

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 จุดประสงค์ของการศึกษาวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	4
2.1 วัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก	4
2.2 สมบัติเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric properties)	6
2.3 โพลาไรเซชัน (Polarization)	8
2.4 สมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric properties)	9
2.5 ค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริก	12
2.6 สัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก	12
2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	14
2.8 โซเดียมโพแทสเซียมไนโอเบต	23
(Sodium Potassium Niobate: $\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{NbO}_3$)	
2.9 นิกเกิลออกไซด์ (NiO)	24
2.10 นาโนคอมโพสิตเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิก	25
2.11 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	26
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	43
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	43
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	44

3.3	วิธีการทดลอง	45
3.3.1	การเตรียมผงแคลไซต์โซเดียมโพแทสเซียมไนโอเบต	45
3.3.2	การเตรียมสารประกอบโซเดียมโพแทสเซียมไนโอเบต/นิกเกิลออกไซด์ ($\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{NbO}_3/\text{NiO}$)	48
3.3.2.1	สัดส่วนของสารประกอบเซรามิก	48
3.4	การตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)	51
3.5	การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของเซรามิก	53
3.5.1	การหาค่าความหนาแน่น	53
3.5.2	การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	54
3.6	การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก	55
3.6.1	การตรวจสอบค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative permittivity, ϵ_r) และค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก (Dielectric loss, $\tan\delta$) ที่อุณหภูมิห้อง	55
3.6.2	การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์กับอุณหภูมิ (Relative permittivity VS Temperature)	56
3.6.3	การตรวจสอบสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก (Ferroelectric measurement)	56
3.6.4	การตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric coefficient, d_{33})	57
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผล	58
4.1	การเตรียมผงแคลไซต์ NKN	58
4.1.1	ผลการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิค XRD	59
4.1.2	ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเทคนิค SEM	60
4.1.3	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์	61
4.2	การเตรียมเซรามิกโซเดียมโพแทสเซียมไนโอเบต/นิกเกิลออกไซด์ ($\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{NbO}_3/\text{NiO}$)	62

4.2.1 ผลการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิค XRD ของผงอนุภาคนาโน NiO	62
4.2.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเทคนิค SEM ของอนุภาคนาโน NiO	63
4.2.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการกระจาย พลังงานของรังสีเอกซ์ผงอนุภาคนาโน NiO	64
4.2.4 ผลการตรวจสอบค่าความหนาแน่นของเซรามิก NKN/NiO	65
4.2.5 ผลการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบของเซรามิก NKN/NiO ด้วยเทคนิค XRD	70
4.2.6 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของ NKN/NiO ด้วยเทคนิค SEM	71
4.2.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเกรน NKN ด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์	79
4.2.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาค NiO ด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์	80
4.2.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเกรน ที่ยังไม่สามารถระบุชนิดได้ ด้วยเทคนิคการกระจายพลังงาน ของรังสีเอกซ์	81
4.2.10 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเซรามิก NKN/NiO ด้วยเทคนิคการกดแบบวิกเกอร์	82
4.2.11 ผลการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก	84
4.2.11.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก	84
4.2.11.2 ผลของความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กทริก	92
4.2.11.3 ผลการตรวจสอบสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก	94
4.2.11.4 ผลการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก	95
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	98
5.1 สรุปผลการทดลอง	98
5.2 ข้อเสนอแนะ	100

เอกสารอ้างอิง	101
ภาคผนวก	104
ประวัติผู้เขียน	105

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซรามิกคอมโพสิต BT/Ag ที่ได้จากการวัดวง ฮิสเทอรีซิส ที่ความต่างศักย์ 1.5 kV/mm	36
2.2 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์และสภาพความเป็นแม่เหล็ก ของเซรามิกนาโนคอมโพสิต BT/Ni	40
3.1 แสดงถึงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	43
3.2 แสดงถึงอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	44
3.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบ โซเดียมโพแทสเซียมไนโอเบต ในระบบ $(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})\text{NbO}_3$	46
3.4 แสดงอัตราส่วนสารประกอบเซรามิก NKN/NiO-nano	48
3.5 แสดงสภาวะการทดลองของการวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์	52
4.1 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิคEDS ของผงแคลไซน์ NKN	61
4.2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิคEDS ของผงแคลไซน์ NiO	64
4.3 แสดงผลการตรวจสอบค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองของเซรามิก NKN/NiO ในชุดที่ผ่านการซินเตอร์ที่ 1000 1050 1100 และ 1150°C เปรียบเทียบกับเซรามิก NKN	65
4.4 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเซรามิก NKN/1 vol% NiO ที่บริเวณเกรนของ NKN	79
4.5 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเซรามิก NKN/1 vol% NiO ที่บริเวณก้อน NiO	80
4.6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค EDS ของเซรามิก NKN/1 vol% NiO ที่บริเวณไม่ทราบชนิดของสารประกอบ	81
4.7 แสดงค่าความแข็งเทียบกับความหนาแน่นและขนาดเกรน โดยเฉลี่ย ของเซรามิก NKN ที่อุณหภูมิซินเตอร์ 1100 °C และ NKN/NiO ที่อุณหภูมิซินเตอร์ 1050 °C	83

4.8	แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก ณ อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิคูรีของเซรามิก NKN และเซรามิก NKN/NiO	94
4.9	แสดงผลการตรวจสอบสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกของเซรามิก NKN และ NKN/NiO ในชุดการทดลองที่ผ่านการซินเตอร์ ที่อุณหภูมิ 1050°C ที่สนามไฟฟ้าประมาณ 10 kV/cm	95
4.10	แสดงสมบัติเพียโซอิเล็กทริกของเซรามิก NKN และ NKN/NiO โดยใช้เทคนิคการโพลิงแบบขั้นตอน	97

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ E-P ของสาร Ferroelectric	5
2.2 แสดงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในสารเพียโซอิเล็กทริก	7
2.3 แสดงไดโพลภายในเนื้อสาร (ก) ก่อนทำการโพลลิง (ข) ระหว่างการโพล (ค) ภายหลังการโพล	8
2.4 แสดงทิศทางของแนวการเคลื่อนที่ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก	13
2.5 ส่วนประกอบและหลักการทำงานเบื้องต้นของ SEM	16
2.6 ระบบความดันสุญญากาศของ SEM	18
2.7 ลักษณะอุปกรณ์ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง	20
2.8 แสดงโครงสร้างออร์โทโรมบิกของเซรามิก NKN ณ อุณหภูมิห้อง	23
2.9 แสดงโครงสร้างของนิกเกิลออกไซด์ (NiO)	24
2.10 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ ของสารประกอบ โซเดียมโพแทสเซียมไนโอเบต	26
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ และ ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกที่อุณหภูมิห้อง	27
2.12 แสดงวงออสเทอริซีซของเซรามิกโพแทสเซียมโซเดียมไนโอเบตที่อุณหภูมิห้อง	27
2.13 แสดง XRD pattern ของเซรามิกคอมโพสิต BT/Ni เทียบกับปริมาณของ Ni ที่เติมลงไป	28
2.14 แสดงค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองและค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ เทียบกับปริมาณของ Ni ในสัดส่วนต่างๆกัน	29
2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก เทียบกับปริมาณของ Ni ที่เติมลงไป ในสัดส่วนต่างๆ ที่ทำการวัด ณ อุณหภูมิห้อง	29
2.16 แสดง XRD pattern ของเซรามิกคอมโพสิต PZT/Ni เทียบกับปริมาณของ Ni ที่เติมลงไป	31

2.17	แสดงค่าความเป็นเตตระโกนอล (c/a) ของเซรามิกคอมโพสิต PZT/NiO เทียบกับปริมาณของ NiO ในสัดส่วนต่างๆกัน	31
2.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ได้เทียบกับ อุณหภูมิซินเตอร์ และปริมาณของ NiO ที่เติมลงไปในส่วนต่างๆกัน	32
2.19	แสดงโครงสร้างจุลภาคที่ได้จากกล้อง SEM (ก) เซรามิก PZT (ข) เซรามิกคอมโพสิต PZT/NiO ที่ปริมาณของ NiO 7.4 vol% ณ อุณหภูมิ 1120 °C	32
2.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ค่าโมดูลัสของยัง และค่าความทนทานต่อการแตกหักเทียบของเซรามิกคอมโพสิต PZT/NiO เทียบกับปริมาณของ NiO ที่เติมลงไปในส่วนต่างๆกัน	33
2.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกทั้งก่อนและหลังการโพลึง กับค่า K_p ที่อุณหภูมิ 1120 °C เทียบกับปริมาณของ NiO ที่เติมลงไป	33
2.22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง(ก)ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ และค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกที่อุณหภูมิห้อง (ข)สภาพการนำไฟฟ้า เมื่อเทียบกับ ปริมาณของ Ag ที่เติมลงไป	35
2.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าคงที่เพียโซอิเล็กทริก เทียบกับปริมาณของ Ag ที่เติมลงไปในส่วนต่างๆกัน	35
2.24	แสดงผลของการวัดวง ฮิสเทอรีซิส ที่สนามไฟฟ้า 1.5 kV/mm เทียบกับ ปริมาณของ Ag ที่เติมลงไปในส่วนต่างๆกัน	36
2.25	แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิกคอมโพสิต PZT/Ag	37
2.26	แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของวิกเกอร์เทียบกับปริมาณของ Ag ที่เติมลงไปและภาพแสดงหัววัดที่ทำการทดสอบสัมผัสกับผิวหน้าของเซรามิก	38
2.27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อการแตกหักของเซรามิก คอมโพสิต PZT/Ag เทียบกับปริมาณของ Ag ที่เติมลงไป โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัย PZT/Pt	39
2.28	แสดงโครงสร้างจุลภาคที่ได้จากกล้อง SEM ของเซรามิกนาโนคอมโพสิต BT/Ni (a) 0 vol% (b) 1 vol% (c) 5 vol% (d) 35 vol% และ (d) 50 vol% ตามลำดับ	41

2.29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) สภาพยอมสัมพัทธ์ และ (ข) สภาพต้านทานไฟฟ้า เทียบกับปริมาณ Ni ที่เติมลงไปในส่วนต่างๆกัน	42
2.30	แสดงสภาพความเป็นแม่เหล็กที่วัดได้จากเซรามิกนาโนคอมโพสิต BT/Ni ที่ปริมาณ Ni ในส่วนต่างๆกัน	42
3.1	แสดงภาพขั้นตอนการเตรียมสารประกอบโซเดียมโพแทสเซียมไนโอเบต ($\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{NbO}_3$)	47
3.2	แสดงเงื่อนไขในการแคลไซน์ของสารประกอบโซเดียมโพแทสเซียมไนโอเบต ($\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{NbO}_3$)	48
3.3	แสดงแผนภาพขั้นตอนการเตรียมเซรามิก $\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{NbO}_3/\text{NiO}$ -nano powder	50
3.4	แสดงเงื่อนไขในการเผาซินเตอร์เซรามิก NKN/NiO-nano	51
4.1	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ของผง $\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{NbO}_3$ ณ อุณหภูมิแคลไซน์ที่ 900°C	59
4.2	แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของผงแคลไซน์ $\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{NbO}_3$ ในชุดที่ผ่าน การแคลไซน์ที่ 900°C ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ก) ภาพถ่ายแบบ SEI ที่ความต่างศักย์ 15 kV (ข) ภาพถ่ายแบบ LEI ที่ความต่างศักย์ 2 kV	60
4.3	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ของผงอนุภาคนาโน NiO	62
4.4	แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของผงอนุภาคนาโน NiO (ก) ภาพถ่ายแบบ LEI ที่ความต่างศักย์ 2 kV กำลังขยาย 500 เท่า (ข) ภาพถ่ายแบบ SEI ที่ความต่างศักย์ 15 kV กำลังขยาย 100,000 เท่า	63
4.5	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการซินเตอร์กับความหนาแน่น ที่ได้จากการทดลองของเซรามิก NKN และ NKN/NiO	66
4.6	แสดงชิ้นงานเซรามิก NKN/NiO หลังการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1000°C (ก) 1 vol. % (ข) 2 vol. % (ค) 3 vol. %	68
4.7	แสดงชิ้นงานเซรามิก NKN/NiO หลังการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1050°C (ก) 1 vol. % (ข) 2 vol. % (ค) 3 vol. %	68
4.8	แสดงชิ้นงานเซรามิก NKN/NiO หลังการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1100°C (ก) 1 vol. % (ข) 2 vol. % (ค) 3 vol. %	69
4.9	แสดงชิ้นงานเซรามิก NKN/NiO หลังการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1150°C (ก) 1 vol. % (ข) 2 vol. % (ค) 3 vol. %	69

4.10	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ของผง $\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5}\text{NbO}_3/\text{NiO}$ ที่อุณหภูมิซินเตอร์ที่ 1050°C	71
4.11	แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก NKN ที่อุณหภูมิ 1100°C (ก) As-sintered และ (ข) Thermal etching ที่กำลังขยาย 3000 เท่า	72
4.12	แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก NKN/ 1 vol% NiO ที่อุณหภูมิ 1050°C แบบ (ก) As-sintered และ (ข) Thermal etching ที่กำลังขยาย 3000 เท่า	73
4.13	แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก NKN/ 2 vol% NiO ที่อุณหภูมิ 1050°C แบบ (ก) As-sintered และ (ข) Thermal etching ที่กำลังขยาย 3000 เท่า	74
4.14	แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก NKN/ 3 vol% NiO ที่อุณหภูมิ 1050°C แบบ (ก) As-sintered และ (ข) Thermal etching ที่กำลังขยาย 3000 เท่า	75
4.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนโดยเฉลี่ยของเซรามิก NKN และ NKN/NiO	76
4.16	แสดงภาพโครงสร้างทางจุลภาคชนิด BEI composition mode ของเซรามิก NKN/1 vol% NiO ที่อุณหภูมิ 1050°C โดยผ่านการ Thermal etching ถ่ายที่กำลังขยาย 3000 เท่า	77
4.17	แสดงภาพโครงสร้างทางจุลภาคชนิด BEI composition mode ของเซรามิก NKN/2 vol% NiO ที่อุณหภูมิ 1050°C โดยผ่านการ Thermal etching ถ่ายที่กำลังขยาย 3000 เท่า	77
4.18	แสดงภาพโครงสร้างทางจุลภาคชนิด BEI composition mode ของเซรามิก NKN/3 vol% NiO ที่อุณหภูมิ 1050°C โดยผ่านการ Thermal etching ถ่ายที่กำลังขยาย 3000 เท่า	78
4.19	แสดงขั้นตอนการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนของอนุภาค NiO	78
4.20	แสดงภาพโครงสร้างทางจุลภาคชนิด LEI ของเซรามิก NKN/2 vol% NiO ที่อุณหภูมิ 1050°C ถ่ายที่กำลังขยาย 10,000 เท่า (ก) ความไม่สมบูรณ์ของผลึกบริเวณขอบเกรน (ข) เฟสที่ยังไม่สามารถระบุได้บริเวณขอบเกรน (ค) NiO ภายในเกรน (เมื่อมีการเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์)	82
4.21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนโดยเฉลี่ยกับค่าความแข็งแรงแบบวิกเกอร์ ของเซรามิก NKN/NiO	83

4.22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกที่อุณหภูมิห้อง ของเซรามิก NKN/NiO เทียบกับความถี่และสัดส่วนของ NiO ที่เติมลงไป	85
4.23	แสดงค่า (ก) คงที่ไดอิเล็กทริกของเซรามิกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก NKN/NiO ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ เทียบกับสัดส่วน NiO ที่เติมลงไป โดยที่ภาพเล็กแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิคูรี (T_C)	86
4.24	แสดงค่า (ก) คงที่ไดอิเล็กทริกของเซรามิกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก NKN/NiO ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ เทียบกับสัดส่วน NiO ที่เติมลงไป โดยที่ภาพเล็กแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิคูรี (T_C)	87
4.25	แสดงค่า (ก) คงที่ไดอิเล็กทริกของเซรามิกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก NKN/NiO ที่ความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ เทียบกับสัดส่วน NiO ที่เติมลงไป โดยที่ภาพเล็กแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิคูรี (T_C)	88
4.26	แสดงค่า (ก) คงที่ไดอิเล็กทริกของเซรามิกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก NKN/NiO ที่ความถี่ 500 กิโลเฮิร์ตซ์ เทียบกับสัดส่วน NiO ที่เติมลงไป โดยที่ภาพเล็กแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิคูรี (T_C)	89
4.27	แสดงค่า (ก) คงที่ไดอิเล็กทริกของเซรามิกและ (ข) ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก NKN/NiO ที่ความถี่ 1 เมกกะเฮิร์ตซ์ เทียบกับสัดส่วน NiO ที่เติมลงไป โดยที่ภาพเล็กแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิคูรี (T_C)	90
4.28	แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเซรามิก (ก) NKN (ข 1 vol% (ค) 2 vol% และ (ค) 3 vol% NiO ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์จนถึง เมกกะเฮิร์ตซ์ โดย แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิคูรี (T_C)	93
4.29	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าและโพลาไรเซชัน (P-E loop) ของเซรามิก NKN/NiO	96
4.30	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกกับสนามไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการโพลลิงแบบขั้นตอนของเซรามิก NKN/NiO	97

อักษรย่อและสัญลักษณ์

NKN	Sodium Potassium Niobate
LiNbO ₃	Lithium Niobate
K _{5.4} CuTa ₁₀ O ₂₉	Calcium Copper Tantalate
NiO	Nickel Oxide
CuO	Copper Oxide
BaTiO ₃	Barium Titanate
PZT	Lead Zirconate Titanate
BNT	Bismuth Sodium Titanate
Na ₂ CO ₃	Sodium Carbonate
K ₂ CO ₃	Potassium Carbonate
Nb ₂ O ₅	Niobium Oxide
CO ₂	Carbon Dioxide
XRD	X-ray Diffraction technique
SEM	Scanning Electron Microscopy
PVA	Polyvinylalcohol
T _c	Curie temperature
P _r	Remanent Polarization
E _c	Coercive electric field
d ₃₃	Piezoelectric Coefficient
tanδ	Dielectric loss
ε _r	Relative permittivity
k	Electromechanical coupling factor
C	Capacitance
ρ	Density