ray Diffractometer	68
3.3.4 การทำตัวเก็บประจุ	69
3.3.5 การวัดค่า Dielectric Constant และ Dissipation Factor	71
3.3.6 การวัดค่า Dielectric Strength	73
3.3.7 การศึกษา Microstructure ของสาร	74
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	76
4.1 ผลการทดลอง	76
4.1.1 การเตรียมสารตัวอย่าง	76
4.1.2 การศึกษา Shrinkage, Density และ Porosity ของสาร	77
4.1.3 การตรวจสอบโครงสร้างของสารด้วย X-Ray Diffractometer	79
4.1.4 ผลของความพรุนต่อค่า ϵ_r และ $\tan \delta$ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ	89
4.1.5 ผลของความพรุนต่อค่า ϵ_r และ $\tan \delta$ เมื่อเทียบกับความถี่	89
4.1.6 ผลของความพรุนต่อค่า Dielectric Strength	89
4.1.7 การศึกษา Microstructure ของสาร	89
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	110
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	120
5.1 สรุปผลการทดลอง	120
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	121
5.3 ข้อเสนอแนะ	124
เอกสารอ้างอิง	126
ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	131
ภาคผนวก ข. การเตรียมสารแบเรียมไดตาเนต (BaCO_3) โดยกระบวนการ Upgrading procedure	152
ประวัติการศึกษา	165

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างผลึกของ BaTiO_3 ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ	44
3.1 แสดงปริมาณสารที่ใช้ต่อตราส่วนต่างๆ	62
3.2 แสดงอัตราส่วนการเติมสาร PMMA	64
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Density, Porosity และ Shrinkage ของสาร	78
4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า d-spacing ของสาร $\text{Ba}_{1-x}\text{Dy}_x\text{TiO}_3$	83
4.3 แสดงค่า d-spacing ของ $\text{Ba}_{1-x}\text{Dy}_x\text{TiO}_3$ เมื่อความพรุนแตกต่างกัน	88
4.4 แสดงค่า ϵ_r และ $\tan \delta$ ที่อุณหภูมิห้องและความถี่ 1 kHz	90
4.5 แสดงค่า Dielectric Strength และ Resistivity	91
4.6 แสดงคุณสมบัติของสารในการทดลอง	92
ผ.1- ผ.21 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	132-151
ผ.22 แสดงข้อมูลของค่า d-spacing ของสาร BaCO_3	156
ผ.23 แสดงค่า d-spacing ของ $\text{Ba}_{1-x}\text{Dy}_x\text{TiO}_3$	160

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบประจุบนตัวเก็บประจุ	5
2.2 แสดงวงจรสมมูลย์ของสาร ไดอิเล็กตริก	7
ก. วงจรขนาน	
ข. วงจรอันดับ	
2.3 แสดงลักษณะมุมเฟสในตัวเก็บประจุ	8
ก. สำหรับตัวเก็บประจุที่สมบูรณ์	
ข. สำหรับตัวเก็บประจุในทางปฏิบัติ	
2.4 แสดงลักษณะของไดอิเล็กตริกที่เป็นสารไม่มีขั้ว เมื่อมีสนามไฟฟ้า ทำให้เกิด dipole moment	9
2.5 แสดงลักษณะของโมเลกุลมีขั้วที่วางตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ	10
2.6 ก. แสดงการคำนวณหาสนามไฟฟ้าเฉพาะที่ (Local Field)	15
ข. แสดงลักษณะการคำนวณ E_2 ในช่องว่าง	15
2.7 แสดงการเกิด polarization แบบต่างๆ	17
2.8 แสดงค่า Polarizability เทียบกับควมถี่	18
2.9 แสดงความสัมพันธ์ของ ϵ_r กับ $1/(T-T_c)$ ในสถานะ paraelectric	20
2.10 แสดงผลของอุณหภูมิต่อค่า $\tan \delta$ ของสารไดอิเล็กตริกประเภทมีขั้ว	21
2.11 แสดงผลของ Debye Relaxation	24-25
2.12 แสดงลักษณะของ resonance absorption	26
2.13 แสดงผลของความถี่ต่อค่า ϵ' และ ϵ''	26
2.14 แสดงวงจรสมมูลย์ของไดอิเล็กตริกที่มีโพรงภายใน	30
2.15 แสดงลักษณะของโพรงในสารไดอิเล็กตริก	31
2.16 แสดงการกระจายตัวของโพรงภายในสารไดอิเล็กตริก	34
2.17 แสดงผลของการเติมสารที่มีค่าไดอิเล็กตริกต่ำ (ϵ_1) เข้าไปใน สารที่มีค่าไดอิเล็กตริกสูง (ϵ_2)	35
2.18 แสดงผลของความพรุน (Porosity) ต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของ TiO_2	36
2.19 แสดงผลของความพรุน (Porosity) ต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของ PZT	37
2.20 แสดงผลของความหนาแน่นต่อค่าความคงทนต่อสนามไฟฟ้า	37

