

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา	1
จุดมุ่งหมายของการศึกษา.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
กระบวนการโซล-เจล (Sol-gel process).....	3
โครงสร้างเพอรอฟสไกต์ (perovskite structure).....	8
เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric).....	9
เฟอร์โรอิเล็กทริก (ferroelectric).....	12
พาราอิเล็กทริก (paraelectric).....	13
สมบัติไดอิเล็กทริก (dielectric properties).....	14
เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer).....	16
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope).....	20
การซินเตอร์(Sintering).....	22
การเตรียมเซรามิกด้วยวิธีการเผาไหม้.....	26
ความหนาแน่น (Density).....	27
ร้อยละความหดตัวเชิงเส้นของสาร (Percentage liner shrinkage).....	28
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	35
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสาร	35
วิธีการทดลอง.....	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	40
ผลการตรวจลักษณะเฉพาะของผงผลึกและเซรามิกสตรอนเชียมไททานเต.....	40
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและโครงสร้างจุลภาคของผงผลึก SrTiO_3	40
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก SrTiO_3	50
ผลวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาซินเตอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	54
ผลการตรวจลักษณะเฉพาะของเซรามิกสตรอนเชียมไททานเต(SrTiO_3) ที่ซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	60
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาซินเตอร์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	60
ผลวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาซินเตอร์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	65
5 บทสรุป.....	71
สรุปผลการตรวจสอบผงผลึกและเซรามิกสตรอนเชียมไททานเต.....	71
บรรณานุกรม.....	73
ประวัติผู้วิจัย.....	78

สารบัญตาราง

ตาราง

หน้า

1	แสดงการเปรียบเทียบร้อยละความบริสุทธิ์และขนาดผลึกของผงผลึก SrTiO_3 ที่แคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	44
2	แสดงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงผลึก SrTiO_3 ที่แคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	49
3	แสดงขนาดเกรนเฉลี่ย ร้อยละความหดตัว และความหนาแน่นของเซรามิก SrTiO_3 ซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	53
4	แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาซินเตอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	59
5	แสดงขนาดเกรนเฉลี่ย ร้อยละความหดตัว และความหนาแน่นของเซรามิก SrTiO_3 ซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	64
6	แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาซินเตอร์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	70

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 โครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์ (ABO_3).....	8
2 แผนภาพการแสดงการแบ่งกลุ่มผลึกของวัสดุ.....	11
3 ปฏิกิริยาการเพียโซอิเล็กทริกในวัสดุแบบตรงและแบบผกผัน.....	12
4 ไดโพลภายในเนื้อสาร โดย(ก) ก่อนทำขั้ว (ข) ขณะทำขั้ว (ค) หลังการทำขั้ว....	12
5 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า (E) กับโพลาไรเซชัน (P) ของสาร เฟอร์โรอิเล็กทริก.....	13
6 วงรอบฮิสเทอรีซิสระหว่างโพลาไรเซชันกับสนามไฟฟ้าใน (ก) สารแอนติ เฟอร์โรอิเล็กทริก (ข) สารพาราอิเล็กทริก.....	14
7 ตัวเก็บประจุชนิดแผ่นขนาน (parallel-plate capacitor).....	15
8 ตัวเก็บประจุชนิดแผ่นขนานที่มีสารไดอิเล็กทริกอยู่ตรงกลาง.....	15
9 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer).....	16
10 แบบจำลองสำหรับการพิสูจน์กฎของแบรกก์.....	18
11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)	20
12 พฤติกรรมการขึ้นเตอรแบบสถานะของแข็งต่างๆ ไปในรูปของความสัมพันธ์ ระหว่างความหนาแน่นกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผา.....	22
13 พัฒนาการของโครงสร้างจุลภาคของผลึกที่เกิดจากการขึ้นเตอรแบบสถานะ ของแข็ง(a) อนุภาคฝังยัดกันอยู่แบบหลวมๆหลังการอัดขึ้นรูป (b) การ ขึ้นเตอรช่วงเริ่มต้น (c)การขึ้นเตอรช่วงกลาง และ (d) การขึ้นเตอรช่วง สุดท้าย.....	23
14 การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการการเผาไหม้.....	26
15 ภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมผงผลึกสตรอนเทียมไททาเนต.....	29
16 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของผงผลึกสตรอนเทียมไททาเนตจากการ แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 400°C.....	30
17 โครงสร้างทางกายภาพของผงผลึกสตรอนเทียมไททาเนตจากการแคลไซน์ที่ อุณหภูมิ400°C.....	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
18 ผลการวิเคราะห์เชิงความร้อนของผงซิลิโคนเชื่อมไททานิค.....	33
19 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของผงผลึกซิลิโคนเชื่อมไททานิคที่แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 600-800°C.....	33
20 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของผงผลึกซิลิโคนเชื่อมไททานิคจากการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ (a) 600°C (b) 700°C และ (c) 800°C.....	34
21 แผนผังการสังเคราะห์ผงผลึกซิลิโคนเชื่อมไททานิค.....	38
22 แผนผังการสังเคราะห์เซรามิกซิลิโคนเชื่อมไททานิค.....	39
23 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึก SrTiO_3 แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500-900°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้กรดซิดริกเป็นสารเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน 1:1.....	41
24 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึก SrTiO_3 แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500-900°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้กรดซิดริกเป็นสารเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน 1:2.....	42
25 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึก SrTiO_3 แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500-900°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้กรดซิดริกเป็นสารเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน 1:3.....	43
26 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผงผลึก SrTiO_3 ที่แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยใช้กรดซิดริกเป็นสารเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน 1 : 1 (ก) กำลังขยาย 7 , 0 0 0 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	45
27 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผงผลึก SrTiO_3 ที่แคลไซน์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้กรดซิดริกเป็นสารเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ (ก) 600°C (ข) 700°C (ค) 800°C และ (ง) 900°C.....	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
28 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผงผลึก SrTiO_3 ที่แคลไซน์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้กรดซิดริกเป็นสารเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน 1:2 ที่อุณหภูมิ (ก) 600°C (ข) 700°C (ค) 800°C และ (ง) 900°C	47
29 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผงผลึก SrTiO_3 ที่แคลไซน์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้กรดซิดริกเป็นสารเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน 1:3 ที่อุณหภูมิ (ก) 600°C (ข) 700°C (ค) 800°C และ (ง) 900°C	48
30 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของผงผลึก SrTiO_3 ที่แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้กรดซิดริกเป็นสารเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน 1:2 (ก) กำลังขยาย 235000 เท่า (ข) กำลังขยาย 360000 เท่า.....	49
31 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก SrTiO_3 ซินเตอร์ที่อุณหภูมิ $900-1300^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	51
32 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณผิวหน้าของเซรามิก SrTiO_3 ซินเตอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ (ก) 900°C (ข) 1000°C (ค) 1100°C (ง) 1200°C และ (จ) 1300°C	52
33 (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาซินเตอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่ความถี่ 1KHz.....	55
34 (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาซินเตอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่ความถี่ 10KHz	56
35 (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาซินเตอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่ความถี่ 100KHz	57
36 (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาซินเตอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่ความถี่ต่างๆ.....	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
37 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก SrTiO_3 ชินเตอร์ที่อุณหภูมิ 900-1300°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	61
38 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณผิวหน้าของเซรามิก SrTiO_3 ชินเตอร์เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ (ก) 900°C (ข) 1000°C (ค) 1100°C (ง) 1200°C และ (จ) 1300°C.....	62
39 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณรอยหักของเซรามิก SrTiO_3 ชินเตอร์เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ (ก) 900°C (ข) 1000°C (ค) 1100°C (ง) 1200°C และ (จ) 1300°C.....	63
40 (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาชินเตอร์เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่ความถี่ 1KHz	66
41 (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาชินเตอร์เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่ความถี่ 10KHz	67
42 (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาชินเตอร์เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่ความถี่ 100KHz	68
43 (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกของเซรามิก SrTiO_3 ที่เผาชินเตอร์เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่ความถี่ต่างๆ.....	69