

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ด
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	2
บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎี และการทบทวนเอกสารวิชาการ	
2.1 พอร์ซเลน	3
2.1.1 ประวัติความเป็นมาของพอร์ซเลน	4
2.1.2 ชนิดของพอร์ซเลน	5
(1) แบ่งตามเนื้อของพอร์ซเลน	5
(2) แบ่งตามลักษณะการใช้งาน	17
(3) แบ่งตามอุณหภูมิในการเผา	33
2.1.3 วัตถุดิบหลักในการผลิตพอร์ซเลน	33
2.1.4 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในเนื้อดินระหว่างการเผา	38
2.1.5 การเกิดผลึกมัลไลต์ (Mullite Formation)	40
2.1.6 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 ซิลิกา	43
2.2.1 ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica)	43
2.2.2 ซิลิกาในรูปผลึก (Crystalline Silica)	44
2.3 การขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด	47
2.4 ความแข็งแรงของพอร์ซเลน	49
2.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	50
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ	53
3.2 วัตถุประสงค์ และสารเคมี	54
3.3 แผนการทดลอง	55
3.4 การเตรียมวัตถุดิบ	56
3.4.1 การเตรียมดินขาว หินฟันม้าชนิดโซเดียมและควอตซ์	56
3.4.2 การเตรียมเถ้าแกลบ	56
3.5 การเตรียมชิ้นทดสอบ	56
3.6 การทดสอบลักษณะของวัตถุดิบ	58
3.6.1 การศึกษาองค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	58
3.6.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	58
3.6.3 การศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาค	58
3.7 การทดสอบสมบัติของชิ้นงานหลังเผา	59
3.7.1 การหาค่าการหดตัว	59
3.7.2 การหาค่าความหนาแน่น	59
3.7.3 การหาค่าความพรุนตัวปรากฏและการดูดซึมน้ำ	60
3.7.4 การหาค่าความขาวสว่าง	61
3.7.5 การหาค่าความโปร่งแสง	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7.6 การทดสอบความทนแรงอัด	61
3.7.7 การหาค่าการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน	62
3.7.8 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค	63
3.7.9 การศึกษาองค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	63
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบ	64
4.1.1 ดินขาวราชิวาส หินฟืนม้าชนิดโซเดียม และควอตซ์	64
4.1.2 การเตรียมซิลิกาจากเถ้าแกลบ	66
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ	68
4.3 การศึกษาผลของปริมาณเถ้าแกลบ	69
4.3.1 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาค	69
4.3.2 โครงสร้างทางจุลภาค	72
4.3.3 ความทนแรงอัด	75
4.3.4 สมบัติทั่วไปของพอร์ซเลน	78
4.4 การศึกษาผลของขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบ	85
4.4.1 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาค	85
4.4.2 โครงสร้างทางจุลภาค	90
4.4.3 ความทนแรงอัด	90
4.4.4 สมบัติทั่วไปของพอร์ซเลน	93
4.5 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน	98
4.6 การคำนวณต้นทุนในการผลิต	99
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 การเตรียมซิลิกาจากเถ้าแกลบ	100
5.2 การศึกษาผลของปริมาณเถ้าแกลบ	100

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 การศึกษาผลของขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบ	101
5.4 ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารอ้างอิง	102
