

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ธรรมชาติของกลาส	5
2.2 โครงสร้างของกลาส	6
2.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของกลาส	12
2.3.1 กลไกการนำไฟฟ้าของไอออนในผลึก	12
2.3.1.1 แบบจำลองของกระบวนการนำไฟฟ้าในผลึกไอออนิก	14
2.3.1.2 เปรียบเทียบกับผลการทดลอง	17
2.3.1.3 เปรียบเทียบการนำไฟฟ้าในผลึกกับกลาส	18
2.3.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสภาพต้านทาน	19
2.3.3 ผลขององค์ประกอบและอัตราการเย็นตัวของกลาสในกลาส ที่มีต่อสภาพต้านทาน	20
2.3.4 การวัดสภาพต้านทาน	22
บทที่ 3 วัดคุณสมบัติและวิธีทดลอง	24
3.1 วัดคุณสมบัติที่ใช้ในการทดลอง	24
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	24
3.1.2 อุปกรณ์ในการทดลอง	24
3.2 วิธีเตรียมเตาเผาสารและการจัดชุดอุปกรณ์การทดลอง	25

3.2.1	วิธีเตรียมเตาเผาสาร	25
3.2.2	วิธีจัดอุปกรณ์ชุดการทดลอง	31
3.3	วิธีการทดลอง	34
3.2.1	วิธีเตรียมสารตัวอย่างให้เป็นกลาส	34
3.3.2	วิธีการหาค่าพลังงานกระตุ้นในกลาส	36
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	37
4.1	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองชุดที่ 1	37
4.1.1	การเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่างชุดที่ 1 เมื่อให้ความร้อน อย่างต่อเนือง	37
4.1.2	การหาค่าพลังงานกระตุ้น	45
4.2	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองชุดที่ 2	48
4.2.1	การเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่างชุดที่ 2 เมื่อให้ความร้อน อย่างต่อเนือง	48
4.2.2	การหาค่าพลังงานกระตุ้น	52
4.3	เปรียบเทียบผลการทดลอง	56
4.3.1	เปรียบเทียบผลการทดลองของสารตัวอย่างทั้ง 2 ชุด	56
4.3.2	เปรียบเทียบลักษณะของกลาสตัวอย่างทั้ง 2 ชุด	57
4.3.3	เปรียบเทียบกราฟระหว่าง $\ln R$ กับ $1/T$ ของกลาสตัวอย่างทั้ง 2 ชุด	57
4.3.4	เปรียบเทียบพลังงานกระตุ้นของกลาสตัวอย่างทั้ง 2 ชุด	60
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	63
5.1	สรุปผลการทดลอง	63
5.2	วิจารณ์ผลการทดลอง	65
5.3	ข้อเสนอแนะ	68
ภาคผนวก		69
เอกสารอ้างอิง		78
ประวัติการศึกษา		79

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงอัตราส่วนของ O/Si กับจำนวนพันธะของ O-Si ที่เป็นตัวเชื่อมระหว่าง โพลีซิลิคอนต่ออะตอมของซิลิกอน	10
3.1 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาตรภายในเตากับกำลังงานที่ต้องใช้	25
3.2 แสดงอัตราส่วนการผสมสาร % โดยน้ำหนักของชุดสารตัวอย่าง	34
3.3 แสดงการกำหนดอัตราการลดอุณหภูมิของแต่ละชุดสารตัวอย่าง	35
4.1 แสดงความต้านทานของชุดสารตัวอย่าง A และ B ที่เปลี่ยนแปลง ตามอุณหภูมิ	69
4.2 แสดงความต้านทานวัดครั้งที่ 2 และ 3 ของชุดสารตัวอย่าง A ที่เปลี่ยนแปลง ตามอุณหภูมิ	71
4.3 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชุดสารตัวอย่าง เมื่อให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง	41
4.4 แสดงความต้านทานของกลาส A และ B ที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ	73
4.5 แสดงพลังงานกระตุ้นของกลาส A และ B	47
4.6 แสดงความต้านทานของชุดสารตัวอย่าง C D E F G และ H ที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ	74
4.7 แสดงความต้านทานของกลาส C D E F G และ H ที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ	76
4.8 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของกลาส C D E F G และ H ที่มีองค์ประกอบ ในอัตราส่วนต่างกัน	52
4.9 แสดงการเปรียบเทียบความต้านทานที่ลดต่ำของชุดสารตัวอย่าง ทั้ง 2 ช่วง	56
4.10 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของกลาส ซึ่งมีองค์ประกอบในอัตราส่วนต่างกัน	58
4.11 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานกระตุ้นในกลาสที่มีองค์ประกอบ ในอัตราส่วนต่างกัน	60

## สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในคริสโตบาไลต์ของซิลิกาซึ่งเป็นวัสดุผลึกซิลิกาเจล และกลาสแบบซิลิกาซึ่งเป็นวัสดุอสัณฐาน	4
2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของภาวะของเหลว ของผลึกและกลาส	6
2.3 แสดงการจัดเรียงตัวเป็นปริมาตรสามเหลี่ยม ของ $\text{SiO}_4$ ซึ่งเป็นผลึก	7
2.4 แสดงการจัดเรียงตัวใน 3 มิติของ $\text{SiO}_4$ ที่เป็นกลาส	8
2.5 แสดงการจัดเรียงตัว $\text{SiO}_4$	
(ก) แบบเป็นระเบียบซึ่งเป็นผลึก	
(ข) แบบโครงสร้างเครือข่ายแบบอิสระ ซึ่งเป็นกลาส	8
2.6 แสดงลักษณะ 2 มิติ ของโครงสร้างเครือข่าย ที่มีการเติมอัลคาไลไนโอออน	9
2.7 แสดงจำนวนพันธะระหว่างออกซิเจนกับซิลิกอนที่เชื่อมระหว่างโพลีอีตรอนลดลง เมื่อมีการเพิ่มจำนวนของตัวเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเครือข่าย	10
2.8 แสดงเลดไอออนเป็นส่วนหนึ่งในโครงสร้างเครือข่าย โดยสามารถมีพันธะกับออกซิเจนไอออน	11
2.9 แสดงการเกิดคู่ของ ไอออนแทรก - โฮลในผลึก	13
2.10 แสดง (ก) พลังงานศักย์ของไอออนแทรกในตำแหน่งต่างๆในผลึก	
(ข) พลังงานศักย์ของไอออนแทรกเมื่อมีสนามไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง	14
2.11 แสดงพลังงานศักย์ของไอออนที่เคลื่อนที่ในตำแหน่งต่างๆในกลาส	18
2.12 แสดงกราฟระหว่าง $\ln \rho$ กับ $1/T$ ในกลาสชนิดต่างๆ	19
2.13 แสดงความต้านทานของกลาสที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอัลคาไลไนโอออน	20
2.14 แสดงอัตราการเย็นตัวของภาวะของเหลวที่มีผลต่อความต้านทาน	21
2.15 แสดงผลของความเข้มข้นขององค์ประกอบที่มีต่อค่าพลังงานกระตุ้นในซิลิเกตกลาส	21