2.21 แสดงโครงสร้างของเกรน	38
2.22 แสดงลักษณะของเกรนปกติ	39
2.23 แสดงลักษณะของเกรนที่มีการเติบโตอย่างผิดปกติ	39
2.24 ก. แสดงลักษณะของเกรนจาก Thermally Etching	40
ข. แสดงลักษณะของเกรนจาก Chemically Etching	40
2.25 ก. แสดงลักษณะการเกิด Ferroelectric Domain	41
ข. แสดงลักษณะของ 90° และ 180° Domain Boundary	41
2.26 แสดงลักษณะของ Hysteresis Loop ในเฟอร์โรอิเล็กตริก	42
2.27 ก. แสดงความสัมพันธ์ของ Spontaneous Polarization (P_s) เทียบกับอุณหภูมิเมื่อ $T < T_c$	43
ข. แสดงผลของอุณหภูมิต่อลักษณะของ Hysteresis Loop	43
2.28 ก. แสดงลักษณะโครงสร้างของ BaTiO_3	44
ข. แสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ BaTiO_3 เทียบกับอุณหภูมิ	44
2.29 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของอะตอมใน BaTiO_3	45
2.30 แสดงคุณสมบัติของ BaTiO_3 เทียบกับอุณหภูมิ	46
2.31 แสดงระบบ BaO-TiO_2	47
2.32 แสดงผลของการเติมสารอื่นใน BaTiO_3 ต่ออุณหภูมิการเปลี่ยนเฟส	48
2.33 ก. แสดงผลของปริมาณ Dy^{3+} ต่อขนาดของเกรน	49
ข. แสดงผลของขนาดเกรนต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	49
3.1 แสดงเครื่องชั่งอย่างละเอียด sartorius	51
3.2 แสดงเครื่องบดละเอียด (Planetary Ball Mill)	52
3.3 แสดงแม่พิมพ์สำหรับอัดสาร	53
3.4 แสดงเครื่องอัดไฮโดรลิก	53
3.5 แสดงเตาเผาไฟฟ้า EUTOTHERM รุ่น UCF 1600/A	54
3.6 แสดงเตาเผาไฟฟ้า EUTOTHERM รุ่น 815S	54
3.7 แสดง LCZ Meter รุ่น HP 4276 A	55
3.8 แสดงเครื่องวัด Hipot Tester	56
3.9 แสดงเครื่อง X-Ray Diffractometer	56
3.10 แสดงเครื่องขัดสาร	57
3.11 แสดงเครื่องตัดสาร	57

3.12 แสดง Polarizing Microscope	58
3.13 แสดง Aluminar Crucible	59
3.14 แสดงเครื่องมือหาความหนาแน่นของสาร	59
3.15 แสดงเครื่องผสมสาร (Milling)	60
3.16 แสดงแผนภูมิในการทดลอง	61
3.17 แสดงแผนภูมิการเผาแคลไซน์สารตัวอย่าง	63
3.18 แสดงการผสมสาร PMMA กับสารตัวอย่าง	64
3.19 แสดงการวางเม็ดสารใน Crucible	65
3.20 แสดงแผนภูมิการเผาซินเตอร์สารตัวอย่าง	66
3.21 แสดงลักษณะของสารก่อนและหลังการซินเตอร์	66
3.22 ก. แสดงแผนภูมิการเผาการเงิน	70
ข. แสดงลักษณะของการทากาการเงินบนเม็ดสาร	70
3.23 แสดงการทดลองสมบัติไดอิเล็กตริกเทียบกับอุณหภูมิ	71
3.24 แสดงการวัดค่า Dielectric Strength	73
3.25 แสดงแผนภูมิการเผา Etching	75
4.1 ก. แสดงลักษณะความแตกต่างของสีของเม็ดสาร	77
ข. แสดงผลของความพรุนต่อสีของเม็ดสาร	77
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shrinkage และ Porosity ของสาร	79
4.3 แสดง Diffraction Pattern ของ $Ba_{1-x}Dy_xTiO_3$	82
ก. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยไม่ได้เจือสาร Dy	
ข. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.2 mol%	
ค. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.4 mol%	
ง. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.6 mol%	
จ. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.8 mol%	
ฉ. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 1.0 mol%	
ช. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 1.2 mol%	
4.4 แสดง Diffraction Pattern ของ $Ba_{1-x}Dy_xTiO_3$ เมื่อความพรุนแตกต่างกัน	87
ก.1 สาร $BaTiO_3$ ที่ไม่ได้เจือสาร Dy ความพรุน 0.0 %	
ก.2 สาร $BaTiO_3$ ที่ไม่ได้เจือสาร Dy ความพรุน 7.35 %	
ก.3 สาร $BaTiO_3$ ที่ไม่ได้เจือสาร Dy ความพรุน 12.17 %	