ภาคผนวก ก	110
ภาคผนวก ข	120
ภาคผนวก ค	127
ประวัติผู้เขียน	136

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของพอร์ซเลนชนิดต่างๆ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	7
2.2 อัตราส่วนผสมของเนื้อเซรามิกมัลไลต์พอร์ซเลน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	8
2.3 อัตราส่วนผสมของเนื้อเซรามิกอะลูมินาสูง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	9
2.4 สมบัติของเซรามิกเนื้ออะลูมินาสูง	9
2.5 สมบัติของเซรามิกเนื้ออะลูมินาสูง	10
2.6 อัตราส่วนผสมของเนื้อเซรามิกเซอร์คอนพอร์ซเลน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	13
2.7 สมบัติของเซรามิกเนื้อคอร์เดียไรท์	15
2.8 สมบัติของเซรามิกเนื้อสเตียไทท์	16
2.9 ส่วนผสมของเนื้อดินฮาร์ดพอร์ซเลนที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ	18
2.10 ส่วนผสมของเนื้อดินฮาร์ดพอร์ซเลนของประเทศต่างๆ	18
2.11 ส่วนผสมของเนื้อดินโบนไชน่า	20
2.12 ส่วนผสมของเนื้อดินพาเรียนแวร์ที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ ในบรรยากาศออกซิเดชัน	20
2.13 ส่วนผสมของเนื้อดินไฮเต็ลไชน่าสำหรับผลิตถ้วยชามที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ	21
2.14 เนื้อดินพอร์ซเลนสำหรับทำลูกถ้วยไฟฟ้าแรงสูง	23
2.15 ส่วนผสมของเนื้อดินพอร์ซเลนเคมีที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ	28
2.16 ชนิดของเนื้อพอร์ซเลนเคมีแบ่งตามลักษณะการใช้งาน	28
2.17 คุณสมบัติของพอร์ซเลนประเภท Acid-proof (Acid-proof Porcelain)	30
2.18 คุณสมบัติของพอร์ซเลนประเภท Heat-proof เนื้อ Alumina Silicate	31
2.19 คุณสมบัติของพอร์ซเลนประเภท Heat-proof เนื้อ Mullite	32
2.20 คุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เนื้อดิน Common Porcelain สำหรับทำผลิตภัณฑ์ประเภท Table Ware และ Electrical Parts	42
2.21 คุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เนื้อดิน Porcelain Body สำหรับทำผลิตภัณฑ์ประเภทชุด Table Ware และชุดถ้วยกาแฟ	42

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
3.1 อัตราส่วนของวัตถุดิบแต่ละชนิดในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	57
3.2 ขนาดอนุภาคเริ่มต้นของเถ้าเคลบที่เดิมในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน	57
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวนราธิวาส หินฟันม้าชนิดโซเดียม ควอตซ์ เถ้าเคลบ ล้างด้วยน้ำสะอาด และเถ้าเคลบที่ผ่านการเผาที่ 1250 °C	68
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวนราธิวาส หินฟันม้าชนิดโซเดียม ควอตซ์ เถ้าเคลบ ล้างด้วยน้ำสะอาด และเถ้าเคลบที่ผ่านการเผาที่ 1250 °C (ต่อ)	69
4.2 ขนาดอนุภาคเริ่มต้นของวัตถุดิบแต่ละชนิดในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน	71
4.3 ขนาดอนุภาคของแต่ละส่วนผสมหลังจากทำการผสมแล้ว	71
4.4 การหดตัวหลังเผา ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบหลังเผา	81
4.5 ความขาวสว่าง ความโปร่งแสง ความทนแรงอัดและสัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องด้วยความร้อน (COE) ของชิ้นทดสอบหลังเผา	81
4.6 ขนาดอนุภาคเริ่มต้นของวัตถุดิบแต่ละชนิดในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน	85
4.7 ขนาดอนุภาคของเถ้าเคลบในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน	87
4.8 การกระจายขนาดอนุภาคของแต่ละส่วนผสมหลังจากทำการผสมแล้ว	87
4.9 การหดตัวหลังเผา ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบหลังเผา	93
4.10 ความขาวสว่าง ความโปร่งแสง ความทนแรงอัดและสัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องด้วยความร้อน (COE) ของชิ้นทดสอบหลังเผา	95
4.11 ราคาดินขาวนราธิวาส หินฟันม้าชนิดโซเดียม ควอตซ์ และเถ้าเคลบ	99

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ผลิตภัณฑ์ประเภทควอตซ์พอร์ซเลนสำหรับทำฉนวนข้อต่อ	6
2.2 ผลิตภัณฑ์ประเภทควอตซ์พอร์ซเลนสำหรับทำหัวหลอดไฟ	6
2.3 ผลิตภัณฑ์ประเภทอะลูมินาพอร์ซเลนสำหรับทำฉนวนไฟฟ้าแบบต่างๆ	10
2.4 ผลิตภัณฑ์ประเภทอะลูมินาพอร์ซเลนสำหรับทำ Sealing Ring	10
2.5 ผลิตภัณฑ์ประเภทอะลูมินาพอร์ซเลนสำหรับทำ Ceramic Plate	11
2.6 ผลิตภัณฑ์ประเภทเซอรัคคอนพอร์ซเลน	14
2.7 ผลิตภัณฑ์ประเภทคอร์เดียไรท์พอร์ซเลน (Cordierite Porcelain)	14
2.8 ผลิตภัณฑ์ประเภทสเตียไทท์พอร์ซเลน Lamp Base and Lamp Ceramic	16
2.9 โครงสร้างของแร่เคโอลิไนท์ในดินเหนียว	34
2.10 โครงสร้างทางจุลภาคของผลึกแร่เคโอลิไนท์	35
2.11 ลักษณะของแร่หินฟันม้า	37
2.12 โครงสร้างผลึกของแร่หินฟันม้า	37
2.13 โครงสร้างของผลึกซิลิกา	38
2.14 โครงสร้างทางจุลภาคของผลึกซิลิกา	38
2.15 การรวมตัวของอะตอมซิลิกอนกับอะตอมออกซิเจนเกิดเป็นโมเลกุลซิลิกา	43
2.16 การจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกซิลิกา และซิลิกาอสัณฐาน	43
2.17 โครงสร้างผลึกของซิลิกาในรูปของควอตซ์	46
2.18 โครงสร้างผลึกของซิลิกาในรูปของทริไคไมท์	46
2.19 โครงสร้างผลึกของซิลิกาในรูปของคริสโตบาไลต์	46
2.20 แผนภาพการเปลี่ยนเฟสของผลึกซิลิกา	47
2.21 วิธีการอัดขึ้นรูปแบบทิศทางเดียว (Uniaxial Pressing)	48
3.1 แผนภาพแสดงแผนการทดลอง	55
4.1 องค์ประกอบทางแร่ของดินเหนียวราชีวาส (เทียบกับ XRD Pattern จากข้อมูล JCPDS หมายเลข 78-1996 และ 86-0438 ตามลำดับ)	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.2 องค์ประกอบทางแร่ของหินฟีนมาชนิคโซเดียม (เทียบกับ XRD Pattern จากข้อมูล JCPDS หมายเลข 41-1480, 85-077 และ 07-0042 ตามลำดับ)	65
4.3 องค์ประกอบทางแร่ของควอตซ์ (เทียบกับ XRD Pattern จากข้อมูล JCPDS หมายเลข 85-1054)	66
4.4 เถ้าเคลือบที่ผ่านการเผาซึ่งที่อุณหภูมิต่างๆ	66
4.5 องค์ประกอบทางแร่ของเถ้าเคลือบที่ผ่านการเผาซึ่งที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อ ▼ = Cristobalite และ ▼ = Tridymite	67
4.6 องค์ประกอบทางแร่ของเถ้าเคลือบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C เมื่อ ▼ = Cristobalite และ ▼ = Tridymite (เทียบกับ XRD Pattern จากข้อมูล JCPDS หมายเลข 82-0512 และ 16-0152 ตามลำดับ)	67
4.7 การกระจายขนาดอนุภาค (Particle Size Distribution) ของวัตถุดิบแต่ละชนิด	70
4.8 การกระจายขนาดของอนุภาค (Particle Size Distribution) หลังการผสมแล้ว	72
4.9 โครงสร้างทางจุลภาคพื้นฐานของพอร์ซเลนหลังเผา (กำลังขยาย 4000 เท่า)	73
4.10 โครงสร้างทางจุลภาคของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลือบในปริมาณที่แตกต่างกัน (กำลังขยาย 1500 เท่า) (a) PR-1, (b) PR-2, (c) PR-3, (d) PR-4, (e) PR-5, (f) PR-6	74
4.11 ความทนแรงอัด (Compressive Strength) ของพอร์ซเลนหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C	75
4.12 โครงสร้างทางจุลภาคของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลือบร้อยละ 10 (กำลังขยาย 8000 เท่า)	75
4.13 โครงสร้างทางจุลภาคของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลือบร้อยละ 25 (กำลังขยาย 100 เท่า)	76
4.14 โครงสร้างทางจุลภาคของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลือบร้อยละ 25 (กำลังขยาย 4000 เท่า)	77
4.15 องค์ประกอบทางแร่ของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลือบในปริมาณที่แตกต่างกัน หลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C เมื่อ ● = Free Silica และ ◆ = Mullite (เทียบกับ XRD Pattern จากข้อมูล JCPDS หมายเลข 85-1054 และ 15-0776 ตามลำดับ)	77
4.16 ความหนาแน่นของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลือบในปริมาณที่แตกต่างกัน หลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.17 โครงสร้างทางจุลภาคของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบร้อยละ 10 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C	79
4.18 โครงสร้างทางจุลภาคของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบร้อยละ 15 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C	80
4.19 การหดตัวของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบในปริมาณที่แตกต่างกัน หลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C	80
4.20 ความขาวสว่าง (Brightness) ของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบในปริมาณที่แตกต่างกัน	82
4.21 ความโปร่งแสง (Contrast Ratio) ของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบในปริมาณที่แตกต่างกัน	83
4.22 ขึ้นทดสอบแบบแท่งและแผ่นกลม ที่ใช้ปริมาณเถ้าเคลบแตกต่างกัน หลังเผา ที่อุณหภูมิ 1250 °C (PR-1 ไม่มีการใช้เถ้าเคลบแทนควอตซ์ PR-2, PR-3, PR-4, PR-5 และ PR-6 มีการใช้เถ้าเคลบแทนควอตซ์ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ)	83
4.23 การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน (Thermal Expansion) ของพอร์ซเลน ที่ใช้เถ้าเคลบในปริมาณที่แตกต่างกัน	84
4.24 โครงสร้างทางจุลภาคของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบร้อยละ 10 (กำลังขยาย 1500 เท่า)	85
4.25 การกระจายขนาดอนุภาค (Particle Size Distribution) เริ่มต้นของเถ้าเคลบ ในส่วนผสม PS-1 ถึง PS-5	86
4.26 การกระจายขนาดอนุภาคหลังการผสม (Particle Size Distribution) ของส่วนผสม PS-1 ถึง PS-5	88
4.27 องค์ประกอบทางแร่ของพอร์ซเลนทุกส่วนผสมหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C เมื่อ • = Free Silica และ ♦ = Mullite (เทียบกับ XRD Pattern จากข้อมูล JCPDS หมายเลข 85-1054 และ 15-0776 ตามลำดับ)	89
4.28 โครงสร้างทางจุลภาคของพอร์ซเลนที่มีอนุภาคเถ้าเคลบเริ่มต้นแตกต่างกัน (กำลังขยาย 500 เท่า) (a) PS-1, (b) PS-2, (c) PS-3, (d) PS-4, (e) PS-5	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.29 ความทนแรงอัด (Compressive Strength) ของพอร์ซเลนที่มีการเติมเถ้าเคลบ ขนาดต่างๆ	91
4.30 โครงสร้างทางจุลภาคของพอร์ซเลน PS-4 (กำลังขยาย 8000 เท่า)	91
