สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	5
2.1 การเกิดแก้ว	7
2.2 สมมุติฐานการเกิดแก้วในระดับอะตอม	9
2.2.1 สมมุติฐานอัตราส่วนรัศมีอะตอมของ Goldschmidt	13
2.2.2 สมมุติฐานโครงสร้างแบบสุ่มของ Zachariasen	14
2.2.3 สมมุติฐานการผสมพันธะของ Smekal	16
2.2.4 สมมุติฐานความแข็งแรงพันธะของ Sun	16
2.3 กลไกการเกิดเป็นแก้ว	18
2.4 สมบัติทางฟิสิกส์ของแก้ว	24
2.4.1 ความหนาแน่น	24
2.4.2 สมบัติทางแสง	25
2.4.2.1 แบบจำลองการอธิบายตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางแสง	26
2.4.2.2 ดรรชนีหักเหและการกระจายแสงของแก้ว	32
2.4.2.3 การสะท้อนและการหักเห	33
2.4.2.4 การดูดกลืนและการทะลุผ่าน	34
2.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเหและความหนาแน่น	35

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	37
3.1 สารตั้งต้น	37
3.1.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี	38
3.1.2 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่	40
3.2 การเตรียมตัวอย่างแก้ว	41
3.2.1 การเตรียมส่วนผสมผงแห้ง	41
3.2.2 การหลอมส่วนผสมของสารตั้งต้น	44
3.3 การตรวจสอบสมบัติตัวอย่างแก้ว	44
3.3.1 การหาความหนาแน่น	44
3.3.2 การหาดรรชนีหักเห	45
3.3.3 การวิเคราะห์ผลของความร้อนที่มีต่อตัวอย่างแก้วด้วย DTA	47
3.3.4 การหาค่าคงที่ไดอิเลคตริกสัมพัทธ์	48
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	50
4.1 ผลการทดลอง	50
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี	50
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่	52
4.1.3 ผลการทดลองแสดงลักษณะการหลอมของส่วนผสม	54
4.1.4 ผลการหาความหนาแน่น	57
4.1.5 ผลการหาดรรชนีหักเห	58
4.1.6 ผลการวิเคราะห์ด้วย DTA	60
4.1.7 ผลการหาค่าคงที่ไดอิเลคตริกสัมพัทธ์	64
4.2 อภิปรายผล	65
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	75
5.1 สรุป	75
5.2 ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารอ้างอิง	78
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก รายละเอียดข้อกำหนดทางวัตถุดิบ	81
ภาคผนวก ข การกระจายขนาดอนุภาค	104
ประวัติผู้เขียน	105

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมแก้ว	2
2.1	ส่วนประกอบทางเคมี สมบัติและการนำไปประยุกต์ใช้งานของแก้ว	6
2.2	แสดงเลขโคออดิเนตและความแข็งแรงพันธะของสารประกอบออกไซด์	11
2.3	แสดงอัตราส่วนของรัศมีอะตอม (R_A/R_O) ของรูปทรง	14
2.4	แสดงค่าความแข็งแรงพันธะของโลหะออกไซด์	17
3.1	สารตั้งต้นที่นำมาใช้เตรียมแก้วระบบเลคอัลคาไลซิลิเกต	38
3.2	ร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมสารตั้งต้น	43
4.1	แสดงผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของสารตั้งต้น	51
4.2	การเปรียบค่า d - spacing ของ SiO_2 Silica HP กากดิน และ JCPDS File No.5-0490 (α - quartz)	53
4.3	ความหนาแน่นของตัวอย่างแก้ว	57
4.4	ดรรชนีหักเหของตัวอย่างแก้วชุดการทดลอง PKS	58
4.5	ดรรชนีหักเหของตัวอย่างแก้วชุดการทดลอง PKHP	59
4.6	ดรรชนีหักเหของตัวอย่างแก้วชุดการทดลอง PKWS	59
4.7	แสดงค่า d - spacing 4 ค่าหลัก จาก JCPDS File No.7-42 และ JCPDS File No.4-451	65
4.8	แสดง T_c ของผงแก้วจากการวิเคราะห์ด้วย DTA	73

สารบาญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	Specific volume – temperature diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะที่เป็นของเหลว แก้ว และผลึกที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ	7
2.2	Specific volume – temperature diagram แสดงการเกิดแก้ว	8
2.3	โครงสร้างผลึกของ Cristobalite (SiO_2)	10
2.4	การสร้างพันธะของ Al_2O_3 และ PbOใน SiO_2 network	12
2.5	โครงสร้าง (2 มิติ) ของ SiO_2 network	15
2.6	Isothermal TTT diagram	23
2.7	การสะท้อนและการทะลุผ่านของแสงจากแผ่นวัตถุ	26
2.8	สนามไฟฟ้าภายนอก (Applied field)	27
2.9	การเปลี่ยนแปลงของดรรชนีหักเห ณ บริเวณใกล้ๆ กับ Absorption band	30
2.10	ลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงดรรชนีหักเหและการดูดกลืนที่เป็นฟังก์ชันกับความถี่	31
2.11	การเปลี่ยนแปลงของดรรชนีหักเหของแก้วในช่วงความยาวคลื่นของ Visible light	32
3.1	การสะท้อนจากระนาบอะตอมที่ขนานกันห่างกันเป็นระยะ d	40
3.2	แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมในระบบ $PbO - K_2O - X$	42
3.3	แสดงลำแสงซึ่งตกกระทบบริเวณรอยต่อระหว่าง Lead glass prism และตัวอย่าง	46
3.4	กราฟ DTA แสดง T_g T_c และ T_m	47
3.5	แสดงแผนผังการทดลอง	49
4.1	แสดงการเปรียบเทียบ X-ray diffraction pattern ของ SiO_2 Silica HP และกากดิน	52
4.2	ลักษณะการหลอมตัวของส่วนผสมในชุดการทดลอง PKS หลังจากทำการเผาที่ 1100 ^{0}ซ และรักษาอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง	54

รูปที่ หน้า

4.3	ลักษณะการหลอมตัวของส่วนผสมในชุดการทดลอง PKHP หลังจากทำการเผาที่ 1100 ^{0}ซ และรักษาอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง	55
4.4	ลักษณะการหลอมตัวของส่วนผสมในชุดการทดลอง PKWS หลังจากทำการเผาที่ 1100 ^{0}ซ และรักษาอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง	56
4.5	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผงแก้ว PKS 3 ด้วย DTA	60
4.6	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผงแก้ว PKS 7 ด้วย DTA	60
4.7	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผงแก้ว PKS 9 ด้วย DTA	61
4.8	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผงแก้ว PKHP 3 ด้วย DTA	61
4.9	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผงแก้ว PKHP 7 ด้วย DTA	62
4.10	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผงแก้ว PKHP 9 ด้วย DTA	62
4.11	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผงแก้ว PKWS 3 ด้วย DTA	63
4.12	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผงแก้ว PKWS 7 ด้วย DTA	63
4.13	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผงแก้ว PKWS 9 ด้วย DTA	64
4.14	ค่าคงที่ไดอิเลคตริกสัมพัทธ์ของตัวอย่างแก้วเทียบกับความถี่	64
4.15	แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงบริเวณที่เป็นแก้วไม่เสถียรและแก้วเสถียร	67
4.16	การเปรียบเทียบข้อมูลของความหนาแน่นที่วัดได้และจากการคำนวณ	68
4.17	การเปรียบเทียบข้อมูลของดรรชนีหักเหที่วัดได้และจากการคำนวณ	69
4.18	รูปถ่ายผงแก้ว PKS 7 จากกล้องจุลทรรศน์	71
4.19	รูปถ่ายผงแก้ว PKWS 3 จากกล้องจุลทรรศน์	72