2.16	แสดงการนำไฟฟ้าจากการไหลาไรซ์เซชันที่เกิดขึ้นในกลาส ที่มีองค์ประกอบเป็นพวกออกไซด์	23
3.1	แสดงภาพอิฐทนไฟที่ตัดแต่งแล้ว	25
3.2	แสดงภาพลักษณะการเซาะร่องอิฐทนไฟ	26
3.3	แสดงภาพผนังเตาด้านล่างที่ตัดแต่งแล้ว	26
3.4	แสดงลักษณะการเรียงอิฐทนไฟที่ตัดแต่งแล้ว เพื่อประกอบเป็นผนังเตา	27
3.5	แสดงลักษณะการพันเกลียวของขดลวด	28
3.6	แสดงลักษณะการเรียงขดลวดในร่องอิฐทนไฟ	28
3.7	แสดงลักษณะของฝาเตา โดยเจาะรูที่ด้านบนของฝาเตาเพื่อบรรจุเทอร์โมคัพเบิล	29
3.8	แสดงลักษณะการจัดเรียงส่วนประกอบของเตา	30
3.9	แสดงแผนภาพการจัดอุปกรณ์ชุดการทดลอง	31
3.10	แสดงชุดอุปกรณ์การทดลอง	31
3.11	แสดงแผนภาพวงจรควบคุมอุณหภูมิ	32
4.1	แสดงกราฟระหว่างความต้านทานของชุดสารตัวอย่าง A และ B กับอุณหภูมิ	39
4.2	แสดงกราฟระหว่างความต้านทานวัดครั้งที่ 2 และ 3 ของชุดสารตัวอย่าง A กับอุณหภูมิ	40
4.3	แสดงผลการวิเคราะห์ DTATG ของชุดสารตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีองค์ประกอบเป็น $\text{SiO}_2$ 45.5 % $\text{PbO}$ 38.5 % และ $\text{K}_2\text{CO}_3$ 16 % โดยน้ำหนัก	42
4.4	แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่างที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ (ก) $660\text{ C}^\circ$ (ข) $700\text{ C}^\circ$ (ค) $860\text{ C}^\circ$ (ง) $960\text{ C}^\circ$ (จ) $1100\text{ C}^\circ$	45
4.5	แสดงกราฟระหว่าง $\ln R$ กับ $1/T$ ของกลาส A และ B	46
4.6	แสดงกราฟระหว่างความต้านทานของชุดสารตัวอย่าง C D E กับอุณหภูมิ	49
4.7	แสดงกราฟระหว่างความต้านทานของชุดสารตัวอย่าง F G H กับอุณหภูมิ	51
4.8	แสดงกราฟระหว่าง $\ln R$ กับ $1/T$ ของกลาส C D E	53
4.9	แสดงกราฟระหว่าง $\ln R$ กับ $1/T$ ของกลาส F G H	54
4.10	แสดงกราฟระหว่าง $\ln R$ กับ $1/T$ ของกลาสในอัตราส่วนต่างๆ	59

- 4.11 แสดงกราฟระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นของกลาส กับ PbO % โดยน้ำหนัก  
ที่เปลี่ยนไป 61
- 4.12 แสดงกราฟระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นของกลาส กับ K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> % โดย น้ำหนัก  
ที่เปลี่ยนไป 61

## อักษรย่อและสัญลักษณ์

DTA	differential thermal analysis
TG	thermo gravimetry
$T_m$	จุดหลอมเหลว
$T_g$	อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากของเหลวเป็นของแข็ง
$A$	ค่าคงที่ขึ้นกับประจุที่อยู่บนไอออนที่เคลื่อนที่ ความถี่ในการสั่นและระยะกระโดด
$A_0$	ค่าคงที่
$a^2$	พื้นที่หน้าตัด
$B$	ฟังก์ชันของอุณหภูมิ ซึ่งขึ้นกับระบบที่ต้องพิจารณา
$C$	ค่าคงที่
$d$	ระยะห่างของตำแหน่ง
$D$	ค่าคงที่
$\bar{E}$	สนามไฟฟ้า
$E_F$	สนามไฟฟ้าที่ให้เข้าไป
$E$	พลังงานของไอออน
$E$	พลังงานกระตุ้น
$I$	กระแสไฟฟ้า
$k$	ค่าคงที่ Boltzman
$l$	ความยาวใน 1 มิติ
$n$	จำนวนไอออนต่อป้อนพลังงานศักย์
$n_v$	จำนวนไอออนแทรกต่อปริมาตร
$Q$	จำนวนประจุ
$q$	ประจุบนไอออน
$R$	ความต้านทาน
$T$	อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

$t$	เวลาในหน่วยวินาที
$V$	ความต่างศักย์
$v$	ความถี่ของการสั่นของไอออน
$\rho$	สภาพต้านทาน
$\phi$	พลังงานกระตุ้นสำหรับการกระโดดข้ามกำแพงศักย์
$\gamma$	พลังงานกระตุ้นสำหรับการเคลื่อนที่ไปแทรกระหว่างไอออน