ก.4 สาร BaTiO ₃ ที่ไม่ได้เจือสาร Dy ความพรุน 19.33 %	
ข.1 สาร BaTiO ₃ ที่เจือสาร Dy 0.6 mol% ความพรุน 0.0 %	
ข.2 สาร BaTiO ₃ ที่เจือสาร Dy 0.6 mol% ความพรุน 6.98 %	
ข.3 สาร BaTiO ₃ ที่เจือสาร Dy 0.6 mol% ความพรุน 12.35 %	
ข.4 สาร BaTiO ₃ ที่เจือสาร Dy 0.6 mol% ความพรุน 18.11 %	
ค.1 สาร BaTiO ₃ ที่เจือสาร Dy 1.2 mol% ความพรุน 0.0 %	
ค.2 สาร BaTiO ₃ ที่เจือสาร Dy 1.2 mol% ความพรุน 7.12 %	
ค.3 สาร BaTiO ₃ ที่เจือสาร Dy 1.2 mol% ความพรุน 14.85 %	
ค.4 สาร BaTiO ₃ ที่เจือสาร Dy 1.2 mol% ความพรุน 20.34 %	
4.5-4.11 กราฟแสดงผลของความพรุนต่อค่า ϵ_r และ $\tan \delta$ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ	94-97
4.12-4.18 กราฟแสดงผลของความพรุนต่อค่า ϵ_r และ $\tan \delta$ เมื่อเทียบกับความถี่	97-100
4.19-4.25 กราฟแสดงผลของความพรุนต่อค่า Dielectric Strength	101-104
4.26 ก-ข แสดง Microstructure ของสาร BaTiO ₃ เจือด้วยสาร Dy ปริมาณต่างๆ	104-107
4.27 ก-ง แสดง Microstructure ของสาร BaTiO ₃ เจือด้วยสาร Dy 0.8 mol% ที่มีความพรุนแตกต่างกัน	108-109
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Dielectric Constant กับ Porosity ที่อุณหภูมิห้องและความถี่ 1 kHz	113
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Dissipation Factor กับ Porosity ที่อุณหภูมิห้องและความถี่ 1 kHz	114
4.30 กราฟแสดงผลของความพรุนต่ออุณหภูมิคูรี (T_c)	114
4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Breakdown Voltage กับ Porosity	116
4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Resistivity กับ Porosity	116
4.33 แสดง Diffraction Pattern ของ BaTiO ₃ บริสุทธิ์	118
ผ.1 แสดง Diffraction Pattern ของสาร BaCO ₃	155
ก. สาร BaCO ₃ บริสุทธิ์ของบริษัท Fluka	
ข. สาร BaCO ₃ จากการ Upgraded	

ผ.2 แสดง Diffraction Pattern ของ $Ba_{1-x}Dy_xTiO_3$

159

- ก. สาร $BaTiO_3$ บริสุทธิ์ของบริษัท Fluka
- ข. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยไม่ได้เจือสาร Dy
- ค. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.2 mol%
- ง. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.4 mol%
- จ. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.6 mol%
- ฉ. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.8 mol%
- ช. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 1.0 mol%
- ซ. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 1.2 mol%

ผ.3 แสดงผลการทดสอบสารด้วย XRF

164

- ก. สาร $BaCO_3$ บริสุทธิ์ของบริษัท Fluka
- ข. สาร $BaCO_3$ ที่เตรียมจาก Upgradation
- ค. สาร $BaTiO_3$ บริสุทธิ์ของบริษัท Fluka
- ง. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยไม่ได้เจือสาร Dy
- จ. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.2 mol%
- ฉ. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.4 mol%
- ช. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.6 mol%
- ซ. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 0.8 mol%
- ณ. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 1.0 mol%
- ญ. สาร $BaTiO_3$ ที่ได้จากการเตรียม โดยเจือสาร Dy 1.2 mol%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved