

บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนเอกสารทางวิชาการ

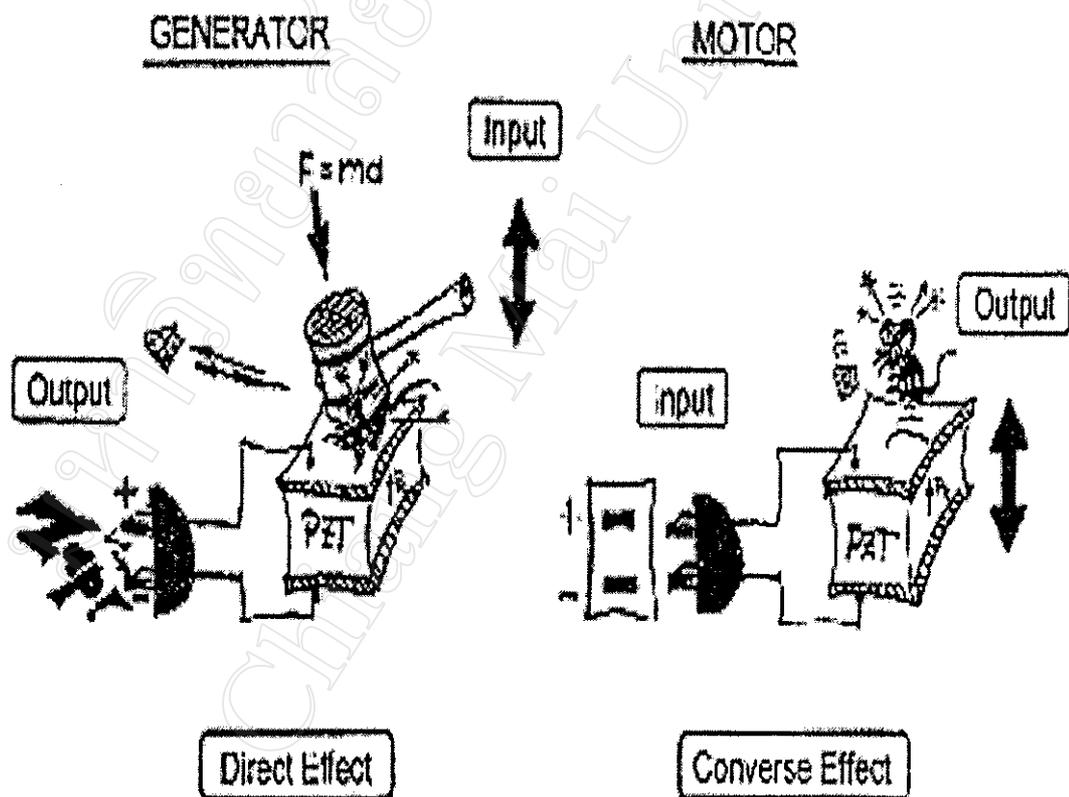
ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมา ลักษณะที่สำคัญ โครงสร้างและสมบัติต่างๆ สารในระบบพีแซดที่ อันได้แก่ PZ, PT และ PZT โดยมีรายละเอียดตามลำดับดังต่อไปนี้

2.1 ความเป็น พิโซอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์ไฟฟ้าพลังดันหรือปรากฏการณ์พิโซอิเล็กทริก (piezoelectricity) ได้ถูกค้นพบขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1880 [1] โดย Jacques และ Pierre Curie ซึ่งได้ค้นพบในระหว่างที่ทั้งสองทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของแรงดันที่มีต่อการเกิดประจุไฟฟ้าของผลึก (crystal) อันได้แก่ ควอทซ์ (quartz), ซิงค์เบลนด์ (zincblende) และทัวร์มาลีน (tourmaline) เป็นต้น ซึ่งคำว่า "พิโซ" (piezo) นี้เป็นภาษากรีก (Greek) ที่หมายถึง แรงดันหรือแรงกด ดังนั้น ปรากฏการณ์พิโซอิเล็กทริกที่ดี จึงเป็นปรากฏการณ์ที่แสดงถึงการสร้างประจุไฟฟ้าให้เกิดขึ้นอันเป็นผลมาจากแรงกดอัดเชิงกล (mechanical pressure) หรืออีกนัยหนึ่ง คือ เป็นปรากฏการณ์ที่ใช้เรียกการเกิดกระบวนการแยกขั้วไฟฟ้า (electric polarization) ขึ้นในวัสดุ (materials) เมื่อได้รับความเครียดเชิงกล (mechanical strain) ซึ่งการแยกขั้วไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเครียดที่วัสดุนั้นได้รับ [2]

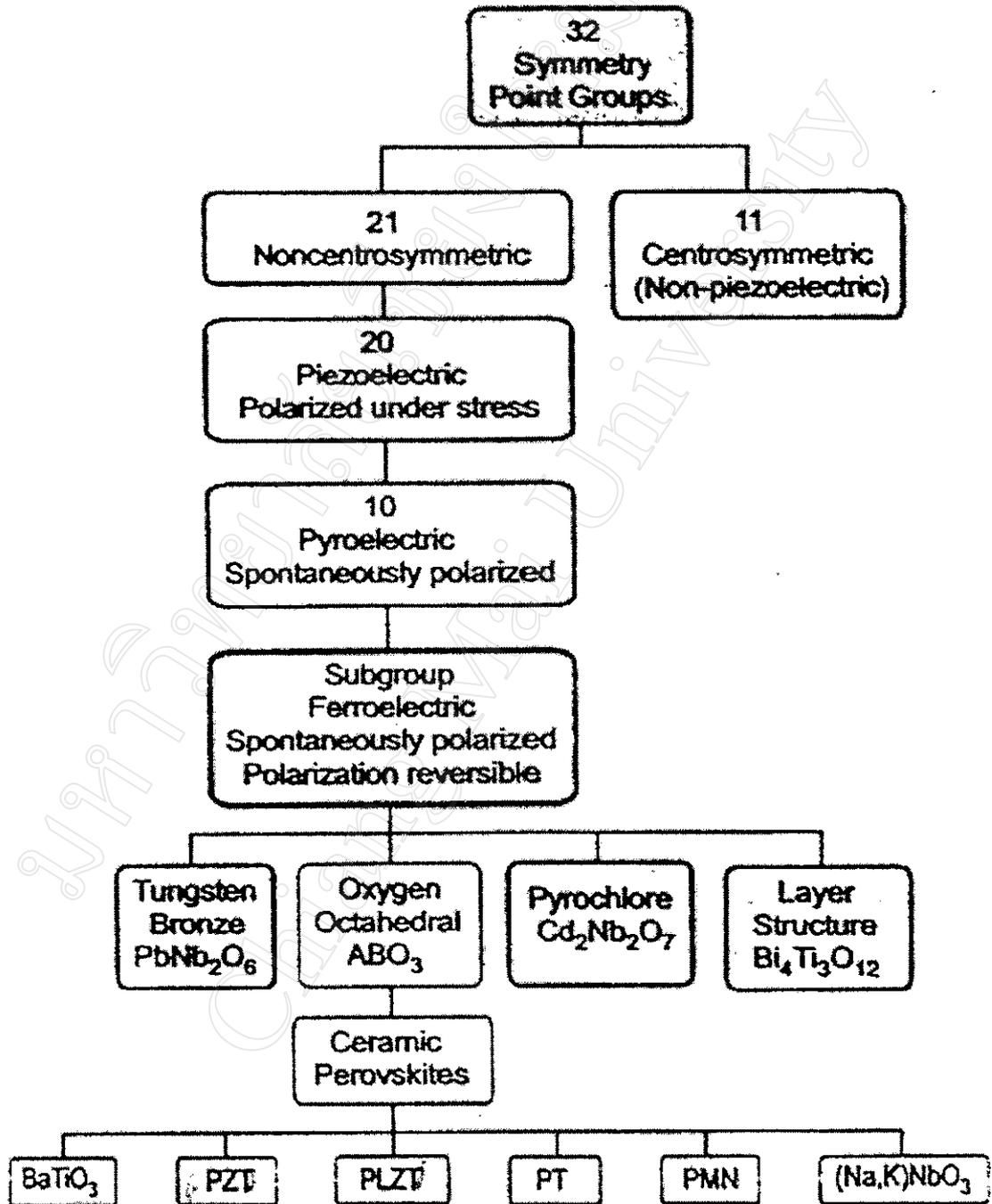
สารประกอบ PZT นั้นจัดได้ว่าเป็นสารที่สามารถแสดงสมบัติทางพิโซอิเล็กทริกได้ดี กล่าวคือ เมื่อสาร PZT นั้นถูกแรงกลมากจะทำให้เกิดความเค้น (stress) ขึ้น (เช่นถูกกดหรือถูกกระแทก) จะส่งผลให้เกิดมีการแยกขั้วไฟฟ้า (โพลาริเซชัน) และเกิดประจุไฟฟ้าขึ้นมานบนผิวของตัววัสดุดังกล่าว โดยจะเรียกปรากฏการณ์แบบนี้ว่า ปรากฏการณ์ตรง (direct effect) หรือ ปรากฏการณ์ตัวก่อกำเนิด (generator effect) และในทำนองกลับกัน ถ้าสาร PZT ได้รับสนาม

ไฟฟ้าจากภายนอก ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างในรูปของการยืดและหดตัวที่เรียกว่าปรากฏการณ์ย้อนกลับ (converse effect) หรือปรากฏการณ์มอเตอร์ (motor effect) จากปรากฏการณ์ข้างต้นนี้ พบว่า ปริมาณของโพลาริเซชันที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของความเค้นที่ให้แก่สาร และประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของแรงที่กระทำ เช่น เป็นแรงกด หรือแรงดึง เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงปรากฏการณ์ไพโซอิเล็กทริกในเซรามิก PZT ทั้งสองแบบดังที่กล่าวมา [1]

ความเป็นพิโซอิเล็กทริกนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะสมมาตร (symmetry) ของหน่วยเซลล์ (unit cell) โดยสารที่สามารถแสดงสมบัติความเป็นพิโซอิเล็กทริกได้ดีนั้น จะต้องมียูนิตเซลล์ประเภทที่ไม่มีศูนย์กลางสมมาตร (noncentrosymmetry) ซึ่งจากการพิจารณาระบบของสมมาตรทั้ง 32 กลุ่มจุด (point groups) ในทางผลึกวิทยา พบว่า มีกลุ่มจุดที่มีหน่วยเซลล์เป็นแบบดังกล่าวนี้เพียง 21 กลุ่มจุด โดยมี 20 กลุ่มจุด ที่สามารถแสดงสมบัติความเป็นพิโซอิเล็กทริกได้ (ดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 2.2) [1]



รูปที่ 2.2 แสดงการจัดแบ่งกลุ่มของวัสดุพวกอิเล็กโทรเซรามิกด้วยการใช้สมมาตรของวัสดุ

ในการอธิบายถึงปรากฏการณ์ไพโซอิเล็กทริก ทั้งแบบปรากฏการณ์ตรงและย้อนกลับนี้ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติยืดหยุ่น (elastic property) ของวัสดุ ดังต่อไปนี้

$$D = \epsilon^T E + dT \quad (\text{ตัวก่อกำเนิด: generator}) \quad (2.1)$$

$$S = s^E T + dE \quad (\text{มอเตอร์: motor}) \quad (2.2)$$

เมื่อ D คือ ค่าการกระจัดทางไดอิเล็กทริก (dielectric displacement) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ ค่าของการแยกขั้ว (polarization) พอดี

T คือ ความเค้น (stress)

E คือ สนามไฟฟ้า (electric field)

S คือ ความเครียด (strain)

d คือ ค่าสัมประสิทธิ์ทางไพโซอิเล็กทริก

s คือ ค่าการยอมตาม (compliance) ซึ่งเป็นส่วนกลับของ ค่ายังมอดูลัส (Young's modulus)

ϵ คือ ค่าสภาพยอม (permittivity)

โดยตัวอักษรที่เป็นตัวยกนั้น จะเป็นสัญลักษณ์ที่บอกถึงเงื่อนไขที่ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ เช่น ในกรณีของ ϵ^T จะหมายถึง ค่าสภาพยอมของวัสดุเมื่อแรงเค้นมีค่าคงที่ นั่นคือ เมื่อไม่มีแรงเค้นมากกระทำต่อวัสดุไพโซอิเล็กทริกนั่นเอง ส่วนในกรณีของ s^E จะหมายถึง ค่าการยอมตามของวัสดุเมื่อค่าสนามไฟฟ้านั้นคงที่ ซึ่งมีความหมายว่า ขั้ว (electrodes) ของวัสดุนั้นถูกลัดวงจรเอาไว้ (shorted) แต่เนื่องจากสมบัติความเป็นไพโซอิเล็กทริกของวัสดุนี้จะมีค่าขึ้นอยู่กับทิศทาง (direction) ที่ทำการให้แรงหรือสนามไฟฟ้า จึงได้มีการเขียนตัวเลขซึ่งเป็นตัวห้อยเพื่อบอกทิศทางเช่น ในกรณีของค่า d_{33} จะหมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ทางไพโซอิเล็กทริกของวัสดุที่มีการแยกขั้วไฟฟ้าเกิดขึ้นในทิศทาง 3 เมื่อมีการให้แรงแก่วัสดุไพโซอิเล็กทริกในทิศทาง 3 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$D_3 = d_{33}T_3 \quad (\text{ปรากฏการณ์ตรง}) \quad (2.3)$$

$$S_3 = d_{33}E_3 \quad (\text{ปรากฏการณ์ย้อนกลับ}) \quad (2.4)$$

โดยที่ค่า d ของทั้งสองสมการดังกล่าวนี้ จะมีค่าอยู่ในเรือนของ $\times 10^{-12} \text{C/N}$ ในกรณีของปรากฏการณ์ตรง และมีค่าอยู่ในเรือนของ $\times 10^{-12} \text{m/V}$ สำหรับในกรณีของปรากฏการณ์ย้อนกลับ ซึ่งวัสดุที่มีค่า d สูง มักจะนิยมนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสั่น หรือเคลื่อนที่เช่น โซนาร์ (SONAR) และ เครื่องบันทึกเสียง (sounders) เป็นต้น [1]

สำหรับในกรณีของวงจรเปิด (open-circuit) นั้น จะต้องมีการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรเปิด (voltage coefficient : g) ด้วย โดยค่า g นี้ จะบอกถึงความสามารถของวัสดุในการสร้างศักย์ไฟฟ้า (voltage) ต่อหนึ่งหน่วยแรงดันที่ให้แก่วัสดุ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ g และ d นี้มีความสัมพันธ์กันดังแสดงด้วยสมการที่ 2.5 คือ

$$g = \frac{d}{\epsilon \epsilon_0} \quad (2.5)$$

เมื่อ ϵ คือ ค่าสภาพยอมของวัสดุ และ

ϵ_0 คือ ค่าสภาพยอมของสุญญากาศ มีค่า $8.854 \times 10^{-15} \text{ F/mm}$

ในเซรามิกที่มีค่าสัมประสิทธิ์ g สูงนั้น จะไม่สามารถเกิดการปรับเปลี่ยนกระบวนการแยกตัวไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เซรามิกพวกนี้มีค่าสัมประสิทธิ์คู่ควบพิโซอิเล็กทริก (k) ที่ต่ำ จึงมักจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์พวกที่จุดเตาแก๊ส และไฟแช็ค เป็นต้น [1] ดังนั้น การนำวัสดุพิโซอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึง ค่าสัมประสิทธิ์คู่ควบพิโซอิเล็กทริก (k) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของวัสดุพิโซอิเล็กทริกในการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

กรณีปรากฏการณ์ตรง

$$k^2 = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ได้}}{\text{พลังงานกลที่ให้เข้าไป}} \quad (2.6)$$

กรณีปรากฏการณ์ย้อนกลับ

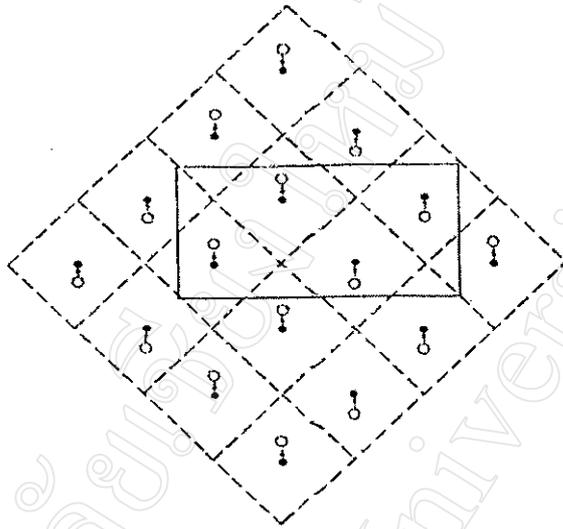
$$k^2 = \frac{\text{พลังงานกลที่ได้}}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ให้เข้าไป}} \quad (2.7)$$

และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัสดุนั้นไม่สมบูรณ์ จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์คู่ควมพิโซอิเล็กทริกของวัสดุพิโซอิเล็กทริกส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ (นั่นคือ k จะมีค่าไม่เกิน 1) [4]

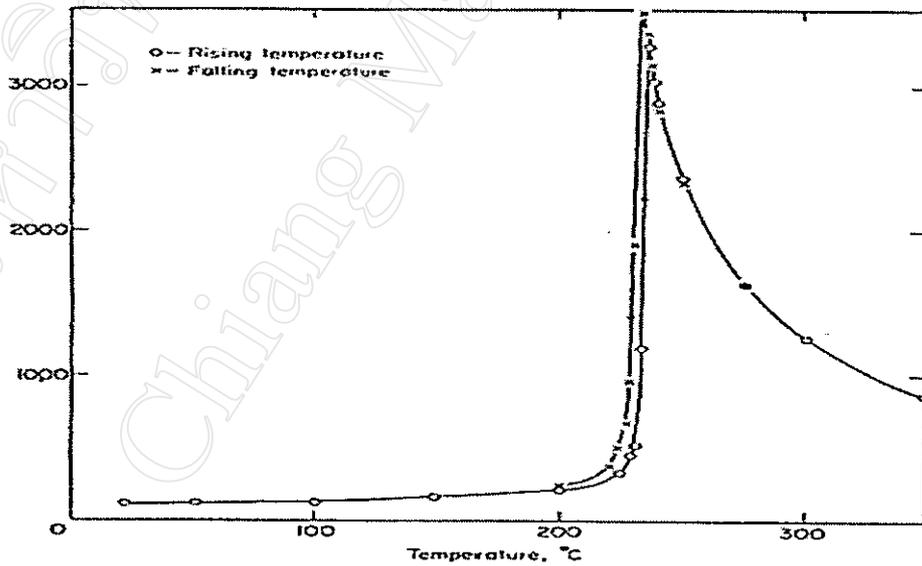
2.2 สารพิโซอิเล็กทริก

2.2.1 เลดเซอร์โคเนต ($PbZrO_3$)

ในช่วงเริ่มแรกที่มีการศึกษาสมบัติของสาร $PbZrO_3$ (PZ) นั้น นักวิจัยต่างก็เชื่อกันว่าสาร PZ นี้เป็นวัสดุที่มีสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก ทั้งนี้เนื่องจากว่าสาร PZ นี้มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ อนุกรมมิกูรี ที่สูง จนกระทั่ง Sawaguchi และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาอย่างจริงจังและรายงานว่ PZ นี้แท้ที่จริงแล้วมีสมบัติเป็นสารแอนติเฟอร์โรอิเล็กทริก ที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบออโรรมบิก (orthorhombic) โดยที่แต่ละหน่วยเซลล์มีแลตทิซพารามิเตอร์ ดังนี้ $a = 5.87 \text{ \AA}$ $b = 11.74 \text{ \AA}$ และ $c = 8.20 \text{ \AA}$ นอกจากนี้ยังพบอีกว่า PZ นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกจากออโรรมบิกไปเป็นแบบคิวบิก (cubic) ที่อุณหภูมิประมาณ 230°C หรือที่เรียกว่าอุณหภูมิคูรีของ PZ นั้นเอง



รูปที่ 2.3 แบบจำลองแสดงลักษณะของการจัดเรียงตัวของขั้วที่ตรงข้ามกัน (antipolar) ในระนาบ ab ของ PZ [5]



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZ [5] เมื่อ ● แทนพฤติกรรมของค่า ϵ_r เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในขณะที่ทำการวัด และ × แทนพฤติกรรมของค่า ϵ_r เมื่อมีการลดอุณหภูมิในขณะที่ทำการวัด

ในปัจจุบันนี้สาร PZ ได้ถูกพัฒนาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทต่างๆ เป็นจำนวนมาก อาทิเช่น ตัวเก็บประจุ (capacitors) และพวกอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการกักเก็บพลังงาน (energy storage applications) [6] นอกจากนี้ ยังมีรายงานอีกว่า PZ นี้มีสมบัติหลายประการที่คล้ายคลึงกับพวกไมโครเวฟไดอิเล็กตริก (microwave dielectrics) ด้วยแต่จะแสดงการผ่อนคลายไดอิเล็กตริก (dielectric relaxation) ณ บริเวณใกล้ๆ ความถี่ไมโครเวฟ (microwave frequency) [7] ซึ่งคาดว่าจะ เป็นผลมาจากการระเหยออกไปของตะกั่ว (Pb) ในช่วงของกระบวนการเตรียม ดังนั้นการควบคุมการลดอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเตรียมให้มีความเหมาะสมก็จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก PZ ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้นในอนาคตได้

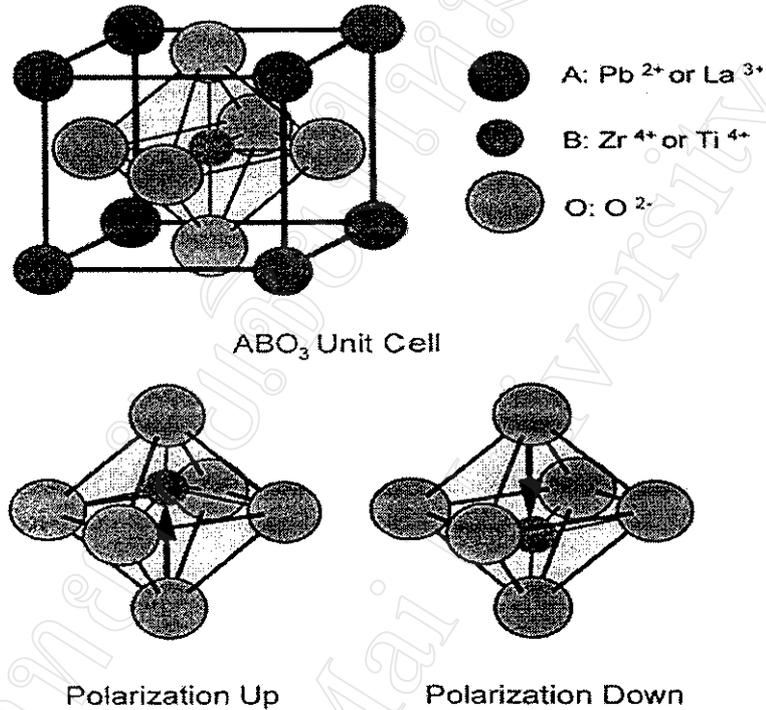
2.2.2 เลดติตาเนต ($PbTiO_3$: PT)

PT เป็นสารเฟอร์โรอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างผลึกคล้ายกับเลดเซอร์โคเนต ($PbZrO_3$) และแบเรียมติตาเนต ($BaTiO_3$) นั่นคือ มีโครงสร้างเป็นแบบเพอรอฟสไคท์ ซึ่ง PT นี้มีอุณหภูมิคูรีที่สูงมาก (ประมาณ 490°C) และเมื่อทำการลดอุณหภูมิจนผ่านอุณหภูมิคูรี จะทำให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงเฟสจากคิวบิก ที่มีสมบัติเป็นพาราอิเล็กตริก (paraelectric) ไปเป็นเตตระโกนอล (tetragonal) ที่มีสมบัติเป็นเฟอร์โรอิเล็กตริกแทน โดยที่การเปลี่ยนแปลงเฟสจากคิวบิกไปเป็นเตตระโกนอลนี้จะทำให้ค่า c/a ของ PT เปลี่ยนแปลงจาก 1.00 ไปเป็น 1.064 [2] ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างมากของสาร PT และนอกจากนี้ยังพบอีกว่าการลดอุณหภูมิลงไปจนต่ำกว่าอุณหภูมิคูรีนั้นจะทำให้มีความเครียดเกิดขึ้นในวัสดุมากกว่าร้อยละ 6 โดยปริมาตร ดังนั้นเซรามิก PT บริสุทธิ์จึงมักจะเกิดรอยร้าว (crack) หรือเกิดการแตกหัก (fracture) ขึ้นในระหว่างขั้นตอนการเตรียมได้ง่ายนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามความเครียดที่เกิดขึ้นนี้ก็สามารุทำให้ลดลงได้โดยวิธีการเติมสารเจือ (dopants) ที่เหมาะสม เช่น Ca, Sr, Ba, Sn และ W ลงไป ซึ่งสารที่นิยมศึกษากันในปัจจุบันมักจะอยู่ในรูปของ $(Pb_{0.76}Ca_{0.24})((Co_{0.50}W_{0.50})_{0.04}Ti_{0.96})O_3$ ที่มีการเติมแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ลงไปในปริมาณ 2 mol% เป็นต้น เพราะองค์ประกอบทางเคมีในรูปนี้จะ

ช่วยลดค่าสัดส่วน c/a ในวัสดุและนอกจากนี้ยังช่วยลดอุณหภูมิคูรีลงมาอยู่ที่ประมาณ 225°C แทนการศึกษา PT ที่บริสุทธิ์ซึ่งกระทำได้ยาก [2] แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าสารเจือที่เติมลงไปนั้นจะช่วยแก้ไขปัญหาเรื่องการเตรียมเซรามิก PT ได้ดี แต่คุณสมบัติอันโดดเด่นหลายๆ ประการของ PT ก็มักจะได้รับอิทธิพลของสารเจือเหล่านี้ไปในทางลบด้วยเช่นกัน ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อทำความเข้าใจในธรรมชาติของสาร PT ตลอดจนถึงการคิดค้นพัฒนาเพื่อหาแนวทางในการเตรียมเซรามิก PT ที่มีคุณภาพสูงจึงเป็นประเด็นที่ทำทนายและน่าสนใจอย่างยิ่งในปัจจุบัน เพราะ PT นั้นนับได้ว่าเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวเก็บประจุ, เครื่องอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (ultrasonic transducers) และ เทอร์มิสเตอร์ เป็นต้น [8]

2.2.3 เลดเซอร์โคเนตติตาเนต (PZT)

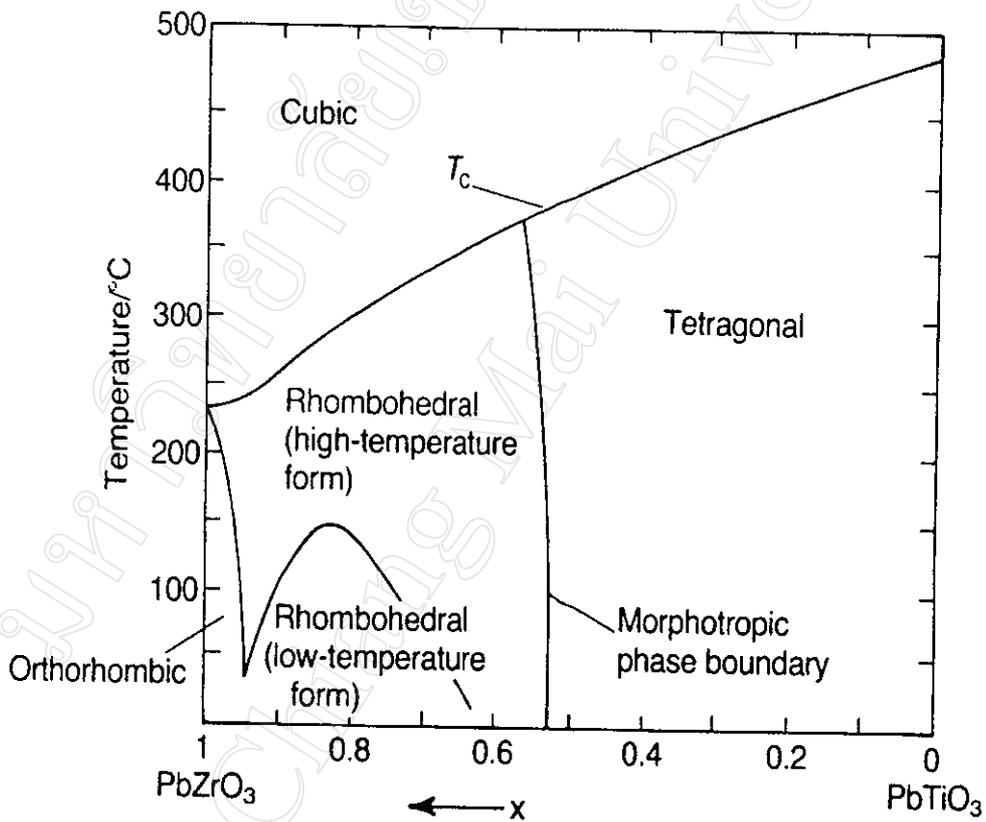
PZT เป็นสารพีโซอิเล็กตริกที่อยู่ในรูปของการผสมกันระหว่าง PZ ซึ่งเป็นสารแอนติเฟอร์โรอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบออโรอโรมบิก กับสารเฟอร์โรอิเล็กตริก PT ที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเตตระโกนอล โดย PZT จะมีโครงสร้างเป็นแบบเพอโรฟสไกต์ (ABO_3) ซึ่งมีไอออน Ti^{4+} และ Zr^{4+} อยู่ ณ ตำแหน่ง B และมีไอออนของ Pb^{2+} อยู่ ณ ตำแหน่ง A ของหน่วยเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงหน่วยเซลล์ (unit cell) แบบเพอรอฟสไกต์ ABO₃ ของ PZT [1]

เซรามิก PZT นี้จะมีอุณหภูมิคูรีอยู่ที่ประมาณ 390 °ซ [2] ที่ อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรี PZT จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเพอรอฟสไกต์ที่มีหน่วยเซลล์แบบคิวบิก ซึ่งมีสมบัติเป็นพาราอเล็กทริก และเมื่อลดอุณหภูมิลงต่ำกว่าอุณหภูมิคูรี ลักษณะหน่วยเซลล์ของ PZT จะเปลี่ยนไปเป็นแบบเตตระโกนอล หรืออโรมโบฮีดรอล (rhombohedral) ซึ่งมีสมบัติเป็นเฟโรอเล็กทริก โดยในกรณีของเฟสเตตระโกนอลนั้นจะเกิดกระบวนการโพลาไรเซชันขึ้นได้เองในทิศทาง <100> ส่วนในกรณีของเฟสอโรมโบฮีดรอลกระบวนการโพลาไรเซชันจะเกิดขึ้นเองในทิศทาง <111> โดยสมบัติทางด้านไดอิเล็กทริกและไพโซอเล็กทริกของ PZT นี้จะมีความโดดเด่นมากใน PZT ที่มีองค์ประกอบอยู่ ณ บริเวณที่เรียกว่า มอร์โฟโทรปิกเฟสบาแดรี่ (Morphotropic Phase Boundary : MPB)

ดังเฟสไดอะแกรมแสดงในรูปที่ 2.6 เนื่องจากเป็นบริเวณที่สาร PZT มีเฟสผสมผสานกันอยู่ระหว่าง เฟสเตตระโกนอลที่อยู่ในสเปซกรุปแบบ $P4mm$ [5] และเฟสรอมโบฮีดรอลที่อยู่ในสเปซกรุปแบบ $R3C$ [5] โดย PZT ที่ว่านี้จะมีสัดส่วนระหว่าง Zr:Ti ณ อุณหภูมิห้องเป็น 52:48 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ทำให้เซรามิก PZT สามารถแสดงสมบัติไพโซอิเล็กตริกได้ดีที่สุด [2]



รูปที่ 2.6 แสดงเฟสไดอะแกรมของระบบสาร $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ [9]

เนื่องจาก PZT เป็นวัสดุที่สามารถแสดงสมบัติไพโซอิเล็กทริกได้ดี มีค่าสัมประสิทธิ์คูลอมบ์ไฟฟ้าเชิงกลที่สูง มีค่าอุณหภูมิคูรีที่สูง จึงสามารถนำมาใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆ ได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถทำการจัดเรียงขั้วไฟฟ้า (โพล) ได้ง่าย และนอกจากนี้ยังมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ที่สูง ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง และสามารถเตรียมได้ง่ายเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการเผาซินเตอร์ไม่สูงมากนัก จึงทำให้ PZT นี้เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทนำ

นับตั้งแต่ มีผู้ค้นพบปรากฏการณ์ไพโซอิเล็กทริกขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1921 [1] ก็ได้มีการศึกษาและพัฒนาสารไพโซอิเล็กทริกขึ้นมาเป็นลำดับ ทั้งนี้รวมถึงการศึกษาและพัฒนาสาร PZT ซึ่งเป็นหนึ่งในบรรดาสารประกอบเฟอร์โรอิเล็กทริกที่มีสมบัติทางไพโซอิเล็กทริกที่โดดเด่น โดยมีกลุ่มนักวิจัยหลายๆ กลุ่ม [10-18] ได้พยายามศึกษาค้นคว้าหาวิธีการเตรียมสาร PZT ที่มีคุณภาพสูง ที่สามารถแสดงสมบัติทางไพโซอิเล็กทริกได้ดีที่สุด โดยได้มีการพัฒนาและปรับปรุงมาเป็นลำดับ ดังนี้

เมื่อประมาณ ปี ค.ศ. 1981 Hankey และ Biggers [10] ได้ศึกษาถึงอุณหภูมิแคลไซน์ที่เหมาะสมต่อการก่อเกิดเฟสของ PZT ที่เตรียมด้วยวิธีอันตรกิริยาสถานะของแข็ง (solid state reaction) และพบว่า PZT เฟสจะเกิดขึ้นมาอย่างสมบูรณ์ ที่ อุณหภูมิประมาณ 775 °ซ ก่อนที่จะมีการระเหยของตะกั่วออกไป และ ในปีเดียวกันนี้ Chandratreya และคณะ [11] ก็ได้ทำการเตรียมสาร PZT จากการใช้ PZ และ PT เป็นสารตั้งต้น และพบว่า PZ จะเกิดการขยายตัวเชิงปริมาตร (volume expansion) ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 450-600 °ซ ในขณะที่ PT จะมีการขยายตัวเชิงปริมาตร เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 700-800 °ซ และนอกจากนี้ยังพบอีกว่า PZT เฟสจะเริ่มปรากฏขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 °ซ ขึ้นไป ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1982 Hankey และ Biggers [12] ได้พบว่าค่าอัตราคงตัว (rate constant) ในการก่อเกิดเฟสของสาร PT ที่เตรียมด้วยวิธีอันตรกิริยาสถานะของแข็งนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อให้แรงอัดในการอัด (pack) ตัวเพิ่มขึ้น ในขณะที่ในกรณีของ PZ นั้นจะมีค่าอัตราคงตัวเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของเซอร์โคเนียออกไซด์ และผลึก PZ มีขนาดลดลง

ในปี ค.ศ. 1983 Cho และ Biggers [13] ได้ทดลองเตรียม PZT ด้วยวิธีการผสมออกไซด์ และวิธีการโมลต์เทนซอลท์ (Molten salt) เปรียบเทียบกัน และพบว่า ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค PZT ที่เตรียมได้จากวิธีการผสมออกไซด์จะมากกว่าในกรณีที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีโมลต์เทนซอลท์ โดยจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 0.3-1.0 μm และนอกจากนี้ยังพบอีกว่า ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิกที่เตรียมได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคสารตั้งต้นที่ใช้เป็นสำคัญ

ในปี ค.ศ. 1989 Zhilun และคณะ [14] ได้รายงานว่าการเติมสารผสมระหว่างโบรอนออกไซด์ บิสมีออกไซด์ และแคดเมียมออกไซด์ ($\text{B}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-CdO}$) ลงไปจะช่วยลดอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการเผาเพื่อเตรียมเซรามิก PZT ลงมา อยู่ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 960-1250 $^{\circ}\text{C}$ และในช่วงเวลาต่อมาก็ได้มีผู้ทำการวิจัยศึกษาเกี่ยวกับวิธีการเตรียม PZT ด้วยการใช้สารช่วยลดอุณหภูมิเผาให้ต่ำลงมาโดยตลอด จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1998 Das และคณะ [15] ได้เตรียมผง PZT ที่มีสัดส่วนระหว่างเซอร์โคเนียมและติตาเนียม (Zr/Ti) เท่ากับ 60:40 จากการใช้สารละลายไตรธาโนลามีน (triethanolamine) และ ไอออนของติตาเนียม, เซอร์โคเนียม และ เลด (Ti^{4+} , Zr^{4+} และ Pb^{2+}) โดยนำส่วนผสมที่ได้มาทำการอบแห้งเพื่อไล่น้ำ (dehydrate) แล้วเผาที่อุณหภูมิ 450 $^{\circ}\text{C}$ ซึ่ง Das และคณะพบว่า การใช้เทคนิคดังกล่าวจะทำให้ได้ผง PZT ที่มีความบริสุทธิ์สูง และเมื่อนำมาตรวจสอบด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์, X-ray line broadening และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทะลุผ่าน (Transmission Electron Microscopy หรือ TEM) พบว่า ผงที่ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 20 nm โดยมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์สูงสุดที่ประมาณ 12475 μm อุณหภูมิคูรีประมาณ 362 $^{\circ}\text{C}$

ต่อมาในปี ค.ศ. 1999 Xue และ John [16] ได้ทำการศึกษาการเตรียม PZT ด้วยกระบวนการเผาซินเตอร์แบบขั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายกว่าวิธีแบบดั้งเดิมและเป็นวิธีที่ใช้ อุณหภูมิในการเผาที่ต่ำกว่า โดยได้ทำการดกตะกอนร่วมสารตั้งต้นไฮดรอกไซด์ (hydroxide) และสารละลายไนเตรต (nitrate) แล้วจึงนำมาขึ้นรูป จากนั้นนำไปเผาไล่น้ำที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 $^{\circ}\text{C}$ เป็น

เวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นจึงอัดขึ้นรูปด้วยการกดอัดแนวเดียว (isostatic pressing) ด้วยแรงอัด 350 MPa ตามลำดับ และเมื่อนำมาเผาซินเตอร์ในช่วงอุณหภูมิ 950-1150 °ซ พบว่า เม็ดสารที่ทำกา
 รอบแห้งเพื่อไล่น้ำ ที่ 500 °ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วทำการเผาซินเตอร์ ณ อุณหภูมิ 1050 °ซ
 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะมีค่าความหนาแน่นสูงถึงประมาณ 99.2% โดยมีค่า ϵ_r และค่าตัวประกอบการ
 สูญเสียเป็นความร้อน ($\tan \delta$) ประมาณ 1024 หรือ 2.1% ตามลำดับ นอกจากนี้ในปีเดียวกัน Tas
 [17] ได้ศึกษาการเตรียมผง $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ ด้วยวิธีการตกตะกอน โดยเริ่มจากการใช้สารละลาย
 เลดคลอไรด์ (PbCl_2), เซอร์โคเนียมคลอไรด์ออกตะไฮเดรต ($\text{ZrCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) และ
 ทิตาเนียมคลอไรด์ (TiCl_4) เป็นสารตั้งต้น โดยการนำไปตกตะกอนในสารละลายที่ประกอบไปด้วย
 ยูเรีย (Urea) แล้วจึงนำไปเผาแคลไซน์ ซึ่ง Tas พบว่า เมื่อทำการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500 °ซ
 เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง จะสามารถเตรียม PZT ที่มีความบริสุทธิ์สูงได้ ต่อมา Xue และคณะ [18]
 ก็ได้ทำการศึกษาการเตรียม PZT ด้วยกระบวนการทางเคมีเชิงกล (mechanochemical) โดยการนำ
 ออกไซด์ของสารตั้งต้นมาผสมกันด้วยการให้แรงกล (mechanical energy) เป็นเวลานานแทนการ
 ให้อุณหภูมิสูงแก่ส่วนผสม และพบว่าผงละเอียด PZT ที่ได้จะมีปริมาณของการจับตัวรวมกันเป็น
 กลุ่ม (agglomerate) น้อยที่สุด เมื่อให้พลังงานกล เป็นเวลานาน 20 ชั่วโมง และเมื่อนำมาเผา
 ซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้เซรามิกที่มีความหนาแน่น สูงถึงประมาณ
 99% โดยมีค่า ϵ_r และค่า $\tan \delta$ ที่ความถี่ 1 kHz ณ อุณหภูมิห้อง ประมาณ 1340 และ 0.6% ตาม
 ลำดับ