สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฉ
สารบาญภาพ	ช
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ปรากฏการณ์พิโซอิเลกทริก	3
2.2 โครงสร้างแบบเพอรอฟสไกท์	8
2.3 เลดเซอร์โคเนตไทเทเนต	10
2.4 ปูนซีเมนต์	13
2.4.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	13
2.4.2 ส่วนผสมที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	14
2.4.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น	17
2.5 วัสดุผสม	21
2.5.1 วัสดุผสมหรือ หรือวัสดุประกอบ	21
2.5.2 วัสดุผสมแบบ 0-3	22
2.6 สมบัติทางไฟฟ้า	23
2.6.1 สมบัติไดอิเลกทริก	23
2.6.2 สมบัติพิโซอิเลกทริก	26
2.7 สมบัติเชิงกล	30
2.7.1 กำลังอัด	28

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลัง 31
2.7.3 การทำมอร์ต้า 31
2.7.4 การบ่มมอร์ต้า 32
2.7.5 สาเหตุที่กำลังอัดไม่เป็นไปตามข้อกำหนด 34
2.7.6 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างมอร์ต้า 34

บทที่ 3 วรรณกรรมปริทัศน์ 36

บทที่ 4 วิธีการทดลอง 47
4.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 47
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 48
4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 48
4.4 กระบวนการเตรียมวัสดุผสมระบบ 0-3 ของ เซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต (PZT) และ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (PC) 49
4.4.1 การเตรียมผงเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต 49
4.4.2 การเตรียมเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต 51
4.4.3 การคัดขนาดผงเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนตโดยวิธีการ บด-ร่อน 53
4.4.4 การเตรียมวัสดุผสมแบบ 0-3 55
4.5 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสม 57
4.5.1 การหาค่าความหนาแน่น 57
4.5.1.1 หาค่าความหนาแน่นของเม็ดเซรามิกPZT 57
4.5.1.2 หาค่าความหนาแน่นของเม็ดวัสดุผสมและปูนซีเมนต์ 58
4.5.2 การตรวจโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD 59
4.6 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scaning Electron Microscope, SEM) 60
4.7 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า 60
4.7.1 การสร้างขั้วและการโพล 60
4.7.2 การตรวจสอบค่าสภาพสภาพยอมสัมพัทธ์(ε_r)และค่าตัวประกอบการสูญเสียทาง ไดอิเล็กทริก (tanδ) 61

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.7.3 การตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์พิโซอิเลกทริก 62
4.8 การตรวจสอบสมบัติเชิงกล 63
4.8.1 การทดสอบกำลังอัด 63

บทที่ 5 ผลการทดลองและการอภิปรายผล 65
5.1 ผลการตรวจสอบเฟส ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC 65
5.1.1 โครงสร้างผลึกผงเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต(PZT) 65
5.1.2. โครงสร้างผลึกของผงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (PC) 67
5.1.3. โครงสร้างผลึกวัสดุผสมเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต-ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์(PZT-PC) 67
5.2 ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC 68
5.2.1 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของเซรามิก PZT 68
5.2.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสม PZT-PC 70
5.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศ์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC 70
5.4 ผลการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC 73
5.4.1 การวิเคราะห์ค่าสภาพะยอมสัมพัทธ์และค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเลกทริก ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC 73
5.4.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์พิโซอิเลกทริก ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบPZT-PC 75
5.4.3 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์คู่ควบไฟฟ้าเชิงกล ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC 80
5.5 ผลการตรวจสอบสมบัติเชิงกล ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC 81

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 83
6.1 สรุปผลการเตรียมเซรามิก PZT 83
6.2 สรุปโครงสร้างผลึกของผงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (PC) 83
6.3 สรุปผล การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของของวัสดุผสม PZT-PC 83

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6.4	สรุปผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศ์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	83
6.5	สรุปผลการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC	84
6.5.1	ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเลกทริก	84
6.5.2	ค่าสัมประสิทธิ์พีโซอิเลกทริก ของวัสดุผสม	84
6.5.3	ค่าสัมประสิทธิ์คู่ควบไฟฟ้าเชิงกล ของวัสดุผสม	84
6.6	สรุปผลการตรวจสอบสมบัติเชิงกล ของวัสดุผสม	84
6.7	ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารอ้างอิง		86
ประวัติผู้เขียน		89