4.31 โครงสร้างทางจุลภาคของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบที่มีขนาดอนุภาคเริ่มต้นแตกต่างกัน (กำลังขยาย 1500 เท่า) (a) PS-1, (b) PS-2, (c) PS-3, (d) PS-4, (e) PS-5	92
4.32 ความหนาแน่นของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบที่มีขนาดอนุภาคเริ่มต้นแตกต่างกัน	94
4.33 การหดตัวของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบที่มีขนาดอนุภาคเริ่มต้นแตกต่างกัน	94
4.34 ความขาวสว่างของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบที่มีขนาดอนุภาคเริ่มต้นแตกต่างกัน	95
4.35 ความโปร่งแสง (Contrast Ratio) ของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบที่มีขนาดอนุภาคเริ่มต้น แตกต่างกัน	96
4.36 การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนของพอร์ซเลนที่ใช้เถ้าเคลบที่มีขนาดอนุภาคเริ่มต้น แตกต่างกัน	97
4.37 ขึ้นทดสอบแบบแท่งและแผ่นกลมที่ใช้เถ้าเคลบที่มีขนาดอนุภาคเริ่มต้นแตกต่างกัน หลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C (PS-1 ถึง PS-5 ใช้เถ้าเคลบที่มีขนาดอนุภาคเริ่มต้น 4.41, 5.73, 8.82, 11.43 และ 13.03 ไมครอน ตามลำดับ)	97
4.38 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบ (ส่วนผสม PR-1 คือ ดินขาวราชีวาสร้อยละ 50 หินฟันม้าชนิดโซเดียมร้อยละ 25 และควอตซ์ร้อยละ 25)	98
4.39 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบ (ส่วนผสม PR-3 คือ ดินขาวราชีวาสร้อยละ 50 หินฟันม้าชนิดโซเดียมร้อยละ 25 ควอตซ์ร้อยละ 15 และเถ้าเคลบร้อยละ 10)	98
ข-1 เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียด 0.001 กรัม รุ่น HF-300G ของบริษัท AC ADAPTER	121
ข-2 แม่พิมพ์โลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร สำหรับขึ้นรูปขึ้นทดสอบแบบแผ่นกลม	121

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
ข-3 แม่พิมพ์โลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร สำหรับขึ้นรูปขึ้นทดสอบแบบแท่ง	122
ข-4 เครื่องอัด Hydraulic ขนาด 30 ตัน สำหรับอัดขึ้นรูปขึ้นทดสอบแบบต่างๆ	122
ข-5 เครื่องบดแบบ Pot Mill พร้อมหม้อบด สำหรับบดดิน และผสมส่วนผสม ให้เป็นเนื้อเดียวกัน	123
ข-6 เครื่องบดความเร็วสูง (High Speed Mill) สำหรับเตรียมเถ้าเคลือบ ให้มีขนาดแตกต่างกัน	123
ข-7 เครื่องวิเคราะห์ขนาดและการกระจายอนุภาค	124
ข-8 เตาไฟฟ้าสำหรับเผาซินเตอร์ขึ้นทดสอบหลังจากการขึ้นรูปแล้ว	124
ข-9 เครื่องวัดสี X-Rite สำหรับวัดความขาวสว่างและความโปร่งแสง	125
ข-10 เครื่อง Dilatometer สำหรับวัดการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน	125
ข-11 เครื่อง Compression Test สำหรับวัดความทนแรงอัด (Compressive Strength)	126
ข-12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สำหรับศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค	126

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
ASTM	American Society for Testing and Materials	-
%	ร้อยละ	-
cm	เซนติเมตร	-
OF	บรรยากาศแบบออกซิเดชัน	-
RF	บรรยากาศแบบรีดักชัน	-
COE , α	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
MOR	โมดูลัสของการแตกหัก	$\text{N/m}^2, \text{Pa}$
θ	มุมของการกระเจิง	-
JCPDS	the Joint Committee on Powder Diffraction Standards	-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved