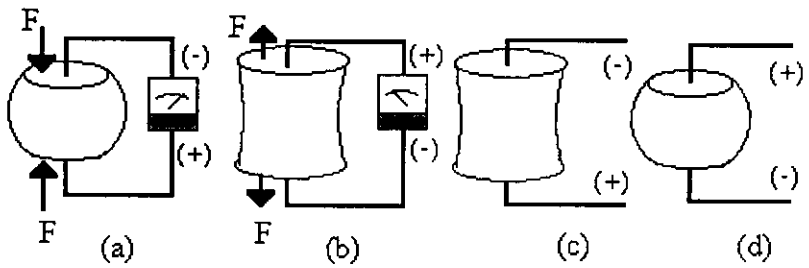
บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

โลกแห่งเทคโนโลยีในปัจจุบันนี้คงต้องยอมรับว่าวัสดุไพอิโซเซรามิก (piezoceramic) มีบทบาทที่สำคัญยิ่ง เพราะสามารถนำไปประยุกต์เป็นสิ่งประดิษฐ์และอุปกรณ์ต่างๆ มากมายเช่น เครื่องกำเนิดคลื่นเหนือเสียงทางการแพทย์ (medical ultrasound) เครื่องขูดหินปูน (ultrasonic scaler) เครื่องกระตุ้นหัวใจด้วยไฟฟ้า (defibrillator) เครื่องขับเร้า (actuator) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญของเครื่องพิมพ์ ชัตเตอร์ในกล้องถ่ายรูป เครื่องฟอกอากาศ (ultrasonic nebulizer) เครื่องวัดความดันโลหิต (blood pressure monitor) ส่วนประกอบในทรานซิสเตอร์ หรือลำโพง ตัวทรานสดิวเซอร์ (transducer) ในอุปกรณ์อัลตราโซนิก (ultrasonic) วาล์วไฮโดรลิก (hydraulic valve) ตัวจุด (ignitor) ของที่จุดบุหรี่และเตาแก๊ส หัวเล่นแผ่นเสียง ฯลฯ ซึ่งสิ่งประดิษฐ์และอุปกรณ์เหล่านี้อาศัยปรากฏการณ์ไพอิโซอิเล็กทริก[1] (piezoelectric effect) ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1880 โดยสองพี่น้องตระกูลคูรี คือ ปีแอร์ คูรี (Pierre Curie) และแจ็ค คูรี (Jacques Curie) สมบัติไพอิโซอิเล็กทริกมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้าซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของกลไกลดังกล่าวในวัสดุไพอิโซเซรามิกให้เห็นเป็นรูปจำลองอย่างง่าย ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.1



ภาพประกอบที่ 1.1 การเกิดปรากฏการณ์ไพอิโซอิเล็กทริกแบบตรง (direct effect) และแบบผันกลับ (converse effect)

---

[1]ไพอิโซอิเล็กทริก คือศัพท์บัญญัติฟิสิกส์ (ที่มา : http://physics.science.cmu.ac.th/Scripts/thaiwords.htm)

จากภาพประกอบที่ 1.1 (a) กับ (b) แสดงปรากฏการณ์ไพอิโซอิเล็กทริกแบบตรง หรือเรียกอีกแบบหนึ่งว่าปรากฏการณ์เจเนอเรเตอร์ (generator effect) และ (c) กับ (d) แสดงปรากฏการณ์ไพอิโซอิเล็กทริกแบบผันกลับหรือเรียกอีกแบบว่าปรากฏการณ์มอเตอร์ (motor effect)

เลดเซอร์โคเนทไทเทเนท (lead zirconate titanate) นิยมเรียกสั้นๆ ว่า PZT เป็นเซรามิกไพอิโซอิเล็กทริกตัวหนึ่ง ที่สามารถแสดงสมบัติไพอิโซอิเล็กทริกได้ดี โดยเฉพาะเมื่ออัตราส่วนเซอร์โคเนทต่อไทเทเนทเท่ากับหรือใกล้เคียง 52 : 48 (Kong et al., 2001) โดยที่มีค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ (coupling factor) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) และค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริก (piezoelectric constant) สูงที่สุด ดังนั้นจึงทำให้นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยจำนวนมากทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการผลิตและการนำวัสดุ PZT ที่อัตราส่วนดังกล่าวมาประยุกต์เป็นส่วนประกอบในสิ่งประดิษฐ์ต่างๆมากมาย แต่เนื่องจากสมบัติของวัสดุ PZT นั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่น กระบวนการและวิธีการเตรียมอัตราส่วนระหว่างเซอร์โคเนียมต่อไทเทเนียมอุณหภูมิสำหรับการอบผนึก (sintering) ซึ่งจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงๆ จึงทำให้ออกไซด์ของตะกั่วซึ่งมีจุดระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 ^{o}C (Moulson and Herbert, 1990) จึงจำเป็นต้องควบคุมบรรยากาศ เวลาและอุณหภูมิ ในการอบผนึกอย่างรัดกุม เพื่อให้อัตราส่วนผสมของวัสดุที่ผ่านการอบผนึกถูกต้อง จึงทำให้มีการศึกษาพัฒนาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน ลดความซับซ้อนของการผลิต เพื่อนำไปสู่เป้าหมายในการใช้ประโยชน์อย่างสูงสุด

การวิจัยทางด้านวัสดุไพอิโซเซรามิก ยังคงเป็นเรื่องที่จำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับการสร้างองค์ความรู้ใหม่ และเพื่อนำไปประยุกต์สำหรับการผลิตชิ้นงานต่างๆ ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งศึกษาสมบัติของ PZT ที่เกี่ยวกับกระบวนการเตรียมสารตัวอย่าง และประกอบเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับใช้วัดค่าคงที่ต่างๆ ของ PZT เช่น ค่าคัปปลิงแฟกแตอร์ ค่าคงที่ยืดหยุ่น ค่าความเร็วเสียงในวัสดุ PZT ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริก เป็นต้น การวัดค่าความถี่เรโซแนนซ์ (resonsnce frequency) และความถี่แอนติเรโซแนนซ์ (anti-resonsnce frequency) โดยที่ในงานวิจัยนี้อาศัยปรากฏการณ์มอเตอร์ เพราะว่าปรากฏการณ์เจเนอเรเตอร์ ค่าคงที่ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขณะทำการวัดจะเกิดการรั่วไหลในอากาศได้ง่าย ดังนั้นจึงเลือกใช้ปรากฏการณ์มอเตอร์ ในการตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของ PZT จึงคาดว่างานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยด้านวัสดุไพอิโซเซรามิกต่อไป

2. การตรวจเอกสาร

หลังจากมีการค้นพบปรากฏการณ์ไพอิโซอิเล็กตริกงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติไพอิโซอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก PZT ก็เกิดขึ้นอย่างมากมาย สำหรับการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการและวิธีการเตรียมและวิธีการวัดค่าคงที่ต่างๆพอสรุปได้โดยสังเขปดังนี้

Miroslas (1991) ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิสำหรับการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าคงที่ยืดหยุ่น (elastic compliance) เมื่อสนามไฟฟ้าและค่าการโพลาไรเซชันคงที่ของ $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ ที่อัตราส่วน x เท่ากับ 0–58 และ $Pb[(Sb_{1/3}Mn_{2/3})_{0.05}Zr_xTi_{0.95-x}]O_3$ ที่อัตราส่วน x เท่ากับ 0-53.5 โดยเตรียมสารตัวอย่างจากวิธีปฏิกิริยาตรง มีลักษณะรูปสี่เหลี่ยมขนาด 10 x 4 x 1 *mm* ตรวจสอบค่า ค่าคงที่ยืดหยุ่นค่า คงที่คัปปลิงแฟกเตอร์ และค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กตริก โดยวิธีเรโซแนนซ์ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก วัดที่ 1 *kHz* โดยค่าต่างๆ วัดที่อุณหภูมิ 23 และ 28 ^oC นำค่าที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณทางทฤษฎี ปรากฏว่าค่าคงที่ยืดหยุ่น มีความขัดแย้งกับค่าที่ได้จากทฤษฎีเพราะ PZT ที่อัตราส่วนดังกล่าวมีเฟสร่วม 2 เฟส คือเฟสเตตระโกนอลและรอมโบฮีดรัล ซึ่งทิศทางการโพลาไรเซชันทั้ง 2 เฟส ที่เกิดขึ้นทำให้ค่าคงที่ยืดหยุ่นที่วัดได้มีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี

Katiya และ Srivastava (1994) ศึกษาสาร PZT รูปแผ่นกลมบาง เส้นผ่านศูนย์กลาง 13 *mm* ความหนา 1 *mm* ที่อัตราส่วน Zr:Ti เท่ากับ 0.515:0.485 และเติมสารเจือโครเมียม (Cr_2O_3) ที่อัตราส่วนต่างๆ วิเคราะห์ค่าความต้านทาน (resistance) ค่าขดลวดเหนี่ยวนำ (inductance) และค่าความจุไฟฟ้า (capacitance) จากเครื่องวัดความต้านทานเชิงซ้อน (impedance) โดยวัดค่าความจุไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี คือต่อแบบอนุกรมและต่อแบบขนาน เขียนกราฟความถี่กับค่าความต้านทานเชิงซ้อน เพื่อหาความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์ คำนวณค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริก และค่าคงที่ไดอิเล็กทริก พบว่าการวัดค่าความต้านทาน ค่าขดลวดเหนี่ยวนำ และค่าความจุไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี สามารถใช้ในการคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริก ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ ได้ และเมื่อเติมสารเจือโครเมียม จำนวน 0.32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก PZT มีค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริก และค่าคงที่ไดอิเล็กทริก มีค่ามากที่สุด

Millar และคณะ (1995) เตรียม PZT ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเท่ากับ 1800 และ 4000 โดยวิธีปฏิกิริยาตรง (direct reaction หรือ solid state reaction) อบผนึกที่ 1100-1260 ^oC และอบผนึกที่ 1,000 ^oC มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงอัดในช่วง 50-200 *MPa* และเปรียบเทียบขนาดเกรน (grain size) ความพรุน (porosity) พบว่าอุณหภูมิอบผนึกมีผลต่อขนาดเกรนและความพรุน มีผล

ต่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริกของ PZT กล่าวคือถ้าอุณหภูมิอบผนึกสูงขึ้นขนาดเกรนก็โตขึ้นแต่ความพรุนลดลง ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริกก็เพิ่มขึ้น

Lin และคณะ (1995) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน Zr:Ti ของ PZT ที่มีปริมาณ Zr 53-64 เปอร์เซ็นต์ ด้วยการเตรียม 2 วิธี คือไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal) และวิธีปฏิกิริยาตรงใช้อุณหภูมิอบผนึกเช่นเดียวกันคือ 1250 ^{o}C ปรากฏว่าสารที่เตรียมโดยวิธีการแรกและมี Zr เท่ากับ 53 เปอร์เซ็นต์ มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าแฟกเตอร์คุณภาพ (quality factor) และค่าคัปปลิงแฟกเตอร์สูงสุด และพบว่าค่าการสูญเสียทางไฟฟ้า (dielectric loss) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ Zr เพิ่มขึ้น ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์แปรผันตรงกับขนาดเกรนของสาร

Shidong และคณะ (1995) เตรียม PZT ในรูปทรงแท่งกลมยาว (rod) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 *mm* ใช้แรงกดอัด 11.5 *MPa* อบผนึกที่ 1260 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหลังอบผนึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่า 4.2 *mm* ความหนาแน่น 95–97 เปอร์เซ็นต์ ตัดสารตัวอย่างความยาว 14 *mm* ขัดและทำขั้วด้วยกาวเงิน โพลิง (poling) ที่อุณหภูมิ 130 ^{o}C ความเข้มสนามไฟฟ้า 2 kV/mm ใช้เวลา 2 นาที ขณะโพลิงจุ่มสารตัวอย่างในน้ำมัน ศึกษาพบว่าเวลาอุณหภูมิและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้โพลิง สาร PZT มีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก (dielectric loss) คือ ค่าไดอิเล็กทริกก่อนโพลิงจะมีค่าน้อยกว่าหลังจากผ่านการโพลิง และค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก หลังโพลิงมีค่าน้อยกว่าก่อนโพลิง

Garg และ Agrawal (1999) ศึกษา $Pb(Zr_{0.535}Ti_{0.465})O_3$ เกี่ยวกับการเพิ่มและลด PbO โดยวิธีปฏิกิริยาตรง จากผง PbO TiO_2 และ ZrO_2 เผาแคลไซน์ (calcination) ที่ 850 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง บดและคัดขนาด แบ่งสารออก 6 กลุ่ม โดยเพิ่ม PbO จาก 0.0 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขึ้นรูปแบบแผ่นกลมแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 *mm* ความหนา 3 *mm* ใช้แรงอัด 500 *MPa* แบ่งสารตัวอย่างเป็น 2 กลุ่มสำหรับการอบผนึกที่ 1220 ^{o}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพิ่ม $PbZrO_3$ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หนึ่งกลุ่มอีกกลุ่มไม่เพิ่ม ตรวจสอบพบว่าเมื่อเพิ่ม PbO ทำให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นและเมื่อเพิ่ม $PbZrO_3$ จะทำให้มีความหนาแน่นสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เติม วัดค่าความแข็งแกร่งพบว่า PZT มีความแข็งแกร่งน้อยที่สุดที่เปอร์เซ็นต์ PbO เท่ากับศูนย์และมีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มและลดเปอร์เซ็นต์ PbO ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากสำหรับการเติม PbO แต่จะมีค่าลดลงถ้าหาก PbO ลดลง ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะมีค่าลดลงเมื่อ PbO ลดลง แต่เมื่อเติม PbO จะมีค่าสูงขึ้นค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากสำหรับการเติม PbO

Xue และ John (1999) เตรียม PZT ด้วยกระบวนการอบผนึกแบบขั้นตอนเดียว และใช้อุณหภูมิในการอบผนึกต่ำ โดยใช้การตกตะกอนร่วมสารตั้งต้นไฮดรอกไซด์ (hydroxide) และสาร

ละลายไนเตรท (nitrate solution) แล้วขึ้นรูปด้วยการอัดทุกทิศทาง (isostatic pressing) ด้วยแรงอัด 350 *MPa* อบไล่น้ำที่อุณหภูมิ 400 500 และ 600 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงและนำมาอบผนึกในช่วงอุณหภูมิ 950-1150 ^{o}C พบว่าเม็ดสารที่อบไล่น้ำที่อุณหภูมิ 500^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และอบผนึกที่อุณหภูมิ 1050 ^{o}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีความหนาแน่นสูงประมาณ 99.2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกเท่ากับ 1024 และ 0.21 ตามลำดับ

Kong และคณะ (2000) เตรียม $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ โดยวิธีบดผสมแบบแห้งที่เวลาต่างๆ คือ 20 40 60 และ 80 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่าเมื่อบดผสมเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ยังคงมีเฟสของ PbO และเกิดเฟสเพอรอฟสไกต์ (perovskite phase) แต่เมื่อบดผสมเป็นเวลามากขึ้นเฟสของ PbO ก็จะหายไปและเมื่อบดผสมเป็นเวลา 80 ชั่วโมง จะได้ $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ ที่ขนาดอนุภาค 10 *nm* และเมื่ออบผนึกที่ 1100 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะให้ความหนาแน่น 95–97 เปอร์เซ็นต์โดยทฤษฎี ขนาดเกรนลดลงประมาณ 12-4 μm สำหรับการบดผสมเป็นเวลา 60 และ 80 ชั่วโมง วัดค่าอุณหภูมิคูรีโดยใช้การวัดค่าไดอิเล็กทริกเทียบกับอุณหภูมิที่ความถี่ 1 *kHz* มีค่าประมาณ 396 ^{o}C

Wong และคณะ (2001) ศึกษาสาร PZT พบว่ามีโครงสร้างผลึกแบบเพอร์รอฟสไกต์ (perovskite) โดยมี Pb อยู่ที่มุมทั้ง 4 และมี *O* อยู่ตรงกลางของผิวหน้าทั้ง 8 และมี Zr หรือ Ti อยู่ตรงกลางของเซลล์หน่วย และเพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติของสาร PZT จึงนำสารตัวอื่นมาแทนใน Pb Zr หรือ Ti เช่นนำ La_2O_3 แทนใน Pb หรือนำ SbO_2 แทนใน Zr หรือ Ti จะเรียกว่า soft doping หรือเรียกว่า soft PZT และเมื่อนำ Na_2O และ K_2O แทนใน Pb หรือนำ Fe_2O_3 และ MgO แทนใน Zr หรือ Ti จะเรียกว่า hard doping หรือเรียกว่า hard PZT แล้ววิเคราะห์สมบัติไพอิโซอิเล็กทริกของสาร PZT เมื่อเติมสารเจือลงไปพบว่า อุณหภูมิคูรี (Curie temperature) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าการสูญเสียทางไฟฟ้า ค่าคงที่คัปปลิงแฟกเตอร์ และค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริก มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมสารเจือชนิดต่างๆ

Kong และ Ma (2001) เตรียม $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ จากสารตั้งต้นคือผงของ PbO TiO_2 และ ZrO_2 โดยวิธีปฏิกิริยาตรง คำนวณน้ำหนักของสารตั้งต้นและเพิ่ม PbO 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก บดผสมในอัลกอฮอล์ ใช้ ZrO_2 เป็นลูกบดใช้เวลา 4 ชั่วโมง อบแห้งที่ 80 ^{o}C นำผงที่ได้มาบดผสม โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol : PVA) 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปแบบแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 *mm* และมีความหนา 1 *mm* แรงอัด 50 *MPa* ไม่เผาแคลไซน์สารตัวอย่าง อบผนึกที่ 1000 1050 1100 1150 และ 1200 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้อัตราการขึ้นลงอุณหภูมิ 5 $^{o}C/min$ ค้างไฟที่ 600^{o}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัด PVA และป้องกัน PbO ระเหยกลายเป็นไอโดยใช้ $PbZrO_3$ กลบคลุมสารตัวอย่าง ใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

ตรวจผงของสารที่ผ่านการอบผนึกพบว่ามีโครงผลึกแบบเพอรอฟสไกต์ ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 800-870 ^{o}C โดยสาร PZT ที่ผ่านการอบผนึกที่ 1100 ^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีขนาดเกรน 3.5 μm ความหนาแน่น 96 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับทฤษฎี และวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ความถี่ 1 kHz มีค่า 1157 ค่าการโพลาไรเซชันตกค้าง 2.3 $\mu C/cm^2$ และค่าสนามบังคับ 21 kV/cm และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบผนึกขนาดเกรนโตขึ้น

Las และคณะ (2001) ศึกษา PZT ที่อัตราส่วน Zr:Ti ประมาณ 53:47 ซึ่งได้จากสารละลายอินทรีย์ (organic solution) โดยศึกษาเงื่อนไขของการเผาแคลไซน์ และเวลาที่ใช้ในการอบผนึกสารแล้วตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ซึ่งผลการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์สำหรับ PZT ที่เผาแคลไซน์ 600 ^{o}C 3 ชั่วโมง PZT มีเฟสโครงผลึกแบบรอมโบฮีดรัลและเมื่อใช้อุณหภูมิ 700 ^{o}C 3 ชั่วโมง PZT มีเฟสโครงผลึกแบบเตตระโกนอล ค่าความแตกต่างของมวลก่อนเผาและหลังอบผนึกเนื่องจากการระเหยของ PbO ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการเผาแคลไซด์จะมีความแตกต่างมากกว่าการอบผนึก และจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการอบผนึกนานขึ้นทำให้ความหนาแน่นของสารสูงขึ้น

Popa และ Calderon-Moreno (2001) ศึกษาผลของการโพลิงต่อรอยแตก และสมบัติทางไฟฟ้าของ PZT ซึ่งมีรูปทรงแบบแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 25x5x5 mm วัดความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 7.6 g/cm^3 และมีขนาดเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 4.5 μm วัดค่าคงที่ยืดหยุ่น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าเฟกเตอร์คุณภาพ ค่าคัปปลิงเฟกเตอร์ ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริกจากปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ของสารและเปรียบเทียบกับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ให้ในการโพลิง พบว่าเมื่อให้ความเข้มสนามไฟฟ้ามากขึ้นค่าเฟกเตอร์คุณภาพ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าคัปปลิงเฟกเตอร์ มีค่าลดลง แต่ค่าคงที่ยืดหยุ่น และค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กตริกมีค่าเพิ่มขึ้น และผลของการโพลิงต่อรอยแตกพบว่าเมื่อให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าน้อยกว่า 0.1 kV/mm จะไม่มีผลต่อรอยแตกทั้ง 2 แนวคือแนวขนานและแนวเดียวกับทิศสนามไฟฟ้าที่ให้และรอยแตกจะมีค่ามากสุดเมื่อให้ความเข้มสนามไฟฟ้าในช่วง 1-1.5 kV/mm

Wang และคณะ (2001) ศึกษา $Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$ โดยใช้วิธีปฏิกิริยาตรง โดยการเผาอบผนึกจะใช้ $LiBiO_2$ และ CuO 1 และ 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ผสมรวมโดยบดผสมเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นกลมแบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 mm มีความหนา 2.5 mm เผาอบผนึกด้วยอุณหภูมิ 800–1000 ^{o}C โดยใช้อัตราขึ้นของอุณหภูมิเท่ากับ 5 $^{o}C/mm$ ทำขั้วด้วยกาวเงินและอบที่ 800 ^{o}C โพลิงที่ 3 kV/mm 10 นาที ที่ 130^{o}C เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นในกรณีใช้ $LiBiO_2$ และ CuO ผสมรวมและไม่ผสมปรากฏว่ากรณีผสมรวมจะมีความหนาแน่นมากกว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิอบผนึกเดียวกัน เมื่อวัดขนาดเกรนในกรณีใช้ $LiBiO_2$ และ CuO ผสมรวมจะทำให้มีขนาดเกรนโตกว่ากรณีไม่ผสม และเมื่อเติม $LiBiO_2$ กับ Cu ทำให้ค่าคัปปลิง

แฟกเตอร์มีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิอบผนึกอยู่ในช่วง 800-950 ^{o}C แต่ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบผนึกเพิ่มขึ้น

Kong และคณะ (2002) ศึกษา $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ โดยเปลี่ยนแปลงค่า x คือ 0.40 0.48 0.52 และ 0.56 ตามลำดับ โดยเตรียมผง $(Zr_xTi_{1-x})O_3$ ที่ x ต่างๆ เมื่อบดผสมเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ขนาดอนุภาคมีค่า 20-30 *nm* จากนั้นนำ PbO มาบดผสมและเพิ่ม PbO 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเพื่อป้องกัน PbO ระเหย ขึ้นรูปเป็นแผ่นกลมแบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 *mm* ใช้แรงอัด 50 *MPa* อบผนึกที่ 950-1150 ^{o}C 1 ชั่วโมง ใช้อัตราการขึ้นและลงอุณหภูมิเท่ากับ 5 $^{o}C/min$ ค้างไฟฟ้าที่ 600 ^{o}C 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัด PVA ตรวจสอบเฟสโครงสร้างโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์สำหรับการอบผนึกที่ 950 ^{o}C พบว่าเป็น $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ และมีการเปลี่ยนแปลงเฟสจากรอมโบฮีดรัลไปเป็นเตตระโกนอลเมื่อเพิ่ม ZrO_2 จาก 0.40-0.56 และพบว่าเมื่ออุณหภูมิอบผนึกเพิ่มขึ้นขนาดเกรนและค่าตกค้างของโพลาไรเซชันก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันทุกอัตราส่วน x และขนาดเกรนมากที่สุดที่อุณหภูมิอบผนึก 1150 ^{o}C คือประมาณ 4.2 μm ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกก็เช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาที่ อัตราส่วน x พบว่า ที่ เท่ากับ 0.52 มีค่าสูงสุด

Zhao และคณะ (2003) ศึกษาสมบัติของ PZT ที่อัตราส่วน Zr:Ti ประมาณ 53:47 โดยเตรียมจากวิธี โซล-เจล (sol-gel) ซึ่งอบผสานเนื้อ (anneal) 750 ^{o}C 30 นาที ขึ้นรูปเป็นแผ่นกลมแบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 *mm* ความหนา 0.8 *mm* อบผนึกที่ 1200 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ใช้ $PbZrO_3$ กลบคลุมสารตัวอย่างเพื่อป้องการ PbO ระเหยกลายเป็นไอ ตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่ามีโครงสร้างเป็น PZT โดยสมบูรณ์ ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดวัดขนาดขนาดเกรนพบว่ามีความเป็นเนื้อเดียวกันและความพรุนน้อยกว่า 10 วัดสมบัติทางไฟฟ้าโดยทำขั้วสารโพลิงที่ 3 *kV/mm* 20 นาที ที่อุณหภูมิ 120 $\pm$ 2 ^{o}C ในน้ำมัน ค่าการตกค้างของโพลาไรเซชัน 170 $\mu C/cm^2$ ค่าสนามไฟฟ้าบังคับ 30 *kV/cm* ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กทริก 170 *pC/N* ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและการสูญเสียไดอิเล็กทริกเทียบกับความถี่พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่าลดน้อยมากที่ความถี่ต่ำกว่า 700 *MHz* แต่เมื่อความถี่สูงกว่า 1 *GHz* จะลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PZT สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่สูงๆ ได้

3. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเตรียมสาร PZT ที่มีอัตราส่วน Zr:Ti เท่ากับหรือใกล้เคียง 0.5:0.5 และมีโครงสร้างผลึกเพอร์รอฟสไกต์
2. ศึกษาเรโซแนนซ์ทางไฟฟ้า (electrical resonance) ของสารตัวอย่างขนาดต่างๆ
3. วิเคราะห์ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์และค่าคงที่ชนิดอื่นที่เกี่ยวข้องของสารตัวอย่าง
4. สาธิตการใช้ประโยชน์ชิ้นงานที่ทำจากหรือมี PZT เป็นส่วนประกอบ