การศึกษาการขึ้นรูปและสมบัติไดอิเล็กทริกจากผลของการเจือแลนทานัมในพีซีที ที่ขึ้นรูปโดยเทคนิคหล่อแผ่นบาง

The Study of Fabrication and Dielectric Properties with Lanthanum Doping in PZT by Tape Casting

ภคินี ทองฤทธิ์ (Pakinee Thongrit)* ดร.ปัทมาศ บิณฑจิตต์ (Dr.Patamas Bintachitt)**

บทคัดย่อ

สมบัติไดอิเล็กทริกและไพอิโซอิเล็กทริกของเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT) สามารถควบคุมได้โดยการเจือแลนทานัมเข้าไปในระบบเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการขึ้นรูป โครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาค และสมบัติไดอิเล็กทริก ของเลดแลนทานัมเซอร์โคเนต [$(Pb_{1-x}La_x)(Zr_{1-y}Ti_y)O_3$, PLZT] ที่อัตราส่วน Zr/Ti เป็น 65/35 โดยเจือแลนทานัม 8, 9 และ 10 mol% ด้วยวิธีหล่อแผ่นบาง โดยสเลอรี PLZT สามารถขึ้นรูปแบบแผ่นได้ดี แผ่น PLZT หลังการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 30 min หนา 339 – 371 μm โครงสร้างผลึกของแผ่น PLZT เป็นแบบ perovskite polycrystalline โดยไม่มีเฟสอื่นเจือปน และการเจือแลนทานัมในปริมาณต่างกัน ได้เฟสที่ไม่แตกต่างกัน เกรนของแผ่น PLZT อยู่ในช่วง 0.57 – 0.85 μm เมื่อเจือแลนทานัมปริมาณต่ำ เกรนจะมีขนาดใหญ่ รูพรุนต่ำ สมบัติไดอิเล็กทริกของแผ่น PLZT ที่อัตราส่วน 9/65/35 ดีที่สุดโดยมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (permittivity) สูงสุดที่ 713 และค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริก (dielectric loss) 3.9% ที่ความถี่ 1 kHz

ABSTRACT

Dielectric and piezoelectric properties of Lead Zirconate Ttitanate (PZT) can be controlled by doping with lanthanum for electronic applications. In this research, the fabrication, crystal structure, microstructure, and dielectric properties of Lead Lanthanum Zirconate Titanate [$(Pb_{1-x}La_x)(Zr_{1-y}Ti_y)O_3$, PLZT] tapes with Zr/Ti ratio of 65/35 doped with 8, 9 and 10 mol% lanthanum were investigated. The PLZT tapes can be well fabricated. After PLZT tapes were sintered at 1100°C for 30 min, the thickness of PLZT tapes are 339 – 371 μm. The crystal structure of PLZT tapes are perovskite polycrystalline without second phases and all levels of La doping show no different in phases. Grain sizes of PLZT tapes are 0.57 – 0.85 μm. The lower percent La doping shows bigger grain size with lower porosity. The dielectric property of PLZT with 9/65/35 performs the highest permittivity of 713 with dielectric loss 3.9% at 1 kHz.

คำสำคัญ: เลดแลนทานัมเซอร์โคเนตไททาเนต เทปคาสติ้ง สมบัติไดอิเล็กทริก

Keywords: Lead lanthanum zirconate titanate, Tape casting, Dielectric properties

** นิสิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*

บทนำ

วัสดุไพอิโซอิเล็กทริกเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรมอีกหลายประเภท อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่ถูกนำมาศึกษาเพื่อพัฒนาต่ออย่างแพร่หลาย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากวัสดุไพอิโซอิเล็กทริกมีสมบัติไดอิเล็กทริกที่สามารถกักเก็บประจุไฟฟ้าได้ โดยมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้าของวัสดุไดอิเล็กทริก ด้วยสมบัติของวัสดุไพอิโซอิเล็กทริกจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยมีวัสดุไดอิเล็กทริกเป็นส่วนประกอบ เช่น เซนเซอร์ ทรานสดิวเซอร์ ตัวเก็บประจุ และแอคชูเอเตอร์ เป็นต้น (Trolier-Mckinstry, Muralt, 2004)

วัสดุไพอิโซอิเล็กทริกที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย คือ เลดเซอร์โคเนตไททาเนตมีสูตรทางเคมีเป็น [$Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$, PZT] เกิดจากสารละลายของแข็งระหว่าง เลดเซอร์โคเนต ($PbZrO_3$) กับเลดไททาเนต ($PbTiO_3$) ซึ่งอัตราส่วนระหว่างเลดเซอร์โคเนตต่อเลดไททาเนต (Zr/Ti) มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อสมบัติทางไฟฟ้า (Bintachitt, 2009) และเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หลากหลายขึ้นจึงมีการควบคุมสมบัติของวัสดุ PZT โดยการเติมสารเจือเข้าไปในระบบ ซึ่งสารเจือที่นิยมอย่างมากตัวหนึ่ง คือ แลนทานัม (La^{3+}) โดยสารเจือแลนทานัมเป็นสารเจือชนิดอ่อน เมื่อเจือแลนทานัมเข้าไปในระบบ PZT กลายเป็นเลดแลนทานัมเซอร์โคเนตไททาเนต [$(Pb_{1-x}La_x)(Zr_{1-y}Ti_y)O_3$, PLZT] โดยแลนทานัม ($La^{3+}$) จะเข้าไปแทนที่ในตำแหน่งของเลด (Pb^{2+}) ทำให้ตำแหน่งของโครงสร้าง PZT มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติไดอิเล็กทริก (วันทนีย์, 2547) โดย PLZT อัตราส่วน x/65/35 ที่ $x > 6$ จะแสดงพฤติกรรมแบบ Relaxor ที่แสดงค่าสภาพยอมสัมพัทธ์สูง ค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริกสูง และมีสภาพการเคลื่อนที่บริเวณผนังโดเมนเพิ่มขึ้น (Kamba, 2000)

วิธีการขึ้นรูปแบบหล่อแผ่นบางเป็นวิธีหนึ่งในการขึ้นรูปเซรามิกที่ไม่ซับซ้อน สามารถควบคุมความหนาของแผ่นเทปได้ และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ การเลือกใช้ตัวทำละลายด้วยน้ำถูกเลือกมาใช้ด้วยเหตุผลเรื่องความปลอดภัย คือ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ถึงแม้จะมีข้อจำกัดในเรื่องของการระเหยที่ช้าและขึ้นรูปได้ยากกว่าแบบตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำ แต่การเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและติดไฟได้ง่ายก็เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ระบบตัวทำละลายที่ไม่ใช้น้ำไม่ได้รับความนิยมในการใช้งาน (Hotza, Greil, 1995)

จารุวรรณและคณะได้ศึกษาผลของการปรับระบบออร์แกนิคที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ โดยเตรียมสเลอรี PLZT ที่อัตราส่วน 10/65/35 มีการลดระบบออร์แกนิคเป็น 10-30 wt.% พบว่า แผ่น PLZT ที่มีการปรับลดระบบออร์แกนิคยังสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ แต่แผ่นเทปที่มีการลดระบบออร์แกนิคที่ 30 wt.% มีฟองอากาศเกิดขึ้นจำนวนมาก โดยหลังการเผาผนึก พบว่า แผ่น PLZT มีขนาดเกรนเฉลี่ยประมาณ 1 μm และแผ่น PLZT ที่ไม่มีการลดระบบออร์แกนิค มีรูพรุนเกิดขึ้นน้อยที่สุด (จารุวรรณ, 2560)

เนื่องจากสมบัติที่ดีของวัสดุ PLZT ทำให้วัสดุ PLZT ได้รับความสนใจและได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง ซึ่งหลายงานวิจัยจะมุ่งเน้นเพื่อศึกษาสมบัติของวัสดุ PLZT อัตราส่วน x/65/35 ที่ $x > 6$ เพื่อพัฒนาสมบัติไดอิเล็กทริกให้มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์สูงและมีค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริกต่ำ เพื่อนำวัสดุ PLZT ไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยศึกษาการเตรียมแผ่นเลดแลนทานัมเซอร์โคเนตไททาเนต (PLZT) ที่อัตราส่วนของ Zr/Ti เป็น 65/35 มีการเจือแลนทานัมเป็น 8, 9 และ 10 mol% ด้วยวิธีหล่อแผ่นบางโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำไปเผา

ผนึกที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 30 min และ ศึกษาโครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาค และสมบัติไดอิเล็กทริกของแผ่น PLZT ที่ขึ้นรูปได้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาการขึ้นรูปแบบหล่อแผ่นบางของวัสดุเลดแลนทานัมเซอร์โคเนตไททาเนต (PLZT) และผลกระทบของการเจือแลนทานัมของแผ่น PLZT รวมถึงการศึกษาโครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาคและสมบัติ ไดอิเล็กทริกของ PLZT ที่เตรียมได้

วิธีการวิจัย

การเตรียมสเลอรี และ การขึ้นรูปแผ่น PLZT ด้วยวิธีหล่อแผ่นบาง

เตรียมส่วนผสมของสเลอรี PLZT โดยชั่งส่วนผสมตามลำดับคือ ผง PLZT ที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35 ปริมาณ 55.90 wt.% น้ำปราศจากไอออน 17.10 wt.% ตัวประสาน 24.70 wt.% สารช่วยกระจายตัว 1.90 wt.% และเม็ดบด (จารุวรรณ, 2560) ทำการบดย่อยด้วยเครื่องบดย่อยแบบหมุนเป็นเวลา 5 h จากนั้นทำการแยกเม็ดบดออกจากสเลอรี และเติมตัวประสาน สารเพิ่มความเหนียว สารลดฟอง แล้วกวนด้วยเครื่องผสมสารแบบแม่เหล็ก จากนั้นทำการขึ้นรูปแผ่น PLZT โดยนำสเลอรีที่ได้เทลงในแฮนด์แคสท์ที่ความหนา 1250 μm และขึ้นรูปบนแผ่นรอง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 h เพื่อให้แผ่นเทปแห้ง จากนั้นทำการตัดแผ่น PLZT ด้วยอุปกรณ์สำหรับตัดชิ้นงาน เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 mm และลอกแผ่น PLZT ออกจากแผ่นรอง

การเพิ่มความหนา และการเผาผนึกของแผ่น PLZT

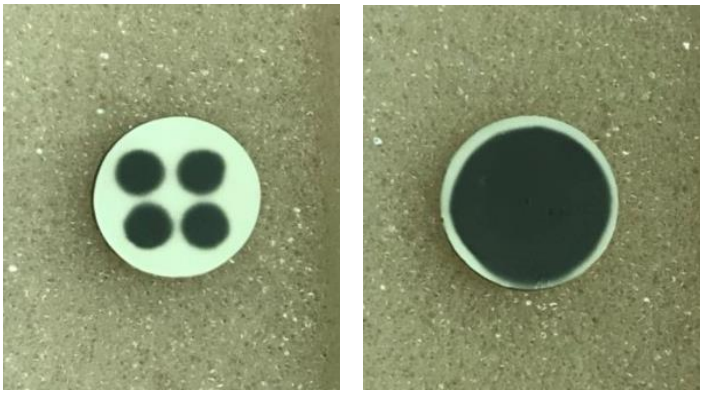
การเพิ่มความหนาของแผ่น PLZT ทำโดยการนำแผ่น PLZT 2 แผ่นมาซ้อนทับกัน โดยใส่ในอุปกรณ์อัด จากนั้นนำเข้าเตาอบอุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 min และกดด้วยเครื่องไฮดรอลิก โดยใช้แรงกด 5000 N เป็นเวลา 6 s และนำออกจากอุปกรณ์การอัด ทั้งนี้การเพิ่มความหนาของแผ่น PLZT ยังส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่น PLZT ด้วย จากนั้นทำการเผาผนึกของแผ่น PLZT ที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 30 min

การทำขั้วอิเล็กโทรดแก่แผ่น PLZT

การวิเคราะห์ทางไฟฟ้าของแผ่น PLZT นั้นจะต้องผ่านการทำขั้วอิเล็กโทรดทั้งด้านบนและด้านล่างของชิ้นงานให้เป็นรูปแบบของตัวเก็บประจุซึ่งเป็นแผ่นโลหะขนานและมีวัสดุไดอิเล็กทริกอยู่ระหว่างแผ่นโลหะขนาน ด้านบนของแผ่นเทป มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโทรดขนาด 3 mm และด้านล่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโทรดขนาด 11 mm ดังรูปที่ 1

การวิเคราะห์แผ่น PLZT

นำแผ่น PLZT ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาค และ สมบัติไดอิเล็กทริก ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD, PANalytical รุ่น X'Pert PRO) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM, Hitachi รุ่น S-3400N) และ เครื่อง LCR Meter (Agilent รุ่น A4980) ตามลำดับ



รูปที่ 1 ขั้วอิเล็กโทรดบนแผ่นเทป PLZT

ผลการวิจัย

ผลการศึกษา PLZT ที่ขึ้นรูปแบบหล่อแผ่นบาง

ผลการขึ้นรูปแผ่น PLZT ที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35 ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบหล่อแผ่นบาง พบว่า ปริมาณของการเจือแลนทานัมใน PZT ที่ต่างกัน สามารถขึ้นรูปแบบแผ่นบางได้ดีไม่แตกต่างกัน สเลอรี PLZT แต่ละชนิดที่ได้จากการบดย่อยมีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความหนืดใกล้เคียงกัน เมื่อเติมตัวประสานและสารเพิ่มความเหนียว จะสังเกตเห็นฟองอากาศเกิดขึ้นหลังจากการกวน แต่เมื่อใส่สารลดฟองและกวนส่วนผสมให้เข้ากันอีกครั้ง พบว่า สเลอรี PLZT ที่ได้มีฟองอากาศลดลง มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น และสเลอรีที่ได้มีความหนืดลดลง เมื่อทำการหล่อแผ่นบาง ทำให้ได้แผ่น PLZT ที่ดี ไม่มีช่วงของแผ่นเทปที่ขาดออกจากกัน ดังรูปที่ 2

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2 แผ่น PLZT ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแผ่นบางที่ความหนา 1250 μm ที่อัตราส่วน (ก) 8/65/35 (ข) 9/65/35 และ (ค) 10/65/35

ผลการศึกษาการเพิ่มความหนาของแผ่น PLZT

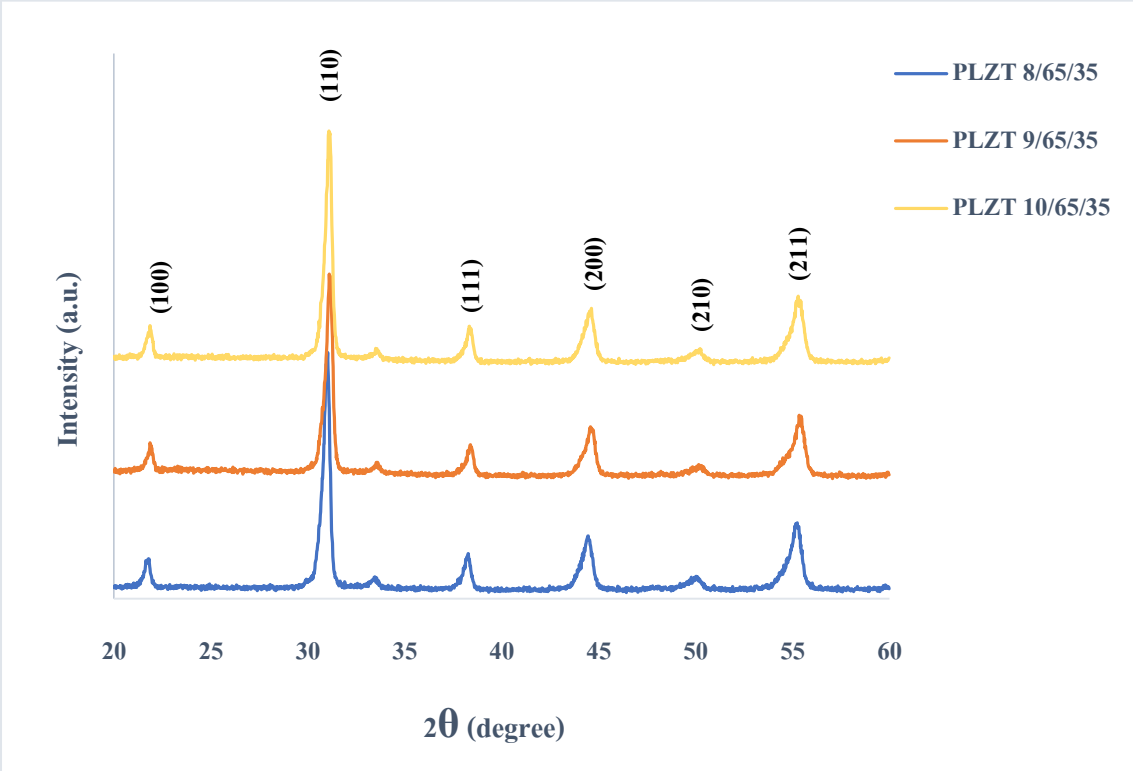
ผลการศึกษาแผ่น PLZT ที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35 เตรียมขึ้นจากแฮนด์แคสที่ความหนา 1250 μm แล้วได้นำไปเพิ่มความหนาและความแข็งแรงโดยการซ้อนทับแผ่น PLZT 2 แผ่น พบว่า แผ่น PLZT ซ้อนทับกันแนบสนิทมีรอยดำจากการกดทับเล็กน้อย และเมื่อนำไปเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 30 min พบว่า แผ่น PLZT มีความเปราะสูง และรอยดำที่เกิดจากการกดอัดหายไป ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 แผ่น PLZT ก่อนซ้อนทับ หลังซ้อนทับ และหลังเผาผนึกด้วยอุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 30 min ที่อัตราส่วน (ก) 8/65/35 (ข) 9/65/35 และ (ค) 10/65/35

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแผ่น PLZT

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแผ่น PLZT ด้วยเครื่อง XRD โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานจากแฟ้ม JCPDS# 29-776 พบว่า แผ่น PLZT มีโครงสร้างผลึกแบบ perovskite polycrystalline โดยพบว่าพีคที่เกิดขึ้นได้แก่ (100), (110), (111), (200), (210) และ (211) ดังรูปที่ 4

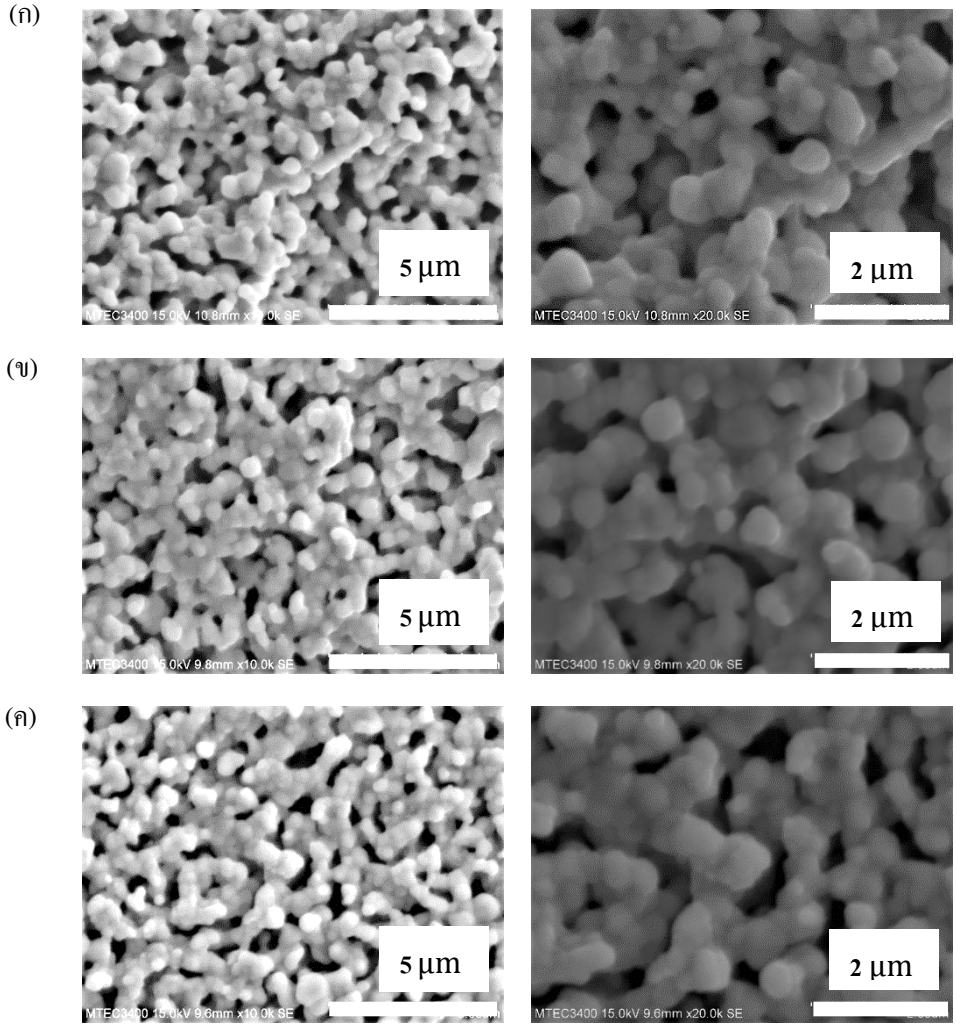
เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้น พบว่า แผ่น PLZT ที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35 เจือแลนทานัมในปริมาณ 8, 9 และ 10 mol% มีโครงสร้างผลึกที่เหมือนกัน ดังนั้นจากผลที่ได้สามารถสรุปว่า การเจือแลนทานัมในปริมาณต่างกันเข้าไปในเลดเซอร์โคเนตไททาเนตได้เฟสที่ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4 โครงสร้างผลึกของแผ่น PLZT เจือแลนทานัมที่ปริมาณต่างกันที่อัตราส่วน (ก) 8/65/35 (ข) 9/65/35 และ (ค) 10/65/35

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคแผ่น PLZT

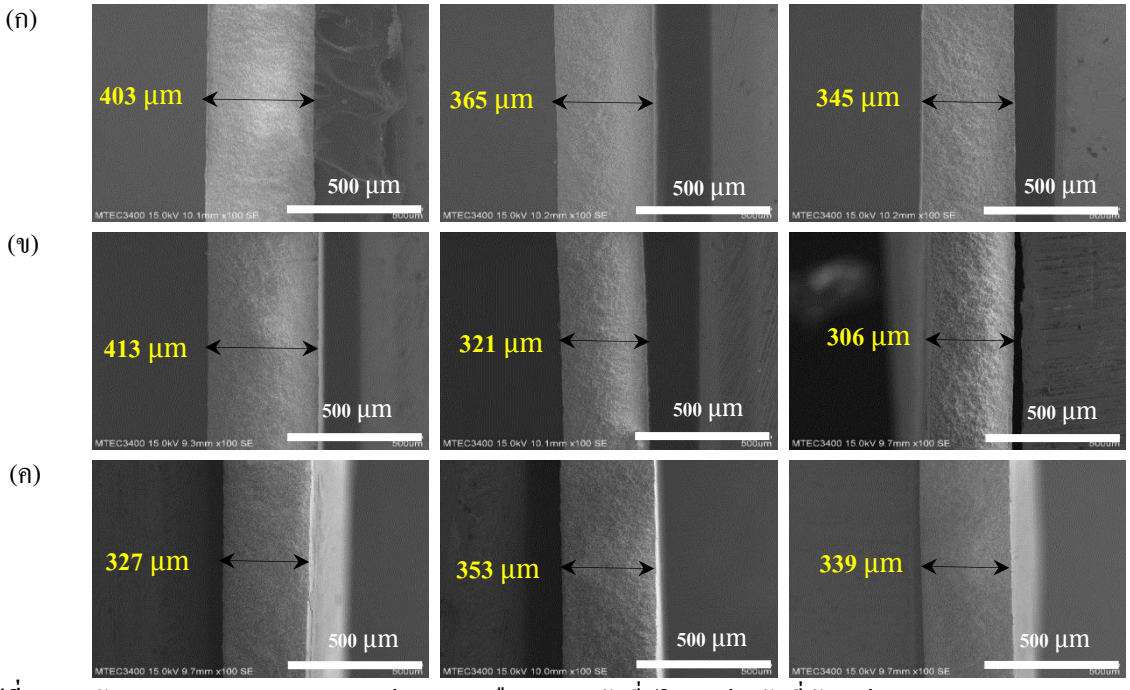
โครงสร้างจุลภาคของแผ่น PLZT ด้วยเครื่อง SEM ดังรูปที่ 5 พบว่าขนาดเกรนของแผ่น PLZT ที่มีการเจือปริมาณแลนทานัมในปริมาณต่างกัน จะแสดงโครงสร้างจุลภาคและขนาดของเกรนที่ต่างกัน การเจือแลนทานัมเข้าไปในเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35 ได้ขนาดเกรนเป็น 0.85, 0.70 และ 0.57 μm ตามลำดับ โดยแผ่น PLZT ที่มีการเจือแลนทานัมในปริมาณต่ำ มีแนวโน้มแสดงลักษณะของรูพรุนต่ำและแสดงลักษณะเกรนขนาดใหญ่ ดังนั้นการเจือแลนทานัมเข้าไปในเลดเซอร์โคเนตไททาเนตปริมาณน้อยส่งผลให้มีรูพรุนต่ำและมีขนาดเกรนใหญ่



รูปที่ 5 โครงสร้างทางจุลภาคของแผ่น PLZT เจือแลนทานัมในปริมาณต่างกันที่อัตราส่วน (ก) 8/65/35 (ข) 9/65/35 และ (ค) 10/65/35

ผลการวิเคราะห์ความหนาของแผ่น PLZT

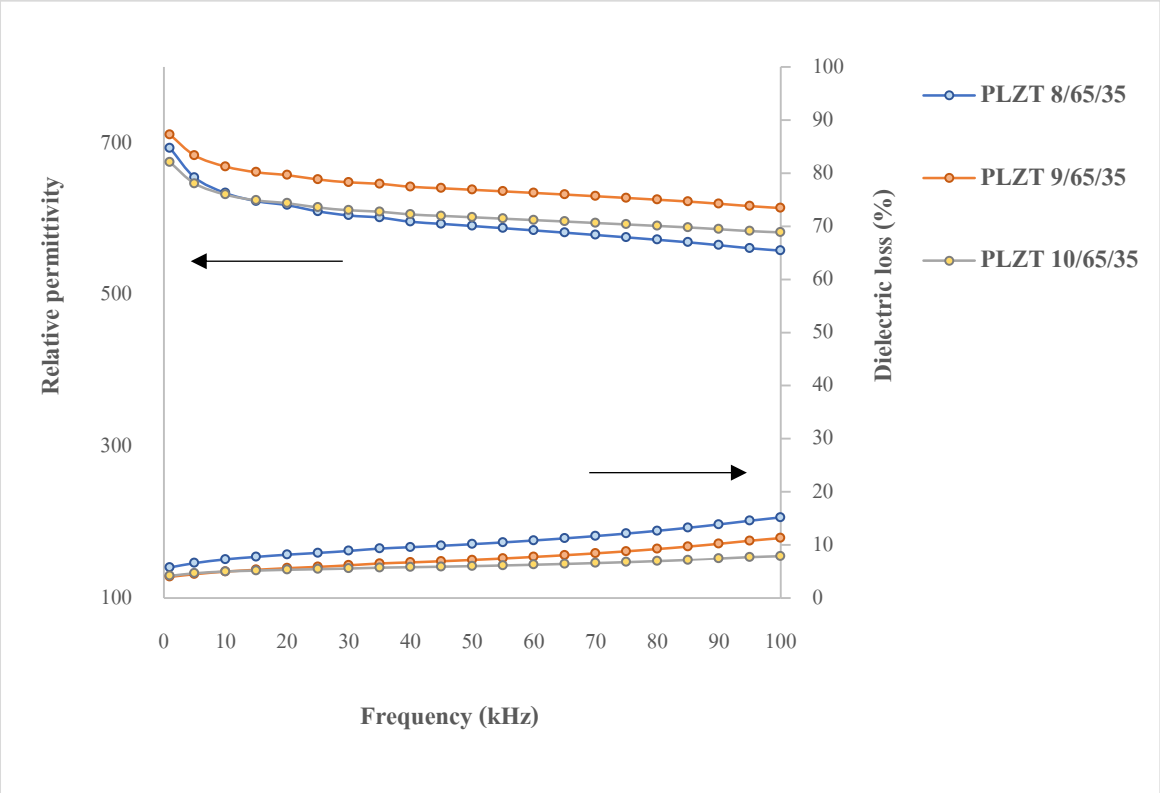
การวิเคราะห์ความหนาของแผ่น PLZT ทำโดยการตัดขวาง (cross section) แผ่น PLZT ที่เตรียมได้ ความหนาของแผ่น PLZT ดังรูปที่ 6 อุณหภูมิจากการเผาผนึกแผ่น PLZT หลังจากซ้อนกันแล้วกดทับด้วยแรงอัดทำให้เกิดการแพร่ของอะตอมเข้าหากันและเกิดจุดสัมผัสทำให้อะตอมยึดเหนี่ยวกันมากขึ้น ซึ่งการเผาผนึกส่งผลให้จุดศูนย์กลางของเกรนเคลื่อนที่เข้าหากันและทำให้เกิดการหดตัวระหว่างการเผาผนึก จากภาพตัดขวาง พบว่า แผ่น PLZT ที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35 เกิดการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคที่เชื่อมติดกัน ทำให้แผ่น PLZT แนบสนิทเป็นแผ่นเดียวกันไม่มีรอยต่อระหว่างแผ่น และความหนาหลังการเผาผนึกเฉลี่ยเป็น 371, 346 และ 339 µm ตามลำดับ ความผันแปรของความหนานี้อาจเกิดได้จากหลายปัจจัยเนื่องจากการทำแฮนด์แคสท์เป็นการใช้แรงผู้ทำการทดลองซึ่งอาจมีแรงไม่สม่ำเสมอในแต่ละครั้งที่ทำการขึ้นรูป จึงส่งผลให้ความหนามีความผันแปร



รูปที่ 6 ภาพตัดขวางแสดงความหนาของแผ่น PLZT เจือแลนทานัมที่ปริมาณต่างกันที่อัตราส่วน (ก) 8/65/35 (ข) 9/65/35 และ (ค) 10/65/35

ผลการวิเคราะห์สมบัติไดอิเล็กทริกของแผ่น PLZT

ผลการวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (permittivity) และค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริก (dielectric loss) ของแผ่น PLZT ที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35 ที่ความถี่ 20 Hz – 100 kHz พิจารณาค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของแผ่น PLZT ที่ความถี่ 1 kHz เนื่องจากที่ความถี่ต่ำค่าสภาพยอมสัมพัทธ์จะมีค่าสูง มีผลมาจากไดโพลไฟฟ้ามีการตอบสนองทางไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์ โดยไดโพลไฟฟ้ามีเวลามากพอในการกลับทิศทาง แต่เมื่อความถี่มากขึ้นการกลับทิศของไดโพลไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งการกลับทิศตามสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ยาก ส่งผลให้ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์มีค่าลดลงและสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริก จากรูปที่ 7 ที่ความถี่ 1 kHz พบว่า ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์สูงสุดเมื่อมีปริมาณการเจือแลนทานัมของแผ่น PLZT ที่อัตราส่วน 9/65/35 โดยมีค่าสูงสุดเป็น 713 เมื่อเทียบกับอัตราส่วน 8/65/35 และ 10/65/35 ซึ่งมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ต่ำกว่าเป็น 696 และ 676 ตามลำดับ ส่วนค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริกของแผ่น PLZT ที่ความถี่ 1 kHz พบว่าค่าความสูญเสีย ไดอิเล็กทริกของการเจือแลนทานัมเข้าไปในเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35 คือ 3.9% 4.1% และ 5.9% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าแผ่น PLZT ที่อัตราส่วน 9/65/35 จะมีค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริกต่ำสุดเป็น 3.9 % ดังตารางที่ 1



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริกที่ขึ้นกับความถี่ของแผ่น PLZT ที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35

ตารางที่ 1 สมบัติไดอิเล็กทริกของแผ่น PLZT ที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35 ที่ความถี่ 1 kHz

สมบัติ	แผ่น PLZT		
	8/65/35	9/65/35	10/65/35
ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์	696	713	676
ค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริก (%)	4.1	3.9	5.7

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการขึ้นรูป โครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาค และสมบัติไดอิเล็กทริกของแผ่น PLZT ที่อัตราส่วนของ Zr/Ti เป็น 65/35 ด้วยการเจือแลนทานัม 8, 9 และ 10 mol% โดยวิธีหล่อแผ่นบาง พบว่า สเลอรี PLZT ที่อัตราส่วน 8/65/35, 9/65/35 และ 10/65/35 โดยสเลอรี PLZT มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และขึ้นรูปแบบแผ่นได้ดี ซึ่งการขึ้นรูปแบบแผ่นเทป สามารถนำแผ่นเทปที่ได้ไปประกอบเป็นชั้น ๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง สามารถควบคุมความหนาและความเรียบของแผ่นเทปได้ เมื่อผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 30 min แผ่น PLZT มีความเปราะสูง ความหนาหลังการเผาผนึกอยู่ในช่วง 339 – 371 μm ได้โครงสร้างผลึกของแผ่น PLZT เป็นแบบ perovskite polycrystalline และการเจือแลนทานัมในปริมาณต่างกันเข้าไปในเลดเซอร์โคเนตไททาเนตได้เฟสที่ไม่แตกต่างกัน จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาค พบว่า แผ่น PLZT มีเกรนอยู่ในช่วง 0.57 – 0.85 μm แผ่น PLZT ที่มีการเจือแลนทานัมปริมาณต่ำ จะแสดงลักษณะของ รูพรุนต่ำ มีเกรนขนาดใหญ่ ในส่วนของสมบัติไดอิเล็กทริก แผ่น PLZT ที่อัตราส่วน

9/65/35 ให้ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (permittivity) สูงสุดที่ 713 และค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริก (dielectric loss) 3.9% ที่ความถี่ 1 kHz ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาหลังการเผาผนึก ความมีรูพรุนต่ำ และมีเกรนขนาดใหญ่เฉลี่ยใกล้เคียงกัน กระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิว ทำให้ขอบเกรนมีความหนาที่ลดลง ส่งผลให้ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์มีค่าสูงและค่าความสูญเสียไดอิเล็กทริกต่ำลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ประจำปี 2561 และทุนอุดหนุนของบัณฑิตวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2562 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เอกสารอ้างอิง

จารุวรรณ จันทะพาหะ. ผลของระบบออร์แกนิคที่มีต่อสมบัติไพอิโซอิเล็คทริกของพีแอลซีทีที่ขึ้นรูปแบบเทปคาสติ้ง [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2560.

วันทนีย์ เชียรธานรักษ์. การเตรียมแผ่นเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนตเจือเลนทานัมโดยวิธีการหล่อขึ้นรูป [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์]. เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2547.

Bintachitt P. Local Origin of Macroscopic Properties and Patterning in $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$. Thesis. U.S.A.: Philadelphia University of Pennsylvania; 2009.

Hotza D, Greil P. Review: Aqueous Tape Casting of Ceramic Powders. Materials Science and Engineering. 202: 206-217; 1995.

Kamba S, Bovtun V, Petzelt J, Rychetsky I, Mizaras R, Brilingas A, Banys J, Grigas J, Kosec M, J. Phys. Condens. Matter. 12: 497-519; 2000.

Trolier-Mckinstry S, Muralt P. Thin Film Piezoelectrics for Mems. Journal of Electroceramics; 12: 7-17; 2004.