

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ฅ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฒ
บทที่1 บทนำ	1
บทที่2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การเตรียมแผงแสงกาไซด์เพื่อการสังเคราะห์ผลึก	5
2.2 โครงสร้างผลึกแสงกาไซด์	6
2.3 ค่าพารามิเตอร์	10
2.4 สมบัติอื่นๆ	10
2.5 ตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติไดอิเล็กตริก	11
2.5.1 สมบัติไดอิเล็กตริกแปรตามความถี่	11
2.5.1.1 ค่าการสูญเสียแปรตามความถี่	13
2.5.1.2 ค่าอิมพีแดนซ์แปรตามความถี่	14
2.5.2 สมบัติไดอิเล็กตริกแปรตามอุณหภูมิ	15
2.5.2.1 ค่า ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ แปรตามอุณหภูมิ	15
2.5.2.2 สภาพการนำไฟฟ้าแปรตามอุณหภูมิ	17
บทที่3 วิธีการทดลอง	22
3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือ	22
3.2 การเตรียมผงและเซรามิกแสงกาไซด์	24
3.2.1 การซังมวลสารตั้งต้น	24
3.2.2 การผสมสารด้วยลูกบด	25

	หน้า
3.2.3 การแคลไซน์และการหาช่วงอุณหภูมิการแคลไซน์	25
3.2.4 สารช่วยยึดเกาะและการขึ้นรูปเซรามิก	26
3.2.5 การเผาซินเตอร์	28
3.3 การตรวจสอบสารตัวอย่าง	30
3.3.1 การใช้ DTA ตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อน	30
3.3.2 การใช้ XRD ตรวจสอบการเกิดเฟส	31
3.3.3 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ	31
3.3.4 การตรวจสอบขนาดอนุภาค	33
3.3.5 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก	34
3.3.6 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	38
ตอนที่ 1 ผลการตรวจสอบผงแคลไซน์แลงกาไชต์	
4.0 ข้อมูลเบื้องต้น	38
4.1 ผลการทดสอบ DTA	41
4.2 การทดสอบเงื่อนไขการแคลไซน์ครั้งแรก(ทดลองเปลี่ยนอุณหภูมิ)	42
4.3 การทดสอบเงื่อนไขอื่นของการแคลไซน์	47
4.3.1 ทดสอบเปลี่ยนแปลงอัตราการขึ้นลงอุณหภูมิ	48
4.3.2 ทดสอบผสมด้วยน้ำกลั่นแทนเอทิลแอลกอฮอล์	49
4.3.3 ทดสอบผสมสารตั้งต้นโดยอาศัยวิธีการกรองขนาด	50
4.3.4 ทดสอบเปลี่ยนสัดส่วนมวลของสารตั้งต้น	53
4.4 ผลการตรวจสอบขนาดและลักษณะผงแคลไซน์ LGS	60
ตอนที่ 2 ผลการตรวจสอบเซรามิกแลงกาไชต์	
4.5 สมบัติกายภาพของเซรามิก LGS	62
4.5.1 ผลของวิธีเตรียมผงแคลไซน์ที่มีต่อสมบัติกายภาพของเซรามิก LGS	62
4.5.2 ผลของวิธีเตรียมที่มีต่อลักษณะเนื้อสาร	68
4.5.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อลักษณะเนื้อและสมบัติกายภาพของเซรามิก LGS	70

