

ผลของการซินเตอร์ต่อสมบัติทางกายภาพของเซรามิกบิสมัทโซเดียมไทเทเนตที่เจือด้วย
แทนทาลัมเพนตอกไซด์

Sintering Effects on the Physical Properties of Bismuth Sodium Titanate Ceramics
Doped Tantalum Pentoxide

สุธาสิณี เขียวมณี¹ ศุภลักษณ์ อ้าลอย² และชลธิรา แสงสุบัน^{2*}
Suthasinee Kheawmanee¹, Supaluck Amloy² and Chontira Sangsubun^{2*}

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษการเตรียมเซรามิกบิสมัทโซเดียมไทเทเนตที่เจือด้วยแทนทาลัมเพนตอกไซด์ ($\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{Ti}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$, $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$) โดยการเตรียมผง $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$ เมื่อ x มีค่าเท่ากับ 0.015 และ 0.030 โดยอะตอม เตรียมโดยการนำผงนาโน $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$ ผ่านกระบวนการบดด้วยเครื่องบดอ้อยพลังงานสูง นำผงที่ได้เผาซินเตอร์ที่ 1,050 - 1,125 องศาเซลเซียส จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของเซรามิก $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$ พบว่าค่าการหดตัวเชิงเส้นของเซรามิก $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$ มีแนวโน้มลดลง เมื่อทำการเจือสาร Ta_2O_5 ในปริมาณ 0.015 เป็น 0.030 ในการตรวจสอบ ค่าความหนาแน่น พบว่าสารเซรามิก BNT ที่เจือด้วย Ta_2O_5 ในปริมาณ 0.015 เผาซินเตอร์ที่ 1,100 องศาเซลเซียส ให้ค่า ความหนาแน่นสูงสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 96 และค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง เมื่อทำการเจือสาร Ta_2O_5 ในปริมาณ 0.015 เป็น 0.030 และจากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก BNT ที่เจือด้วยสาร Ta_2O_5 ที่ส่วนผสม 0.015 และ 0.030 โดยเผาซินเตอร์ที่ 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าเซรามิก BNT ที่เจือด้วย Ta_2O_5 มีขนาดเกรนเฉลี่ยลดลงเมื่อเติม Ta_2O_5 เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: บิสมัทโซเดียมไทเทเนต ค่าการหดตัว ค่าความหนาแน่น แทนทาลัมเพนตอกไซด์

Abstract

This research studies the preparation of bismuth sodium titanate doped tantalum ceramics pentoxide ($\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{Ti}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$, $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$). $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$ powders were prepared using $x = 0.015$ and 0.030 at%. Starting, $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$ nanopowders were prepared using a high-energy ball milling technique. The $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$ nanopowders were sintered at $1,050 - 1,125$ °C. Preliminary study of the physical properties of $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$ ceramics showed that the linear shrinkage of the ceramics sintered at $1,050 - 1,125$ °C was decreased with the amount of Ta_2O_5 at 0.015 to 0.030 . To study of the relative density of the ceramics was found to be maximum at $x= 0.015$ after sintered at $1,100$ °C. The relative density value is 96%. Moreover, it was found that the relative density was decreased with the amount of Ta_2O_5 at 0.015 to 0.030 . The microstructure of $\text{BNT}/x\text{Ta}_2\text{O}_5$ ceramics at 0.015 and 0.030 after sintering at $1,100$ °C showed that the average grain size was decreased when increasing the amount of Ta_2O_5 .

Keywords: Bismuth Sodium Titanate, Linear Shrinkage, Relative Density, Tantalum Pentoxide

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

* Corresponding author : e-mail : csangsubun@hotmail.com

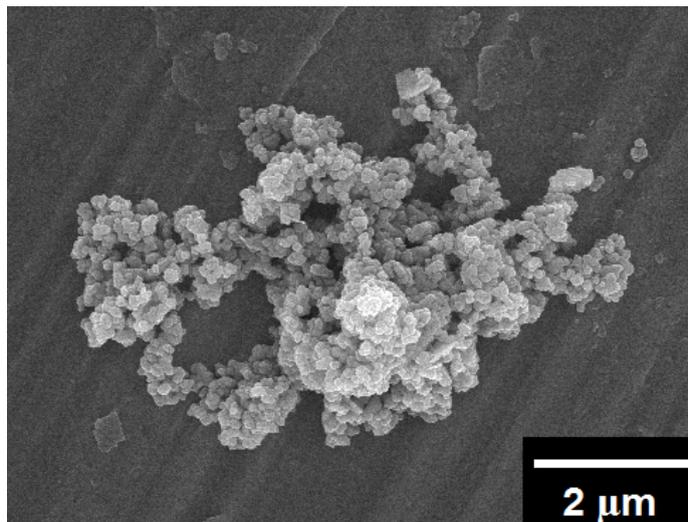
บทนำ

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกจัดเป็นวัสดุที่สามารถเกิดปรากฏการณ์ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้ หรือในทางกลับกันสามารถเปลี่ยนจากพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ในปัจจุบันพบว่าได้มีผู้ทำ การศึกษาในเรื่องนี้เป็นจำนวนมาก เนื่องจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง อาทิ เช่น ตัวเก็บประจุ ไมโครโฟน ตัวจับสัญญาณ และอุปกรณ์ขับเคลื่อน เป็นต้น [1] ปัจจุบันวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่นิยมใช้ กัน ได้แก่ เลดเซอร์โคเนตติทานเนต (Lead Zirconate Titanate หรือ PZT) บิสมัทโซเดียมไทเทเนต (Bismuth Sodium Titanate หรือ BNT) ซึ่งสารบิสมัทโซเดียมไทเทเนต ได้มีการศึกษาทั้งสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางกายภาพกันอย่าง แพร่หลาย เนื่องจากเป็นวัสดุที่ไม่มีสารตะกั่ว โดยทั่วไปสาร BNT มีโครงสร้างเป็นแบบ Perovskite และมีการเปลี่ยนแปลงระบบผลึกตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ระบบผลึกของ BNT เป็นแบบรอมโบฮีดรอล (Rhombohedral) ซึ่งมี สมบัติทางไฟฟ้า เป็นเฟอร์โรอิเล็กทริก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระบบผลึกจะเปลี่ยนไปเป็นเตตระโกนอล (Tetragonal) และผลึกลูกบาศก์ (Cubic) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาและพัฒนาเพื่อให้สาร BNT มีสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกที่เพิ่มมากขึ้นโดยการเติมสารชนิดอื่นที่เรียกว่า สารเจือ (Dopants) ลงไปในแลตทิซ (Lattice) ของวัสดุโดยสาร เจือจะเข้าไปรวมเป็นเนื้อเดียวกับสารหลัก (Matrix) ในรูปแบบของสารละลายของแข็ง (Solid Solution) เช่น $BaTiO_3$ [2], $Ba(Ti,Zr)O_3$ [3] และ $KNbO_3$ [4] รวมทั้งการเติมสารเจือที่เป็นหมู่โลหะไอออนบวก เช่น Ba^{+} [5], Mn^{4+} [6] และ Zr^{4+} [7] เข้าไปแทนที่ในตำแหน่งของไทเทเนียมเพื่อปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้า และเหมาะกับการนำไป ประยุกต์ใช้งานต่อไป [8]

ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาบิสมัทโซเดียมไทเทเนตที่เจือด้วยแทนทาลัมเพนตอกไซด์ ทำการวิเคราะห์ ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะของสีก่อนเผา และหลังเผาซินเตอร์ ตรวจสอบค่าการหดตัว ค่าความหนาแน่น และ ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในระดับสูง ขึ้นหรือนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ช่วยลดปัญหาทางมลภาวะซึ่งถือว่าเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีการวิจัย

การเตรียมผงบิสมัทโซเดียมไทเทเนตที่เจือด้วยแทนทาลัมเพนตอกไซด์ ($Bi_{0.5}Na_{0.5}Ti_{1-x}Ta_xO_3$, BNT/ xTa_2O_5) โดย เริ่มจากการนำสารตั้งต้น Bi_2O_3 , $NaCO_3$, TiO_2 และ Ta_2O_5 มาบดผสมกันที่อัตราส่วนผสม $x = 0.015$ และ 0.030 สัดส่วน โดยยอต่อม จากนั้นนำสารที่ผสมได้ผสมกับเอทานอล แล้วบดด้วยเครื่องบดย่อยพลังงานสูง เป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้ได้ ผงสารที่มีขนาดเล็กในระดับนาโน ดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่าขนาดผงที่เตรียมได้อยู่ในช่วง 70-200 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำสารไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำสารที่ได้ไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ผง BNT/ xTa_2O_5 หลังจากนั้นนำผงที่ได้มาบด และเติมสารยึดเหนี่ยวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) จำนวน 2 หยด เพื่อใช้เป็นตัวประสานในการ ขึ้นรูปนำมาบดผสมกันแล้วนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก ขึ้นงานที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ต่อมานำชิ้นงานมา เผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,050 1,075 1,100 และ 1,125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตรา การเผาขึ้นลงที่ 5 องศาต่อนาที หลังจากนั้นนำสารเซรามิกที่เตรียมได้ไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ เช่น ลักษณะของสี ก่อนเผาหลังเผาซินเตอร์ ตรวจสอบค่าการหดตัว ค่าความหนาแน่น และศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



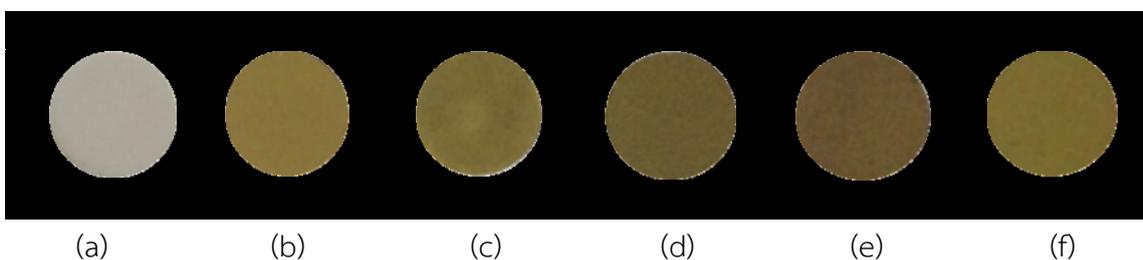
ภาพที่ 1 แสดงผง BNT บดเป็นเวลา 60 นาที เเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของเซรามิก

1. ลักษณะสี และรูปร่างของเม็ดเซรามิกที่เตรียมได้

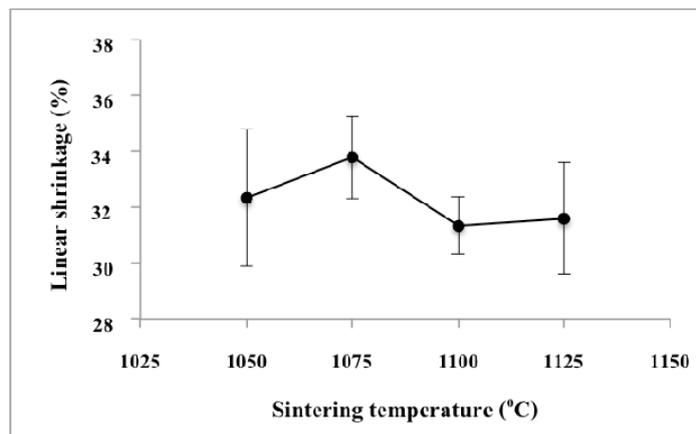
จากการศึกษาลักษณะสีของเม็ดเซรามิกที่ผ่านการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าเม็ดเซรามิกมีรูปร่างเป็นแผ่น กลมแบน และไม่บิดเบี้ยว แสดงดังภาพที่ 2 นอกจากนี้ใน ภาพที่ 2(a) พบว่าเม็ดสารก่อนเผาซินเตอร์มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น ในขณะที่เม็ดสาร BNT/ $x\text{Ta}_2\text{O}_5$ ที่ $x = 0.015$ เเผาซินเตอร์ที่ 1,050 องศาเซลเซียส พบว่าเม็ดเซรามิกมีสีน้ำตาลอ่อนแสดงดัง ภาพที่ 2(b) หลังจากนั้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิเผาซินเตอร์ที่ 1,050 - 1,125 องศาเซลเซียส พบว่าเม็ดเซรามิกมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น แสดงดังภาพที่ 2(c) - 2(e) เมื่อนำสาร BNT/ $x\text{Ta}_2\text{O}_5$ ที่ $x = 0.030$ เเผาซินเตอร์ที่ 1,100 องศาเซลเซียส พบว่า เม็ดเซรามิก มีสีน้ำตาลอ่อน แสดงดังภาพที่ 2(f) ดังนั้นจากการทดลองเรื่องนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซินเตอร์สูง ผลให้สีของเม็ดเซรามิกมีสีที่เข้มขึ้นแต่ในขณะที่ทำการเพิ่มสารเจือ Ta_2O_5 ในปริมาณ 0.015 เป็น 0.030 สีของเม็ดเซรามิก มีสีจางลง [9]



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะสีของเม็ดเซรามิก เมื่อ (a) สาร BNT ก่อนเผาซินเตอร์ (b), (c), (d) และ (e) สารเซรามิก BNT/ $x\text{Ta}_2\text{O}_5$ ที่ $x = 0.015$ เเผาซินเตอร์ที่ 1,050, 1,075, 1,100 และ 1,125 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ (f) สารเซรามิก BNT/ $x\text{Ta}_2\text{O}_5$ ที่ $x = 0.030$ เเผาซินเตอร์ที่ 1,100 องศาเซลเซียส

2. ค่าร้อยละความหดตัวเชิงเส้นของเม็ดเซรามิกที่เตรียมได้

เมื่อนำสาร BNT/xTa_2O_5 ที่ $x = 0.015$ เผาซินเตอร์ที่ 1,050 - 1,125 องศาเซลเซียส มาตรวจสอบค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้น และนำผลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการหดตัวเชิงเส้นกับอุณหภูมิซินเตอร์ซึ่ง แสดงไว้ดัง ภาพที่ 3 และ ตารางที่ 1 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซินเตอร์ในช่วงแรกที่ 1,050 - 1,075 องศาเซลเซียส พบว่าค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้นของสารมีค่าเพิ่มสูงขึ้น คือจาก 32.33% เพิ่มเป็น 33.76% ซึ่งอาจเป็นผล เนื่องจากเกิดกระบวนการแพร่ของมวลสารใน ขบวนการซินเตอร์ ส่งผลให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 1,075 องศาเซลเซียส ไปที่ 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้น มีแนวโน้ม ลดลง ในขณะที่ที่อุณหภูมิซินเตอร์ 1,125 องศาเซลเซียส ร้อยละการหดตัวเชิงเส้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าค่าร้อยละ การหดตัวเชิงเส้น ในแต่ละอุณหภูมิซินเตอร์มีค่าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการเติมสารเจือ Ta_2O_5 เข้าไปในสาร BNT นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือในปริมาณ 0.015 เป็น 0.030 เผาซินเตอร์ที่ 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าค่าร้อยละการหดตัว มีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่อนุภาค Ta_2O_5 เข้าไปแทนที่หรือแทรกในอนุภาค BNT ส่งผลให้อัตราการแพร่ของสาร BNT ลดลง [11]

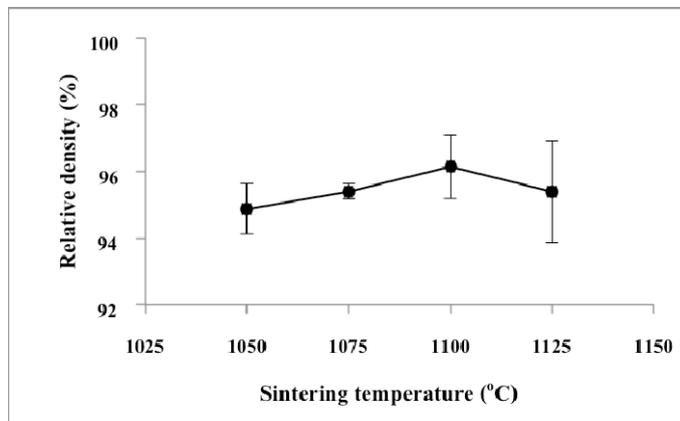


ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการหดตัวเชิงเส้นของเซรามิก BNT/xTa_2O_5 เมื่อ x มีค่าเท่ากับ 0.015 กับอุณหภูมิซินเตอร์