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

อักษรย่อและสัญญลักษณ์

a	ค่าคงที่ใน Johnson-Mehl-Avrami Equation
a_0	ระยะห่างระหว่างอะตอม
A	ค่าคงที่สำหรับโมเดลที่ใช้วิเคราะห์ Surface nucleation growth
A	พื้นที่ผิวที่เป็นขั้วไฟฟ้า
C	ความจุไฟฟ้า
CCR	อัตราการเย็นตัววิกฤต
d	ความหนาของตัวอย่าง
d	ค่า d – spacing ของ Bragg
E	สนามไฟฟ้า
E	Young 's modulus
E_k	พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเลคตรอนใน K - shell
E_l	พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเลคตรอนใน L - shell
E_m	พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเลคตรอนใน M - shell
f	สัดส่วนของบริเวณที่เจริญเติบโตบนผิวรอยต่อ
G_i	พลังงานสลายพันธะต่อหน่วยปริมาตรของส่วนประกอบที่ i
ΔG	การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระเนื่องจากกระบวนการตกผลึก
ΔG^*	การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระในการเกิดเอมบริโอขนาดวิกฤต
ΔG_m	การเปลี่ยนแปลงพลังงานกระตุ้นเมื่ออะตอมเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างนิวเคลียสกับเมตริกซ์
I	ความเข้มแสงตกกระทบ
I_0	ความเข้มแสงทะลุผ่าน
I_υ	อัตราการเกิดนิวเคลียส
k	ค่าคงที่ของ Boltzmann
k	ดรรชนีการดูดกลืน
M	Molar volume

M_i มวลโมเลกุลของส่วนประกอบที่ i

n ดรรชนีหักเห

n ค่าคงที่ Avrami

n^* สัมประสิทธิ์การหักเห

n_i ดรรชนีหักเหส่วนประกอบที่ i

n_0 จำนวนอะตอม โมเลกุลต่อหน่วยปริมาตร

n_C ดรรชนีหักเหเมื่อวัดที่ความยาวคลื่น 6563 อังสตรอม

n_D ดรรชนีหักเหเมื่อวัดที่ความยาวคลื่น 5893 อังสตรอม

n_F ดรรชนีหักเหเมื่อวัดที่ความยาวคลื่น 4861 อังสตรอม

N_A Avogadro number

N_τ จำนวนอนุภาคนิวเคลียสที่เกิดขึ้น ณ เวลา τ

p โมเมนต์ขั้วคู่

p_i สัดส่วนของส่วนประกอบที่ i

P โพลาไรเซชัน

r ขนาดอนุภาคนิวเคลียส

R อัตราการเย็นตัว

R การสะท้อน

R_A/R_O อัตราส่วนรัศมี A อะตอมต่อรัศมีออกซิเจนอะตอม

R_α Molar refractivity

S Shear 's modulus

t_n เวลาที่สอดคล้องกับส่วนโค้งของ TTT curve

T อุณหภูมิสัมบูรณ์

T_c อุณหภูมิการตกผลึก (Crystallization temperature)

T_f อุณหภูมิเยือกแข็ง

T_g อุณหภูมิการกลายสภาพจากสถานะที่เรียก Supercooled liquid ไปเป็น Glass (Glass transformation temperature)

T_m อุณหภูมิหลอมเหลว

T_n อุณหภูมิที่สอดคล้องกับส่วนโค้งของ TTT curve

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

u	อัตราการเจริญเติบโต
V	ปริมาตร
V	ปริมาตรต่อหน่วยมวล (Specific volume)
V_i	Packing factor
V_t	Packing density
V_t	ปริมาตรรวมของอนุภาคนิวเคลียสทั้งหมด ณ เวลา t
V_τ	ปริมาตรอนุภาคนิวเคลียส ณ เวลา τ
X	ระยะขจัด
X_i	สัดส่วนโดยโมลของส่วนประกอบที่ i
α	Polarizabillity
β	แรงดึงกลับ (Restoring force)
β	สัมประสิทธิ์การดูดกลืน
ε_0	สภาพยอมของสุญญากาศ
ε_r	ค่าคงที่ไดอิเลคตริกสัมพัทธ์
η	ความหนืด
θ	มุมตกกระทบ หรือสะท้อนจากหน้าผลึก
λ	ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
μ_i	Appen factor
μ_r	สภาพซึมซาบสัมพัทธ์
ν	ความถี่ในการเคลื่อนที่ของอะตอมผ่านรอยต่อระหว่างผลึกกับของเหลว
ν_0	ความถี่ในการสั่นของอะตอม
ν_D	อัตราส่วนของ Effective refractivity ต่อ Mean dispersion
ρ	ความหนาแน่น
ω_0	ความถี่ธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University