	หน้า
4.6 โครงสร้างจุลภาคของเซรามิก LGS	72
4.6.1 โครงสร้างจุลภาคในช่วง 1300°C–1350°C	74
4.6.2 โครงสร้างจุลภาคในช่วง 1400°C /1–1400°C /2	75
4.7 สมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก LGS	81
4.7.1 อิทธิพลจากระบบภายนอกที่สำคัญ	81
4.7.2 อิทธิพลของตัวกลางผสม(น้ำมันซิลิโคน-อากาศ)ในระบบการวัด	83
4.7.3 อิทธิพลจากสภาพภายในของเซรามิก	84
4.8 ผลการตรวจสอบค่า ϵ_r' , $\tan\delta$, Z_A/d	84
4.8.1 ผลของค่า ϵ_r' , $\tan\delta$, Z_A/d แปรความถี่ของเซรามิก LGS น้ำมันซิลิโคน	85
4.8.2 ผลของค่า ϵ_r' , $\tan\delta$, Z_A/d แปรตามอุณหภูมิของเซรามิก LGS น้ำมันซิลิโคน	97
4.8.3 ผลของค่า ϵ_r' , $\tan\delta$, Z_A/d แปรตามความหนาแน่น ของเซรามิก LGS น้ำมันซิลิโคน	108
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	110
5.1 สรุปกระบวนการเตรียมเซรามิกแลงกาไซด์	110
5.2 สรุปโครงสร้างจุลภาคหลังการซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ	110
5.3 สรุปสมบัติไฟฟ้า ϵ_r' , $\tan\delta$, Z_A/d	111
5.4 ข้อเสนอแนะ	112
เอกสารอ้างอิง	115
ภาคผนวก	119
ภาคผนวก ก ผลเปรียบเทียบการทำให้เซรามิก LGS น้ำมันซิลิโคน	120
ภาคผนวก ข ค่า ϵ_r' และ ค่า $\tan\delta$ ของผลึกและเซรามิก LGS ซึ่งมีอากาศอยู่ในรูพรุน	123
ภาคผนวก ค รายชื่อจาก JCPDS 2000 ที่ใช้ตรวจสอบสารประกอบ ระหว่างธาตุ La, Ga, Si และ O	127
ประวัติผู้เขียน	136

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ค่าคงที่บางส่วนของเซรามิกแลงกาไซด์	10
4.1 %loss การแคลไซน์ที่อุณหภูมิจาก 800°C–1400°C ของ LGS ตามเงื่อนไข 4.2	46
4.2 %loss การแคลไซน์แต่ละอุณหภูมิช่วง 1100°C -1200°C ของ LGS ตามเงื่อนไข 4.2	46
4.3 %loss การแคลไซน์แต่ละอุณหภูมิช่วง 1200°C-1240°C ของ LGS ตามเงื่อนไข 4.3.2	50
4.4 %loss การแคลไซน์ที่ช่วง 800°C–1300°C ของ LGS ตามเงื่อนไข 4.3.4	53
4.5 %loss การแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1300°C-1400°C ของ LGS ตามเงื่อนไข 4.3.4	53
4.6 รายละเอียดในการขึ้นรูปเซรามิก LGS ที่อุณหภูมิห้อง	63
4.7 สมบัติกายภาพของเซรามิก LGS หลังซินเตอร์ 1300°C	64
4.8 สมบัติกายภาพของเซรามิก LGS ซินเตอร์ที่ 1300°C, 1350°C, 1400°C/1, 1400°C/2	70
4.9 ค่าพื้นที่หน้าตัดชั่วคราวเงิน (A) ความหนาชิ้นงาน (d) และสมบัติกายภาพอื่นๆ	84
ผ.1 รายชื่อจาก JCPDS 2000 ที่ใช้ตรวจสอบสารประกอบระหว่างธาตุ La, Ga, Si, O	127

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 โครงสร้างผลึก LGS ในแบบ $A_3BC_3D_2O_{14}$	7
2.2 โครงสร้างผลึก LGS แสดง สายโซ่ พอลิอีตรอล Z10 ,เตตระอีตรอลของ Ga-Si และช่องรวมโบฮีตรอล	8
2.3 ตำแหน่งไอออนของโครงสร้างผลึก $A_3BC_3D_2O_{14}$	9
2.4 ตัวอย่างค่าอิมพีแดนซ์ของไดอิเล็กตริกแปรตามความถี่	14
2.5 ตัวอย่าง ϵ' , $\tan\delta$ ของ เซรามิกไทเทเนียม เซรามิกอลูมินาแปรตามอุณหภูมิ	16
2.6 ตัวอย่างสภาพการนำไฟฟ้ากระแสตรงแปรตามอุณหภูมิ ในสารไดอิเล็กตริก	20
2.7 ตัวอย่างค่าสภาพความต้านทานแปรตามอุณหภูมิในกระแสสลับของแก้ว	21
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือตามข้อ 3.1.26, 3.1.35 และผลึกเชิงเดี่ยว LGS	23
3.2 แผนผังการเตรียมผงและเซรามิกแลงกาไซต์	24
3.3 แผนผังการแคลไซน์	26
3.4 แผนผังการซินเตอร์	29
3.5 กราฟ DTA แบบ ΔT อัตรา $20^\circ\text{C}/\text{นาที}$ ของ สารตั้งต้นผสมของแลงกาไซต์	30
3.6 รูปแบบความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นลักษณะต่างๆของระบบการวัดแบบมีสายหรือขาดต่อ	36
4.1a ขนาดอนุภาค La_2O_3 ตรวจสอบจากเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	38
4.1b ขนาดอนุภาค Ga_2O_3 ตรวจสอบจากเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	39
4.1c ขนาดอนุภาค SiO_2 ตรวจสอบจากเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	39
4.1d ขนาดอนุภาคของสารตั้งต้น $3\text{La}_2\text{O}_3:5\text{Ga}_2\text{O}_3:2\text{SiO}_2$ จากการบดแบบเปียกด้วยลูกบด 24 ซม. ตรวจสอบจากเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	40
4.2 กราฟ DTA ของสารตั้งต้น LGS สารอ้างอิง Al_2O_3 ถ้วยบรรจุเป็นพลาทินัม	41
4.3 ผล XRD ผงแคลไซน์ LGS ตามเงื่อนไข 4.2 บดเผาซ้ำอุณหภูมิสูงขึ้น ในช่วง $800^\circ\text{C} - 1400^\circ\text{C}$	43
4.4 ผล XRD ผงแคลไซน์ LGS ตามเงื่อนไข 4.2 เผาแต่ละอุณหภูมิ ในช่วง $1100^\circ\text{C} - 1200^\circ\text{C}$	44

รูป	หน้า
4.5 ผล XRD ของผงแคลไซต์ LGS ตามเงื่อนไข 4.3.1 ที่ 1200°C, 1400°C	48
4.6 ผล XRD ของผงแคลไซต์ LGS ตามเงื่อนไข 4.3.2 ในช่วง 1200°C-1220°C	49
4.7 ผล XRD ของผงแคลไซต์ LGS บดเผาซ้ำตามเงื่อนไข 4.3.3 ในช่วง 800°C-1300°C	51
4.8 ผล XRD ของผงแคลไซต์ LGS บดเผาซ้ำตามเงื่อนไข 4.3.3 ในช่วง 1300°C -1400°C	52
4.9 ผล XRD การแคลไซต์ ของสารตั้งต้นผสมจากการคัดขนาดที่ 1300°C	52
4.10 ผล XRD ของวิธีการผสมสารตั้งต้น LGS มวลรวม 1.25 g แคลไซต์ที่ 1200°C	54
4.11 ตัวอย่างผล XRD ผงแคลไซต์ LGS ที่สัดส่วนมวล $\text{La}_2\text{O}_3:\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2=56:38:6$	55
4.12 ตารางสามเหลี่ยมระบุสัดส่วนที่มีการทดสอบแปรสัดส่วนมวล La_2O_3 , Ga_2O_3 , SiO_2	56
4.13 สัดส่วนพื้นที่ได้พิกความเข้มสูงสุดสัมพัทธ์ของ $\frac{\text{LaGaO}_3}{\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}}$	56
4.14 สัดส่วนพื้นที่ได้พิกความเข้มสูงสุดสัมพัทธ์ของ $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Ga}_2\text{O}_3}$	57
4.15 %loss จากการแคลไซต์ที่ 1200°C ตามเงื่อนไขการเปลี่ยนสัดส่วนมวล	58
4.16 %loss จากการแคลไซต์ที่ 1200°C กับสัดส่วนมวลตั้งต้น La_2O_3	59
4.17 ผงแคลไซต์ของ LGS ที่ 1200°C แท้ 4.30 ซม อัตราการขึ้นลงอุณหภูมิ 3°C/ นาที	60
4.18 ขนาดของผงแคลไซต์ LGS ตรวจสอบจากเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	61
4.19 เซรามิก LGS ซินเตอร์ 1300°C	62
4.20 %loss, %S _p เทียบกับ %p ของเซรามิก LGS ซินเตอร์ 1300°C	65
4.21 %p เทียบกับ %S _{vol} ของเซรามิก LGS ซินเตอร์ 1300°C	66
4.22 a ลักษณะเนื้อเซรามิกที่เตรียมจากการปั่นผสมจนแห้ง	68
4.22 b จุดเกาะตัวขนาดใหญ่ที่ปรากฏในเนื้อเซรามิก	68
4.23 a ลักษณะเนื้อเซรามิกที่เตรียมจากการบดผสมมีรูพรุนปิดขนาดใหญ่	69
4.23 b บริเวณที่มีรูพรุนอย่างต่อเนื่องเห็นได้จากรอยหัก	69
4.24 %loss เทียบกับอุณหภูมิ และ %p เทียบกับอุณหภูมิ	71
4.25 ผิวดัดของเนื้อเซรามิกจากกล้องจุลทรรศน์ของการเตรียมสองแบบที่อุณหภูมิต่างๆ	72
4.26 โครงสร้างจุลภาคของเซรามิก LGS ซินเตอร์ 1300°C และ 1350°C	74
4.27 โครงสร้างจุลภาคของเซรามิก LGS ซินเตอร์ 1400°C/1 และ 1400°C/2	75

รูป	หน้า
4.28 โครงสร้างจุลภาคเซรามิก LGS ชินเตอร์ 1400°C/2	76
4.29 ผล EDS เซรามิกชินเตอร์ 1400°C/2 เฉพาะจุด	78
4.30 ผล EDS เซรามิกชินเตอร์ 1400°C/2 แบบกวาดบนผิว	79
4.31 ผล XRD ผิว as-sintered ของเซรามิกชินเตอร์ซ้ำจนถึง 1400°C/2	80
4.32 ค่า $\tan\delta$ ของเซรามิก LGS no.01 ก่อนอบน้ำมันซิลิโคน แปรตามความถี่	82
4.33 ความแตกต่างของค่า C ระหว่างการวัดในอากาศกับในน้ำมันซิลิโคน	83
4.34 ϵ_r' แปรตามความถี่ของผลึก LGS,เซรามิก no.6,12,13	88
4.35 ϵ_r' แปรตามความถี่ของ no.10,4,5,8	89
4.36 ϵ_r' แปรตามความถี่ของ no. 3,2,01	90
4.37 $\tan\delta$ แปรตามความถี่ของผลึก LGS,เซรามิก no.6,12,13	91
4.38 $\tan\delta$ แปรตามความถี่ของเซรามิก no.10,4,5,8	92
4.39 $\tan\delta$ แปรตามความถี่ของเซรามิก no.3,2,01	93
4.40 ZA/d แปรตามความถี่ของผลึก LGS,เซรามิก no.6,12,13	94
4.41 ZA/d แปรตามความถี่ของเซรามิก no.10,4,5,8	95
4.42 ZA/d แปรตามความถี่ของเซรามิก no.3,2,01	96
4.43 ϵ_r' แปรตามอุณหภูมิของผลึก LGS,เซรามิก no.6,12,13	99
4.44 ϵ_r' แปรตามอุณหภูมิของเซรามิก no.10,4,5,8	100
4.45 ϵ_r' แปรตามอุณหภูมิของเซรามิก no.3,2	101
4.46 $\tan\delta$ แปรตามอุณหภูมิของผลึก LGS,เซรามิก no.6,12,13	102
4.47 $\tan\delta$ แปรตามอุณหภูมิของเซรามิก no.10,4,5,8	103
4.48 $\tan\delta$ แปรตามอุณหภูมิของเซรามิก no.3,2	104
4.49 ZA/d แปรตามอุณหภูมิของผลึก LGS,เซรามิก no.6,12,13	105
4.50 ZA/d แปรตามอุณหภูมิของเซรามิก no.10,4,5,8	106
4.51 ZA/d แปรตามอุณหภูมิของเซรามิก no.3,2	107
4.52 ϵ_r' , $\tan\delta$, ZA/d แปรตาม%ρ ที่ความถี่ 1kHz	109
ผ.1 ϵ_r' , $\tan\delta$, ZA/d ของผลึก LGS และเซรามิก no.8 ในอากาศ ก่อนทำให้ฉีมน้ำมันซิลิโคน	120

รูป	หน้า
ผ.2 $\epsilon_r', \tan\delta, Z_A/d$ ของผลึก LGS ,เซรามิก no.8 แปรตามอุณหภูมิ ในน้ำมันซิลิโคนครั้งแรก	121
ผ.3 $\epsilon_r', \tan\delta, Z_A/d$ ของผลึก LGS ,เซรามิก no.8 แปรตามความถี่ในอากาศ เมื่อมีสภาพอ้อมน้ำมันซิลิโคน	122
ผ.4 ϵ_r' ของเซรามิก no.10, 8 , 01 แปรตามความถี่โดยมีอากาศในรูพรุน	123
ผ.5 ϵ_r' ของผลึก LGS ,เซรามิก no.6, 12 , 13 แปรตามความถี่โดยมีอากาศในรูพรุน	124
ผ.6 $\tan\delta$ ของเซรามิก no.10, 8 , 01 แปรตามความถี่โดยมีอากาศในรูพรุน	125
ผ.7 $\tan\delta$ ของผลึก LGS,เซรามิก no.6, 12, 13 แปรตามความถี่ โดยมีอากาศในรูพรุน	126

อักษรย่อและสัญลักษณ์

A	พื้นที่
BAW	Bulk Acoustic Wave
C	ความจุไฟฟ้า
C'	ความจุไฟฟ้าเชิงซ้อน
Const	ค่าคงที่ใดๆ
CZ	Czochralski technique
d	ความหนา ,ระยะระหว่างระนาบอะตอม(d-spacing)
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง
DTA	Differential Thermal Analysis
E	พลังงาน
E	สนามไฟฟ้า
EDS	Energy Dispersive (X-ray) Spectroscopy
G	การนำไฟฟ้า
G	ตัวเลขบอกขนาดเกรนของ ASTM
k	ค่าคงที่โบลซ์มานน์
k ²	ค่าคัปปลิงกล-ไฟฟ้า
K	ค่าคงที่ใดๆ
<i>l</i>	ช่วงตัดเกรนเฉลี่ย
LGN	แลงกาไนต์ Langanite(La ₃ Ga _{5.5} Nb _{0.5} O ₁₄)
LGS	แลงกาไซด์ Langasite(La ₃ Ga ₅ SiO ₁₄)
LGT	แลงกาเตต Langatate(La ₃ Ga _{5.5} Ta _{0.5} O ₁₄)
m	มวล
P	ความพูน
P	การโพลาไรซ์
PVA	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์(CH ₃ CHOH)
r	รัศมี

R	ความต้านทานไฟฟ้า
S_D	การหดตัวเชิงเส้นในแนวรัศมี
S_{vol}	การหดตัวทั้งปริมาตร
SAW	Surface Acoustic Wave
SEM	Scanning Electron Microscope
t	เวลา
T	อุณหภูมิ
$\tan\delta$	loss tangent
TCF	Temperature Compensation of Frequency
V	ปริมาตร
XRD	X-Ray Diffraction
z	เลขอะตอม
$Z, Z $	ขนาดอิมพีแดนซ์
Z'	อิมพีแดนซ์เชิงซ้อน
α	ค่าพารามิเตอร์ในสมการ Cole-Cole
$\alpha_{j,s,o,i,e}$	ความสามารถในการเกิดโพลาไรซ์(polarizability)ที่ย่าน j,s,o,i,e
α_p	สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน
ϵ'	สภาพยอมทางไฟฟ้า(permittivity)เชิงซ้อน
ϵ, ϵ'	ส่วนจริงของสภาพยอมทางไฟฟ้า
ϵ''	ค่าประกอบการสูญเสีย(loss factor)
μ	สภาพการเคลื่อนที่ได้(mobility)
ρ	ความหนาแน่น ,สภาพต้านทานไฟฟ้า
σ	สภาพการนำไฟฟ้า
τ	ค่าคงที่เวลา
ν	สัดส่วน(fraction)ของเฟส
ϖ	ความถี่เชิงมุม
$\S$	ตรวจสอบทุกพิกัดแต่ระบุเพียงบางพิกัด