3. ค่าร้อยละความหนาแน่นของเม็ดเซรามิกที่เตรียมได้

จากภาพที่ 4 และตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละความหนาแน่น และอุณหภูมิซินเตอร์ของ สารเซรามิก BNT ที่เจือด้วยสาร Ta_2O_5 ในปริมาณ 0.015 หาค่าความหนาแน่นโดยใช้กฎของ อาร์คิมิดีส (Archimedes' principle) ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าร้อยละความหนาแน่นมีค่าเพิ่มสูง ขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิซินเตอร์ตั้งแต่ 1,050 - 1,100 องศาเซลเซียส และ มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซินเตอร์ที่ 1,125 องศาเซลเซียส ซึ่งจากกราฟในภาพที่ 4 พบว่าค่า ร้อยละความหนาแน่นทางทฤษฎีมีค่ามากที่สุด มีค่า เท่ากับร้อยละ 96.14 ของความหนาแน่นทางทฤษฎี เมื่อทำการเผา ซินเตอร์ที่ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณการเจือสารที่ 0.015 และ 0.030 เผาซินเตอร์ที่ 1,100 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือ Ta_2O_5 ส่งผลให้ค่าร้อยละ ความหนาแน่นลดลงซึ่งผลการทดลอง สอดคล้องกับร้อยละการหดตัว และอาจ เป็นผลเนื่องมาจากอนุภาค Ta_2O_5 มา แทรกอยู่บริเวณขอบเกรนของสาร BNT ส่งผลให้สาร BNT มีการถ่ายโอนมวลสารได้ในปริมาณที่น้อย ซึ่งทำให้ค่าความหนา แน่นลดลง [10] ดังนั้นในการวิจัย นี้พบว่าค่าร้อยละความหนาแน่นของ BNT/xTa_2O_5 ที่ $x = 0.015$ เผาซินเตอร์ที่

1,100 องศาเซลเซียส ให้ค่าร้อยละความหนาแน่นสูงสุดที่ 96.14 % ซึ่งเหมาะสมในการนำไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค และตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าต่อไป เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสม



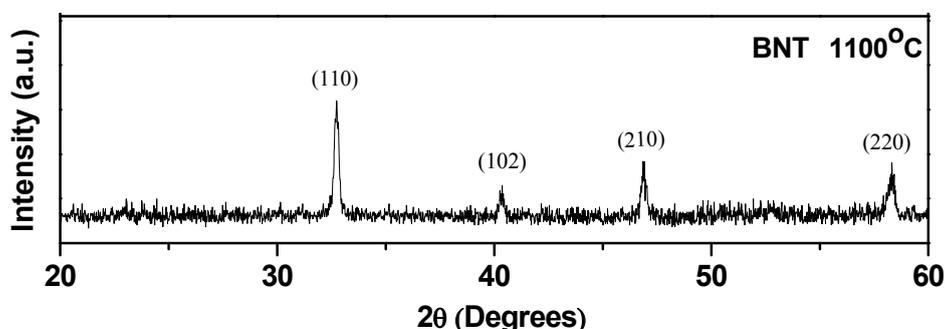
ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความหนาแน่นของเซรามิก BNT/xTa₂O₅ เมื่อ x มีค่าเท่ากับ 0.015 กับอุณหภูมิซินเตอร์

4. การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โครงสร้างทางจุลภาค และค่าทางไฟฟ้าของเม็ดเซรามิกที่เตรียมได้

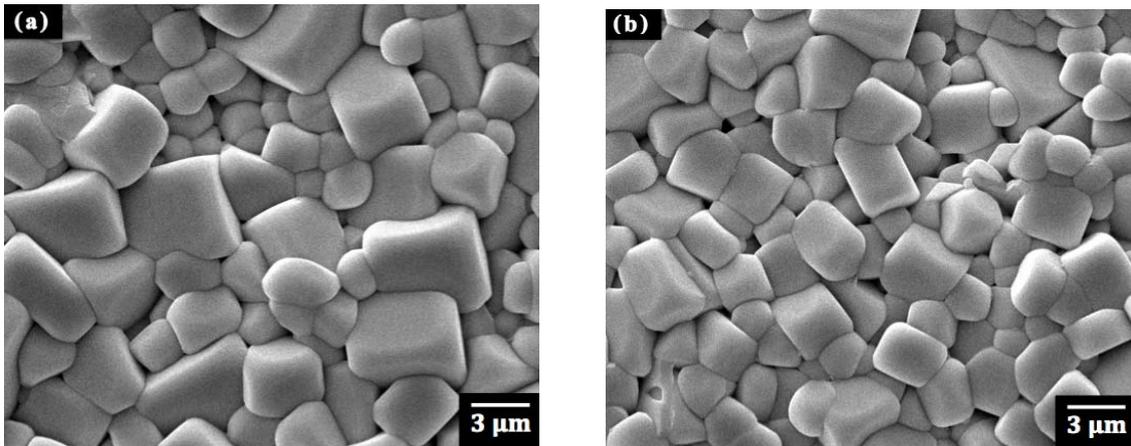
เมื่อศึกษาแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารเซรามิก BNT เผาซินเตอร์ที่ 1,100 องศาเซลเซียส พบว่าสารเซรามิก BNT มีโครงสร้างแบบรอมโบอีตรอล ซึ่งสอดคล้องกับสารมาตรฐานในแฟ้มข้อมูล BNT_JCPDS file 036-0340 แสดงดังภาพที่ 5

จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก BNT/xTa₂O₅ ที่ x = 0.015 และ x = 0.030 เผาซินเตอร์ที่ 1,100 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 6(a) และ 6(b) ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคนี้ได้ทำการ วิเคราะห์บริเวณพื้นผิวของเซรามิก โดยใช้กำลังขยาย 5,000 เท่า วัดขนาดเกรนโดยใช้วิธี Linear shrinkage พบว่าขนาด เกรนของเซรามิกที่เจือด้วย Ta₂O₅ ในปริมาณ 0.015 มีขนาดเกรนเฉลี่ย 2.63 ไมโครเมตร ขณะที่ขนาดเกรนของเซรามิก ที่เจือด้วย Ta₂O₅ ในปริมาณ 0.030 มีขนาดเกรนเฉลี่ย 2.13 ไมโครเมตร จะเห็นได้ว่าเกรนมีขนาดลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณ สารเจือ Ta₂O₅ และรูปร่างของเกรนจะมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าที่มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่รวมอยู่ด้วยกัน

เมื่อศึกษาค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าแฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริกที่อุณหภูมิห้อง ที่ความถี่ 1 kHz พบว่า เซรามิกที่เจือด้วย Ta₂O₅ ในปริมาณ 0.015 มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่า 1,991 และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก 3.326 และเซรามิกที่เจือด้วย Ta₂O₅ ในปริมาณ 0.030 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่า 1,047 และมีค่าแฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก 0.177



ภาพที่ 5 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก BNT ที่อุณหภูมิซินเตอร์ 1,100 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 6 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผิวเซรามิก BNT/xTa₂O₅ เเผาซินเตอร์ที่ 1,100 องศาเซลเซียส เมื่อ x มีค่าเท่ากับ (a) 0.015 และ (b) 0.030 โดยภาพมีกำลังขยาย 5,000 เท่า

ตารางที่ 1 แสดงค่าร้อยละความหนาแน่นและร้อยละการหดตัวของเซรามิก BNT/xTa₂O₅ ที่อุณหภูมิซินเตอร์ต่าง ๆ

Sintering Temperature (°C)	Ta ₂ O ₅ content (at%)	Linear shrinkage (%)	Relative density (%)
1,050	0.015	32.33 ± 2.44	94.87 ± 0.75
1,075	0.015	33.76 ± 1.46	95.39 ± 0.23
1,100	0.015	31.33 ± 1.03	96.14 ± 0.96
1,125	0.015	31.59 ± 1.99	95.39 ± 1.53
1,100	0.030	27.08 ± 2.84	94.90 ± 0.96

หมายเหตุ ค่าความหนาแน่นทางทฤษฎีของ BNT = 5.997 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารเซรามิก BNT/xTa₂O₅ ที่ x = 0.015 และ x = 0.030 เเผาซินเตอร์ที่ อุณหภูมิ 1,050 - 1,125 พบว่าเมื่อทำการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้สีของเม็ดเซรามิกมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น นอกจากนี้ พบว่าการเจือสาร Ta₂O₅ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สีของเซรามิกมีสีจางลง จากการศึกษาค่าร้อยละการหดตัว และ ค่าร้อยละความหนาแน่นของเซรามิก BNT/xTa₂O₅ พบว่าค่าร้อยละการหดตัวของเซรามิกมีค่าน้อยสุดเท่ากับ 27.08 % โดยเจือสาร Ta₂O₅ ในปริมาณ 0.030 ที่อุณหภูมิเผาซินเตอร์ 1,100 องศาเซลเซียส และค่าร้อยละความหนาแน่นของสาร BNT/xTa₂O₅ ที่ x = 0.015 เเผาที่อุณหภูมิซินเตอร์ 1,100 องศาเซลเซียส มีค่ามากที่สุดและมีค่าเท่ากับร้อยละ 96.14 % เมื่อเทียบกับค่าความหนาแน่นทางทฤษฎี และจากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือ Ta₂O₅ ในปริมาณ 0.015 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่า 1991 และเซรามิกที่เจือด้วย Ta₂O₅ ในปริมาณ 0.030 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่า 1047

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ และขอขอบคุณเงินสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยทักษิณ เงินสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Moulson, A.J. and Herber, J.M. (2003). "Electroceramics Second Edition", **Materials, Properties Applications**. 243-335.
- [2] Takenaka T., Maruyama K. and Sakata K. (1991). "(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO₃- BaTiO₃ System for Lead-Free Piezoelectric Ceramics", **Japanese Journal of Applied Physics**. 30, 2236-2239.
- [3] Peng, C., Li, J.F. and Gong, W. (2005). "Preparation and Properties of (Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO₃ - Ba(Ti,Zr)O₃ Lead-Free Piezoelectric Ceramics", **Materials Letters**. 59, 1576-1580.
- [4] Nagata, H. and Takenaka, T. (2001). "Additive Effects on Electrical Properties of (Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO₃ Ferroelectric Ceramics", **Journal of the European Ceramic Society**. 21, 1299-1302.
- [5] Wang, H., Zuo, R., Ji, X. and Xu, Z. (2010). "Effects of Ball Milling on Microstructure and Electrical Properties of Sol-Gel Derived (Bi_{0.5}Na_{0.5})_{0.94}Ba_{0.06}TiO₃ Piezoelectric Ceramics", **Materials and Design**. 31, 4403-4407.
- [6] Guo, Y., Fan, H., Long, C., Shi, J., Yang, L. and Lei, S. (2014). "Electromechanical and Electrical Properties of (Bi_{0.5}Na_{0.5})Ti_{1-x}Mn_x)O₃ Ceramics with High Remnant Polarization", **Journal of Alloys and Compounds**. 610, 189-195.
- [7] Yu Z., Ang, C., Guo,R. and Bahalla, A.S. (2007). "Dielectric Properties of Ba(Ti_(1-x)Zr_x)O₃ Solid Solutions", **Materials Letters**. 61, 326-329.
- [8] Tang X. G., Chew K. H. and Chan H.L.W. (2004). "Diffuse Phase Transition and Dielectric Tunability of Ba (Zr_yTi_{1-y})O₃ Relaxor Ferroelectric Ceramics", **Acta Materialia**. 52, 5177-5183.
- [9] อัมพิกา ราชคม. (2552). **การผลิตและสมบัติของเซรามิกบิสมาทโซเดียมไทเทเนตเซอร์โคเนต**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [10] M.N. Rahaman. (1995). **ceramic Processing and sintering**. Marcel Dekker Inc., New York.
- [11] J. Zhao, M.P. Harmer. (1991). "Sintering Kinetics for a Model final-stage Microstructure", A Study of Al₂O₃. **Phil. Materials Letters**. 63, 7-14.