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ค่าออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	15
2.2	สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	16
3.1	สมบัติของวัสดุผสม	37
3.2	การเปรียบเทียบค่า ε_r และ d_{33} ของวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์และวัสดุผสมเซรามิก-พอลิเมอร์	43
4.1	วัสดุผสมในอัตราส่วน และการทดสอบสมบัติต่างๆ	57
5.1	สมบัติทางกายภาพของเซรามิก PZT	69
5.2	ค่าความหนาแน่นของวัสดุผสม PZT-PC	70
5.3	ค่าสัมประสิทธิ์คู่ควบไฟฟ้าเชิงกล ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC	80

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
2.1	การจำแนกสารโดยใช้สมมาตรของผลึก	4
2.2	หน่วยเซลล์ของแบเรียมไทเทเนต ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรี	5
2.3	ภาพจำลอง ไดโพลไฟฟ้าในวัสดุพิโซอิเลกทริก	6
2.4	ความสัมพันธ์ E-P ของสาร เฟร์โรอิเลกทริก	7
2.5	ลักษณะโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกท์	9
2.6	เฟสไดอะแกรมของระบบ $PbZrO_3$-$PbTiO_3$	11
2.7	การโพลในเซรามิก PZT	12
2.8	แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของคัลเซียมซิลิเกต	18
2.9	ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A	20
2.10	ภาพขยายโมโนซัลเฟตและเอทาไนต์	20
2.11	ลักษณะความเป็นไปได้ของการจัดเรียงตัวของแต่ละเฟส 10 แบบของวัสดุผสมระหว่าง 2 เฟส	22
2.12	ลักษณะตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนาน	23
2.13	ค่า Loss Tangent ที่เกิดขึ้นในวัสดุไดอิเลกทริก	25
2.14	ปรากฏการณ์ 2 แบบ คือ Direct effect และ Converse effect ในสารพิโซอิเลกทริก	26
2.15	การกำหนดทิศทางและระนาบสำหรับพิโซอิเลกทริกเซรามิก	28
2.16	สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของมอร์ต้า	33
2.17	ลักษณะของการแตกของก้อนตัวอย่าง	35
3.1	สมบัติพิโซอิเลกทริกกับผลของสนามไฟฟ้า (ก) และขนาดอนุภาค(ข) ในวัสดุผสมเลดไทเทเนต-อีพอกซี	36
3.2	กราฟค่าในเชิงทฤษฎีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ ต่อปริมาณ	37
3.3	กราฟค่าในเชิงทฤษฎีค่าd_{33} ต่อ ปริมาณ PZT	38
3.4	กราฟค่าในเชิงทฤษฎีค่าg_{33} ต่อปริมาณ PZT	38

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5	ผลของค่า d_{33} ต่อ สนามไฟฟ้าที่ใช้ในการโพล	39
3.6	ผลของค่า d_{33} ต่อ เวลาที่ใช้ในการโพล	39
3.7	ผลของค่า d_{33} และ g_{33} ต่อ ปริมาณ PZT ในวัสดุผสม	40
3.8	ความสัมพันธ์ของค่า d_{33} ต่อเวลาและปริมาณ PZT ในวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์ และวัสดุผสมเซรามิก-พอลิเมอร์	41
3.9	ความสัมพันธ์ของค่า d_{33} ต่อเวลาและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการโพล	41
3.10	ความสัมพันธ์ขอค่า d_{33} ต่อเวลาและระยะเวลาในการโพล	42
3.11	ความสัมพันธ์ของค่า d_{33} ต่อเวลาและปริมาณ PZT ในวัสดุผสม	42
3.12	โครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสมที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM	43
3.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า d_{33} ของวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์ที่มีประเภทของเซรามิกที่ต่างกัน	44
3.14	แบบจำลองการวัดค่าของวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์ แบบ 2-2	44
3.15	ค่า d_{33} และอุณหภูมิในการโพล	45
3.16	รูพรุนระหว่างรอยต่อของเซรามิก PZT และซีเมนต์เมทริกซ์	46
3.17	การวิเคราะห์โครงสร้างรูพรุนของ PZT, วัสดุผสม และ ซีเมนต์ด้วย Quanta Chrome POREMASTER-60 Automatic Pore Size Analyzers	46
4.1	แผนผังการเผาแคลไซน์ผงPZ	50
4.2	แผนผังการเผาแคลไซน์ ผง PZT	51
4.3	ลักษณะการจัดชิ้นงานสำหรับการเผาซินเตอร์	52
4.4	แผนผังการเผาซินเตอร์เซรามิกPZT	52
4.5	ลักษณะการเกิดเนคในกระบวนการซินเตอร์	53
4.6	แผงผังขั้นตอนการเตรียมเซรามิกPZTและการคัดขนาด	54
4.7	เครื่องอัดไฮดรอลิกที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป	55
4.8	แผงผังขั้นตอนการเตรียมวัสดุผสมPZT-ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	56
4.9	ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างโพล	61
4.10	เครื่อง LCZ meter สำหรับวัดค่าความจุและค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกที่อุณหภูมิห้อง	61
4.11	เครื่อง piezoelectric meter สำหรับวัดค่าสัมประสิทธิ์พิโซอิเลกทริก (d_{33})	62
4.12	หลักการวัดค่าสัมประสิทธิ์พิโซอิเลกทริก (d_{33})	63

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.13	เครื่องทดสอบการกดอัด รุ่น S-SERIES	64
5.1	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ PZ เทียบกับ JCPDS file No.48-1050	66
5.2	เลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ PZT เทียบกับ JCPDS file No.33-0784	66
5.3	แบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ ผงปูนซีเมนต์	67
5.4	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ PZT เมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (PC)	68
5.5	ภาพโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC	72
5.6	ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ต่อปริมาณ PZT ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC	73
5.7	ค่าตัวประกอบการสูญเสียทางไดอิเลกทริก ต่อปริมาณ PZT ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC จากการวัดจริง	74
5.8	ค่าสัมประสิทธิ์พิโซอิเลกทริกต่อปริมาณ PZT ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC	76
5.9	รูปการหลอมภายในโครงสร้างของวัสดุผสมเนื่องจากใช้เวลาในการโพล มากกว่า 45 นาที	77
5.10	รูปโครงสร้างภายในของวัสดุผสมที่เกิดการการพังทลายของสนามไฟฟ้า	78
5.11	ค่ากำลังอัด ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ในระบบ PZT-PC	81

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

PZT	เลดเซอร์โคเนตไทเทเนต
BT	แบเรียมไทเทเนต
K_t	ค่าสัมประสิทธิ์คู่ควบไฟฟ้าเชิงกล
PC	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
P_s	สปอนเทเนียสโพลาไรเซชั่น
C	องศาเซลเซียส
T_C	อุณหภูมิ คูรี
ΔT	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
E	สนามไฟฟ้า
P	โพลาไรเซชั่น
B	สนามแม่เหล็ก
H	ฟลักซ์แม่เหล็ก
P_s	โพลาไรเซชั่นอิ่มตัว
P_r	โพลาไรเซชั่นคงเหลือ
E_c	สนามไฟฟ้าหักล้าง
$CaTiO_3$	แคลเซียมไทเทเนต
ABO_3	เพอรอฟสไกท์อุดมคติ
$A'A''B'B''O_3$	คอมเพลกเพอรอฟสไกท์
PZ	เลดเซอร์โคเนต
PT	เลดไทเทเนต
MPB	มอร์โฟโทรปิคเฟส บาวเดรี
tanδ	การสูญเสียทางความร้อน
PFA	Pulverized Fuel Ash
GGBS	Ground Granular Blast Furnace Slage
CO_2	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
CaO	แคลเซียมออกไซด์
SiO_2	ซิลิกอนไดออกไซด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Al_2O_3	อะลูมิเนียม ออกไซด์
Fe_2O_3	เฟอร์ริกออกไซด์
MgO	แมกนีเซียมออกไซด์
Na_2O	ไดโซเดียมออกไซด์
TiO_2	ไททาเนียมไดออกไซด์
P_2O_5	ฟอสฟอรัสออกไซด์
C_3S	ไตรคัลเซียมซิลิเกต
C_2S	ไดคัลเซียมซิลิเกต
C_3A	ไตรคัลเซียมอลูมิเนต
C_4AF	เตตราคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์
$Ca(OH_2$	แคลเซียมไฮดรอกไซด์
CSH	คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรต
PH.	พี-เอช
σ_P	polarization charge density
σ_T	total charge density or dielectric displacement
θ	ประจุรวม (total charge/coulomb)
A	พื้นที่หน้าตัดของแผ่นโลหะตัวนำ
U	ศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่วัสดุไดอิเลกทริก
C	ค่าความจุไฟฟ้าของวัสดุมีหน่วยเป็นฟารัด (F)
ε_r	สภาพยอมสัมพัทธ์
ε_o	ค่าสภาพยอมของสุญญากาศ มีค่า 8.854×10^{-12} F/m
σ_{AC}	ค่าการนำในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ
P_i	โพลาไรเซชั่นทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในทิศทาง i
T_j	ความเค้นที่ใส่ให้แก่สารพิโซอิเลกทริก
d_{ij}	สัมประสิทธ์พิโซอิเลกทริก ในทิศทาง i
Sj	ความเครียดที่เกิดขึ้น ในทิศทาง j
E_i	สนามไฟฟ้าที่ให้กับสารพิโซอิเลกทริกในทิศทาง i
i	ทิศทางของโพลาไรเซชั่นที่เกิดขึ้นในวัสดุเมื่อไม่มีการให้สนามไฟฟ้า (E=0)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

