

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	3
2.1 สมบัติเชิงกลของเซรามิก	3
2.1.1 ความแข็งแรง	6
2.1.2 ความแข็ง	13
2.2 เซรามิกเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT) และ เลดแมกนีเซียมไนโอเบต (PMN)	18
2.2.1 สมบัติเชิงกลของเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไททาเนต	23
2.2.2 สมบัติเชิงกลของเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบต	31
2.2 สมบัติเชิงกลเซรามิกผสมที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลัก	39
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	44
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	44
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	45
3.3 กระบวนการเตรียมผง	46
3.3.1 การเตรียมผงเลดเซอร์โคเนตไททาเนต	46
3.3.2 การเตรียมผงเลดแมกนีเซียมไนโอเบต	47
3.3.3 การเตรียมผงผสมเลดเซอร์โคเนตไททาเนต-เลดแมกนีเซียม ไนโอเบต	48
3.4 กระบวนการเตรียมเซรามิก	50

3.5	การตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิค XRD	52
3.6	การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของเซรามิก	53
3.6.1	การหาค่าความหนาแน่น	53
3.6.2	การหาค่าการหดตัวหลังเผา	54
3.6.3	การหาปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียหลังเผา	54
3.7	การศึกษาโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	55
3.8	การทดสอบสมบัติเชิงกลของเซรามิก	56
3.8.1	การหาค่าความแข็ง	56
3.8.2	การหาค่ามอดูลัสของยัง	57
3.8.3	การหาค่าความต้านทานต่อรอยแตก	58
บทที่ 4	ผลการทดลองและการอภิปรายผล	61
4.1	ผลการตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	61
4.2	ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของเซรามิก	63
4.3	ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเซรามิก	74
4.4	ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเซรามิก	84
4.4.1	ความแข็งในหน่วยของวิกเกอร์	86
4.4.2	ค่ามอดูลัสของยัง	90
4.4.3	ค่าความต้านทานต่อรอยแตก	93
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	96
5.1	สรุปผล	96
5.2	ข้อเสนอแนะ	97
	เอกสารอ้างอิง	98
	ประวัติผู้เขียน	103

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุประเภทต่างๆ	3
2.2 ค่าความต้านทานต่อรอยแตกของเซรามิกชนิดต่างๆ	18
2.3 สมบัติพิโซอิเล็กทริกของเซรามิกกลุ่มที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลัก	22
2.4 สมบัติเชิงกลของเซรามิกเลดแคลเซียมไททาเนต (PTC)	42
2.5 สมบัติเชิงกลของเซรามิกกลุ่มที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลัก	43
3.1 แสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์	51
4.1 สมบัติทางกายภาพของเซรามิก PZT	64
4.2 สมบัติทางกายภาพของเซรามิก 0.9PZT-0.1PMN	64
4.3 สมบัติทางกายภาพของเซรามิก 0.7PZT-0.3PMN	65
4.4 สมบัติทางกายภาพของเซรามิก 0.5PZT-0.5PMN	65
4.5 สมบัติทางกายภาพของเซรามิก 0.3PZT-0.7PMN	65
4.6 สมบัติทางกายภาพของเซรามิก 0.1PZT-0.9PMN	66
4.7 สมบัติทางกายภาพของเซรามิก PMN	66
4.8 ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานเซรามิกในระบบ PZT-PMN	67
4.9 ค่าร้อยละของการหดตัวเชิงปริมาตรของชิ้นงานเซรามิกในระบบ PZT-PMN	69
4.10 ช่วงอุณหภูมิที่ชิ้นงานเซรามิกในระบบ PZT-PMN เกิดการหดตัวสูง	73
4.11 ขนาดเกรนเฉลี่ยของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์	74
4.12 ขนาดเกรนเฉลี่ยของเซรามิก PMN ที่ผ่านการเผาซินเตอร์	75
4.13 กระบวนการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเซรามิกในระบบ PZT-PMN	83
4.14 สมบัติเชิงกลของเซรามิก PZT	84
4.15 สมบัติเชิงกลของเซรามิก 0.7PZT-0.3PMN	84
4.16 สมบัติเชิงกลของเซรามิก 0.5PZT-0.5PMN	85

4.17	สมบัติเชิงกลของเซรามิก 0.3PZT-0.7PMN	85
4.18	สมบัติเชิงกลของเซรามิก 0.1PZT-0.9PMN	85
4.19	สมบัติเชิงกลของเซรามิก PMN	86

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
2.1	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้างจุลภาค กระบวนการผลิต และสมบัติเชิงกล ของเซรามิก	4
2.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดในวัสดุที่มีพฤติกรรมของสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน	6
2.3	กราฟแสดงพฤติกรรมเชิงกลของเซรามิกในช่วงที่มีการยืดหยุ่น	7
2.4	ลักษณะการทดสอบมอดูลีของความยืดหยุ่น	9
2.5	ค่าความต้านทานต่อรอยแยกจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด	10
2.6	พฤติกรรมของกราฟความต้านทานของเซรามิก	12
2.7	ระดับของค่าความแข็งที่ทำการวัดด้วยวิธีต่างๆ	15
2.8	รอยกดด้วยหัวกดรูปบน (A) ซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) ซึ่งมีค่า H/E ต่ำ และ (B) แก้วโซดาไลม์ (soda-lime glass) ที่มีค่า H/E สูง	16
2.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนขนาดของรอยกด (b'/a') กับอัตราส่วนระหว่างค่าความแข็งกับค่ามอดูลัสของยัง (H/E)	16
2.10	ลักษณะการแตกที่เกิดจากหัวกดวิกเกอร์	17
2.11	รอยแตกเนื่องจากหัวกดวิกเกอร์บนเซรามิกโคบอลต์ออกไซด์	18
2.12	ลักษณะโครงสร้างผลึกแบบเพอรอฟสไกต์ของเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไททาเนต และเลดเมกนีเซียมไนโอเบต	19
2.13	แผนภาพแสดงการจัดกลุ่มของสารประกอบเฟอร์โรอิเล็กทริกที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลัก	20
2.14	เฟสไดอะแกรมของสารในระบบเลดเซอร์โคเนต-เลดไททาเนต	24
2.15	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเลดเซอร์โคเนตไททาเนต	25
2.16	สร้างจุลภาคของเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของตะกั่วในองค์ประกอบ	25
2.17	การทดสอบด้วยหัวกดวิกเกอร์ลงบนผิวของชิ้นงานตัวอย่าง	26

2.18	กราฟผลแสดงอิทธิพลของปริมาณตะกั่วต่อสมบัติเชิงกลของเซรามิก เลดเซอร์โคเนตไททาเนต	27
2.19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อรอยแยกกับน้ำหนักของหัวกด บนชิ้นงานตัวอย่าง	28
2.20	ลักษณะการกดด้วยหัวกดวิกเกอร์ภายใต้สนามไฟฟ้า	28
2.21	กราฟแสดงค่าความต้านทานต่อรอยแยกที่ลดลงเนื่องจากการให้สนามไฟฟ้า	29
2.22	กราฟพฤติกรรมความต้านทานต่อรอยแยกของเซรามิก PZT	30
2.23	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลกับปริมาณของเงินที่เพิ่มขึ้นในเซรามิก PZT	31
2.24	เฟสไดอะแกรมของสารในระบบเลดแมกนีเซียมไนโอเบต-เลดไททาเนต	32
2.25	เฟสไดอะแกรมของสารในระบบแมกนีเซียมออกไซด์-ไนโอเบียมออกไซด์	33
2.26	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเลดแมกนีเซียมไนโอเบต	34
2.27	สร้างจุลภาคของเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบต	35
2.28	โครงสร้างจุลภาคของเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบตบริเวณที่มีเฟสไพโรคลอร์ และแมกนีเซียมออกไซด์	35
2.29	ลักษณะเฟสไพโรคลอร์และแมกนีเซียมออกไซด์ในเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบต	36
2.30	กราฟการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าคงที่พิโซอิเล็กตริก ที่เป็นผลมาจากความเค้นภายใต้สนามไฟฟ้าของเซรามิก PMN	37
2.31	โครงสร้างจุลภาคของฟิล์ม PZT-PMN	39
2.32	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อรอยแยก (K_{IC}) กับ รากที่สองของความยาวรอยแยกของเซรามิก PLZT	40
2.33	กราฟพฤติกรรมความต้านทานต่อรอยแยกของเซรามิก PLZT	41
2.34	รอยกดด้วยหัวกดวิกเกอร์บนเซรามิก PTC	42
3.1	แผนผังการเผาแคลไซน์ผง PZT	46
3.2	แผนผังการเผาแคลไซน์ผงแมกนีเซียมไนโอเบตที่ใช้	47
3.3	แผนผังการเผาแคลไซน์ผง PMN	48
3.4	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมผง PZT PMN และ PZT-PMN	49

3.5	ลักษณะการจัดขึ้นงานสำหรับการเผาซินเตอร์	50
3.6	แผนผังแสดงการใช้คุณสมบัติในการเผาซินเตอร์เซรามิกที่ใช้	51
3.7	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเซรามิก PZT PMN และ PZT-PMN	52
3.8	ลักษณะการตรวจสอบด้วยเทคนิค XRD และ รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	53
3.9	ลักษณะการกดผิวขึ้นงานด้วยหัวกดรูป	58
3.10	ลักษณะรูปร่างของรอยกดที่เกิดจากหัวกดรูป	58
3.11	ลักษณะการกดผิวขึ้นงานด้วยหัวกดวงรี	59
3.12	ลักษณะรูปร่างของรอยแตกที่เกิดขึ้นจากการใช้หัวกดวงรี	59
4.1	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง (ก) PZT และ (ข) PMN ที่เตรียมได้	62
4.2	สีและลักษณะโดยทั่วไปของเซรามิกในระบบ PZT-PMN ที่ค่าสัดส่วนองค์ประกอบ ต่างๆพร้อมคุณสมบัติที่ใช้ในการเผาซินเตอร์	63
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT 0.9PZT-0.1PMN 0.7PZT-0.3PMN และ 0.5PZT-0.5PMN กับอุณหภูมิซินเตอร์	67
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของเซรามิก 0.3PZT-0.7PMN 0.1PZT-0.9PMN และ PMN กับอุณหภูมิซินเตอร์	68
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการหดตัวของเซรามิก PZT 0.9PZT-0.1PMN 0.7PZT-0.3PMN และ 0.5PZT-0.5PMN กับอุณหภูมิซินเตอร์	70
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการหดตัวของเซรามิก 0.3PZT-0.7PMN 0.1PZT-0.9PMN และ PMN กับอุณหภูมิซินเตอร์	71
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียของเซรามิกใน ระบบ PZT-PMN กับอุณหภูมิซินเตอร์	72
4.8	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก PZT ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1100°C และ (ข) 1150°C	74
4.9	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก PZT ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1250°C และ (ข) 1300°C	75
4.10	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1000°C และ (ข) 1050°C	76

4.11	เฟสไพโรคลอริในเซรามิก PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1150°ซ และ (ข) 1200°ซ	76
4.12	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก 0.9PZT-0.1PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1100°ซ (ข) 1200°ซ	77
4.13	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก 0.9PZT-0.1PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1250°ซ (ข) 1300°ซ	78
4.14	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก 0.7PZT-0.3PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1100°ซ (ข) 1150°ซ	78
4.15	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก 0.7PZT-0.3PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1200°ซ	79
4.16	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก 0.5PZT-0.5PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1100°ซ และ (ข) 1200°ซ	80
4.17	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก 0.5PZT-0.5PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1250°ซ	80
4.18	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก 0.1PZT-0.9PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1050°ซ และ (ข) 1100°ซ	81
4.19	ลักษณะเฟสไพโรคลอริในเซรามิก 0.1PZT-0.9PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1150°ซ และ (ข) 1200°ซ	82
4.20	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคในเซรามิก 0.3PZT-0.7PMN ที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก) 1050°ซ และ (ข) 1150°ซ	82
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งในหน่วยวิกเกอร์ของเซรามิกในระบบ PZT-PMN กับอุณหภูมิซินเตอร์	87
4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนเฉลี่ยกับค่าความแข็งในหน่วยวิกเกอร์ของเซรามิกในระบบ PZT-PMN	88
4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งในหน่วยวิกเกอร์ของเซรามิกในระบบ PZT-PMN กับปริมาณของเฟส PZT	89

- 4.24 ลักษณะของรอยกดด้วยหัวกดรูปบนผิว (ก) เซรามิก PZT และ (ข) PMN ที่ผ่านการ
ขึ้นเตอร์ด้วยอุณหภูมิ (ก1) 1100°ซ (ก2) 1150°ซ (ข1) 1000°ซ (ข2) 1150°ซ 90
- 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังของเซรามิกในระบบ PZT-PMN
กับอุณหภูมิขึ้นเตอร์ 91
- 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังสูงสุดของเซรามิกในระบบ PZT-PMN
กับปริมาณเฟส PZT 92
- 4.27 ลักษณะของรอยกดและรอยแตกบนเซรามิกจากหัวกดวิกเกอร์ของ
(ก) เซรามิก PZT (ข) 0.7PZT-0.3PMN (ค) 0.1PZT-0.9PMN และ (ง) PMN 93
- 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อรอยแยกของเซรามิก
ในระบบ PZT-PMN กับอุณหภูมิขึ้นเตอร์ 94
- 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานต่อรอยแยกเฉลี่ยของเซรามิก
ในระบบ PZT-PMN กับปริมาณเฟส PZT 95

อักษรย่อและสัญลักษณ์

PZT	เลดเซอร์โคเนตไททาเนต
PMN	เลดแมกนีเซียมไนโอเบต
PT	เลดไททาเนต
PZ	เลดเซอร์โคเนต
BT	แบเรียมไททาเนต
PLZT	เลดแลนทานัมเซอร์โคเนตไททาเนต
F	แรง
A	พื้นที่
E	มอดุลัสของยัง
σ	ความเค้นเชิงเส้น
ε	ความเครียดเชิงเส้น
G	มอดุลัสเฉือน
τ	ความเค้นเฉือน
γ	ความเครียดเฉือน
θ	ความเครียดรวม
δP	ความดันที่เปลี่ยนแปลง
$\delta V/V$	ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาตรเดิม
K_c	ค่าความต้านทานต่อรอยแตก จะใช้กับกรณีของการทดสอบที่มีค่าความเค้นในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของการให้แรง (σ_{33}) เท่ากับศูนย์
K_I	ค่าความต้านทานต่อรอยแตกที่ให้แรงในลักษณะตั้งฉากกับรอยแตก
K_{Ic}	ค่าความต้านทานต่อรอยแตกในแนวระนาบ (plan strain fracture toughness) จะใช้กับกรณีของการทดสอบที่มีค่าความเครียดในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของการให้แรง (ε_{33}) เท่ากับศูนย์
Y	ตัวแปรที่ขึ้นกับขนาด
α	ลักษณะเฉพาะของรอยแตก

σ_f	ความเค้นในเซรามิก
C	ความยาวของรอยแตก
CMCs	วัสดุผสมที่มีเซรามิกเป็นเมทริกซ์
H/E	ค่าความแข็งต่อค่ามอดูลัสของยัง
E_i	สนามไฟฟ้า
S_j	ความเค้นเชิงกลเนื่องจากสนามไฟฟ้า
d_{ij}	ค่าคงที่พิโซอิเล็กตริก
P_i	สภาพขั้วไฟฟ้า
T_j	ความเค้น
k	ตัวประกอบคู่ควบทางพิโซอิเล็กตริก
K_{33}	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
PZT 53/47	เลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่มีสัดส่วนของเซอร์โคเนียมต่อไทเทเนียมเท่ากับ 53:47
PZT 53/47+Nb	เลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่มีสัดส่วนของเซอร์โคเนียมต่อไทเทเนียมเท่ากับ 53:47 ที่เจือด้วยไนโอเบียม
PZNT 88/12	เลดซิงค์ไนโอเบตไททาเนตที่มีสัดส่วนของเลดซิงค์ไนโอเบตต่อเลดไททาเนตเท่ากับ 88:12
PZNT 91/9	เลดซิงค์ไนโอเบตไททาเนตที่มีสัดส่วนของเลดซิงค์ไนโอเบตต่อเลดไททาเนตเท่ากับ 91:9
PMNT 67/33	เลดแมกนีเซียมไนโอเบตไททาเนตที่มีสัดส่วนของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตต่อเลดไททาเนต เท่ากับ 67:33
PMNT 70/30	เลดแมกนีเซียมไนโอเบตไททาเนตที่มีสัดส่วนของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตต่อเลดไททาเนต เท่ากับ 70:30
PSTT 55/45	เลดสตรอนเชียมไททาเนตที่มีสัดส่วนของเลดสตรอนเชียมไททาเนตต่อเลดไททาเนต เท่ากับ 55:45
PSNT 58/42	เลดสตรอนเชียมไนโอเบตไททาเนตที่มีสัดส่วนของเลดสตรอนเชียมไนโอเบตต่อเลดไททาเนต เท่ากับ 58:42

PSMNT 29/34/37	เลดสตรอนเชียมแมกนีเซียมไนโอเบตไททานเนตมีสัดส่วนของเลดสตรอน เชียมไททานเนตต่อเลดแมกนีเซียมไนโอเบตต่อเลดไททานเนตเท่ากับ 29:34:37
PSZNT 29/40/31	เลดสตรอนเชียมซิงค์ไนโอเบตไททานเนตมีสัดส่วนของเลดสตรอนเชียมไททา เนตต่อเลดซิงค์ไนโอเบตต่อเลดไททานเนตเท่ากับ 29:40:31
T _c	อุณหภูมิคูรี
MPB	บริเวณรอยต่อเฟส
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
R-curve	กราฟความต้านทาน
Pyr, Pyro	ไพโรคลอว์
PMNZ/10	เลดแมกนีเซียมไนโอเบียมเซอร์โคเนต โดยมีสูตรโมเลกุลเป็น Pb (Mg _{0.3} Nb _{0.6} Zr _{0.1})O ₃
PMNZ/3	เลดแมกนีเซียมไนโอเบียมเซอร์โคเนต โดยมีสูตรโมเลกุลเป็น Pb (Mg _{0.32} Nb _{0.65} Zr _{0.03})O ₃
PTC	เลดแคลเซียมไททานเนต
PZFNTU	เลดเซอร์โคเนตไอออนไนโอเบียมไททานเนตที่เจือด้วยยูเรเนียม โดยมีสูตร โมเลกุลเป็น Pb _{1.02} (Zr _{0.58} Fe _{0.20} Nb _{0.20} Ti _{0.02}) _{0.994} U _{0.006}
XRD	X-ray diffraction
JCPDS	Joint Committee for Powder Diffraction Standards
EDX	Energy Dispersive X-ray Spectrophotometry