j	ทิศทางของความเค้นเชิงกลที่ให้ หรือแสดงถึงทิศทางของความเครียดเชิงกลที่สารยืดหด
d_{33}	โพลาไรเซชั่นที่เกิดขึ้นในทิศทาง 3 (แกน z) เมื่อสารได้รับความเค้นเชิงกลในทิศทาง 3 (แกนz)
d_{31}	โพลาไรเซชั่นที่เกิดขึ้นในทิศทาง 3 (แกน z) เมื่อสารได้รับความเค้นเชิงกลในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางที่สารเกิดโพลาไรเซชั่น (1, 2) (แกน x หรือ แกน y)
g_{ij}	สัมประสิทธิ์แรงดันพิโซอิเลกทริก (Piezoelectric Voltage coefficient)ในทิศทาง ij มีหน่วยเป็น Vm/N
ε	ค่าคงที่ไดอิเลกทริก (dielectric constant)
Pa	ปาสคาล
MPa	เมกะปาสคาล
cm	เซนติเมตร
mm	มิลลิเมตร
mm^2	ตารางมิลลิเมตร
F	แรงที่ให้
A	พื้นที่ที่ถูกกดเป็นรอย
XRD	วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์
SEM	วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
LCZ	เครื่องวิเคราะห์ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์
PbO	เลดออกไซด์
ZrO_2	เซอร์โคเนียมออกไซด์
TiO_2	ไทเทเนียมออกไซด์
Al_2O_3	อะลูมินาไดออกไซด์
W_1	น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ
W_2	น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ชั่งในน้ำหลังแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา45 นาที
d	ค่า d-spacing หรือ ระยะห่างระหว่างคู่ระนาบอะตอม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

λ	ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากเป้าทองแดง ซึ่งมีค่าประมาณ 1.54 A^0
θ	มุมของแบรก
d_{st}	ค่า d_{33} ของตัวมาตรฐาน
V_{st}	ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ตัวมาตรฐาน
V	ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากสารตัวอย่าง
d	ความหนาของสารตัวอย่าง
ρ	ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง
ρ_{st}	ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิห้องที่ทำการทดลอง
K/cm^2	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
N/mm^2	นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
c/a	ความเป็นเตตระโกนอลิตี
N	จำนวนโมเลกุลในหน่วยเซลล์
V_{abc}	ปริมาตรหน่วยเซลล์ประกอบด้วยด้าน a, b และ c
N_a	เลขอโวกาโด (Avogadro constant) มีค่าเท่ากับ 6.022×10^{23} mol^{-1}
M	มวลของวัสดุผสม
M_{PZT}	มวลของ PZT ในวัสดุผสม
M_{PC}	มวลของ PC ในวัสดุผสม
V	ปริมาตรของวัสดุผสม
V_{PZT}	ปริมาตรของ PZT ในวัสดุผสม
V_{PC}	ปริมาตรของ PC ในวัสดุผสม
ρ_{PZT}	ความหนาแน่นของ PZT ในวัสดุผสม
ρ_{PC}	ความหนาแน่นของ PC ในวัสดุผสม
E_C	สนามไปไฟฟ้าที่กระทำกับอนุภาคเซรามิก
ε_P	ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของปูน PC
ε_C	ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของเซรามิก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved