ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
191095

MRG5180104 ดร. วันดี ธรรมจารี

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมบัติเชิงกลและสมบัติพิโซอิเล็กตริกของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 ระหว่างเซรามิกไร้สารตะกั่ว/เซรามิกขนาดอนุภาคนาโน/อีพ็อกซีเรซิน

Mechanical and Piezoelectric Properties of 0-0-3 Composite Materials between Non-Lead Based Ceramics/Nanoparticle Ceramics/Epoxy Resin

โดย

ดร.วันดี ธรรมจารี

ศาสตราจารย์ ดร.ทวี ตันฑศิริ

10 พฤศจิกายน 2553

b00255867

สัญญาเลขที่ MRG5180104

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
191095

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมบัติเชิงกลและสมบัติพิโซอิเล็กตริกของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 ระหว่างเซรามิกไร้สารตะกั่ว/เซรามิกขนาดอนุภาคนาโน/อีพ็อกซีเรซิน

Mechanical and Piezoelectric Properties of 0-0-3 Composite Materials between Non-Lead Based Ceramics/Nanoparticle Ceramics/Epoxy Resin

โดย

ดร.วันดี ธรรมจารี ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศาสตราจารย์ ดร.ทวี ตันฆศิริ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

191095

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการเตรียมวัสดุผสมแบบ 3 เฟส ระหว่างสารพิโซอิเล็กตริกที่ไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ /เซรามิกเฟสที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโน/อีพ็อกซีเรซิน โดยใช้บิสมัธโซเดียมติตาเนต (BNT) เป็นสารพิโซอิเล็กตริก และใช้ท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) เป็นเซรามิกเฟสที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโน จากนั้นจึงทำการเตรียมวัสดุผสม โดยนำวัสดุทั้งสามชนิดมาผสมกันให้เป็นวัสดุผสมแบบ 0-0-3 โดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง สารพิโซเซรามิก BNT มีองค์ประกอบเป็น $Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$ ถูกเตรียมขึ้นโดยใช้เทคนิคแบบดั้งเดิม ซึ่งทำการเผาแคลไซน์และเผาอบผงเซรามิกบีเอ็นทีที่อุณหภูมิ.800 และ 1200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับท่อนาโนคาร์บอน เตรียมโดยวิธีการตกสะสมไอเคมีโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นนำผง BNT และท่อนาโนคาร์บอนไปผสมด้วยกัน โดยผสมท่อนาโนคาร์บอนลงไปในอัตราส่วน 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วนำมาผสมกับอีพ็อกซีเรซินในปริมาณเท่าๆกัน ด้วยเทคนิคหมุนเหวี่ยง ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วันเพื่อให้วัสดุเกิดการเซตตัว แล้วนำมาตัดให้เป็นรูปเหรียญเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ (การหดตัวและความหนาแน่น) และสมบัติทางไฟฟ้า (สมบัติไดอิเล็กตริกและเพียโซอิเล็กตริก) นอกจากนี้ยังทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของสารที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) จากการทดลองพบว่า การเติมท่อนาโนคาร์บอนลงในเพียโซคอมโพสิต BNT และอีพ็อกซีเรซิน ช่วยในเรื่องกระบวนการโพลและสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุผสม

Keywords: Non-lead based ceramics, CNTs, Epoxy Resin, Composites

ABSTRACT

191095

In this research, the 3 phases composites between non-lead based ceramics/nanoparticle ceramics/epoxy resin was studied. Bismuth sodium titanate (BNT) was used as non-lead based ceramics and carbon nanotubes (CNTs) was used as nanoparticle ceramics. To obtain 0-0-3 composites, all of materials were mixed together using centrifuge technique. BNT was prepared by conventional mixed oxide method with the composition of $Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$. BNT powder was calcined and annealedat temperature of 800 and 1200 ^{o}C, respectively. Furthermore, carbon nanotubes was fabricated by Alcohol catalytic chemical vapor deposition (ACVD). Firstly, BNT powder and CNTs were mixed together with the composition of 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 and 1.0 wt%. The mixture was then mixed with epoxy resin by centrifugal technique. Composites were left in room temperature for 2 days to settle and cut into disc shape. The physical properties (shrinkage and density) and electrical properties (dielectric and piezoelectric) were examined. Moreover, microstructure of samples was determined by Scanning Electron Microscopy (SEM). From the result, it can be found that adding carbonnanotubes into BZT/Epoxy resin piezocomposites can promote poling process and dielectric properties of composites.

Keywords: Non-lead based ceramics, CNTs, Epoxy Resin, Composites

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)
ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่
สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

1. **ชื่อโครงการ** : (ภาษาไทย) สมบัติเชิงกลและสมบัติพิโซอิเล็กตริกของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 ระหว่างเซรามิกไร้สารตะกั่ว/เซรามิกขนาดอนุภาคนาโน/อีพ็อกซีเรซิน

(ภาษาอังกฤษ) Mechanical and Piezoelectric Properties of 0-0-3 Composite Materials between Non-Lead Based Ceramics/Nanoparticle Ceramics/ Epoxy Resin

2. **ชื่อหัวหน้าโครงการ**

ชื่อ : นางสาววันดี ธรรมจารี (Wandee Thamjaree)
ตำแหน่ง : อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
คุณวุฒิ : ปริญญาเอก (วัสดุศาสตร์)
ความชำนาญ : วัสดุศาสตร์, อิเล็กโทรเซรามิก และวัสดุผสม
ความสนใจพิเศษ : เส้นใยเสริมแรง, วัสดุผสม, พิโซเซรามิก, พิโซคอมโพสิต และอิเล็กโทรเซรามิก
สถานที่ทำงาน : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์ 0-5394-3376
โทรสาร 0-5335-7512
E-mail : msrlwt@yahoo.com, th_wandee@hotmail.com

3. **สาขาวิชาที่ทำการวิจัย** : อิเล็กโทรเซรามิก (วัสดุศาสตร์)

4. **งบประมาณทั้งโครงการ** 480,000 บาท

5. **ระยะเวลาดำเนินการ** 2 ปี

6. **ได้เสนอโครงการนี้ หรือโครงการที่มีส่วนเหมือนกับเรื่องนี้บางส่วน เพื่อขอทุนต่อแหล่งทุนอื่นที่ใดบ้าง**

[/] ไม่ได้เสนอต่อแหล่งทุนอื่น

7. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

สารพิโซอิเล็กตริกเซรามิก (piezoelectric ceramics) เป็นวัสดุที่มีสมบัติพิเศษ คือ สามารถเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และในทางกลับกัน คือ สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลได้ [1] ซึ่งสมบัตินี้ถูกค้นพบโดย Jacques และ Pierre Curie เมื่อปี ค.ศ.1880 [2] และด้วยสมบัติพิเศษดังกล่าวนี้ จึงทำให้สารพิโซอิเล็กตริกเซรามิกได้ถูกศึกษาค้นคว้าและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน โดยนักวิจัยนั้นได้ให้ความสำคัญทั้งในเรื่องของการศึกษาค้นคว้าเชิงวิชาการและการประยุกต์ในงานเชิงอุตสาหกรรม จนสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ต่างๆ ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทต่างๆ เช่น บัซเซอร์ (buzzers), ทรานสดิวเซอร์ (transducers), เครื่องตรวจจับ (sensors), หัวจุดแก๊ส (gas igniters), ไมโครโฟน (microphones), ลำโพง (speakers) และ ตัวขับเร้า (actuators) เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมพิโซอิเล็กตริกเซรามิกนี้ให้อยู่ในรูปแบบของวัสดุผสม (composite materials) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจจับสัญญาณในน้ำที่เรียกว่า ไฮโดรโฟน (hydrophones), โซนาร์ (SONAR) หรือนำมาประยุกต์ใช้เป็นหัววัดอัลตราซาวน์ (ultrasound) ในอุปกรณ์ biomedical imaging และเครื่องตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (nondestructive testing) เป็นต้น [2,3-6] ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปัจจุบันได้มีการนำเอาความสามารถพิเศษของวัสดุพิโซอิเล็กตริกนี้ มาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ที่หลากหลาย นั่นหมายความว่า สารพิโซอิเล็กตริกนี้มีประโยชน์นานัปการ ซึ่งหากมองในภาพรวมของการพัฒนาทางด้านวัสดุและเทคโนโลยีวัสดุแล้ว จึงอาจกล่าวได้ว่า สารพิโซอิเล็กตริกนี้เป็นฟันเฟืองตัวสำคัญที่ช่วยผลักดันให้มีการพัฒนาแบบก้าวกระโดดของเทคโนโลยีวัสดุและอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน

ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ววัสดุที่อยู่ในกลุ่มของสารพิโซอิเล็กตริกที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวางนั้น มักจะเป็นกลุ่มสารที่มีมีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลัก ตัวอย่างเช่น เลดเซอร์โคเนตไททาเนต ($Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$: PZT) เลดเซอร์โคเนต ($PbZrO_3$: PZ), เลดไททาเนต ($PbTiO_3$: PT), เลดเมตาไนโอเบต ($PbNb_2O_6$: PN) และเลดแมกนีเซียมไนโอเบต ($Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$: PMN เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากสารพิโซอิเล็กตริกที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบนั้น สามารถแสดงสมบัติทางพิโซอิเล็กตริกได้อย่างโดดเด่น

แต่ถึงแม้ว่าวัสดุกลุ่มนี้จะมีสมบัติที่ดีและมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพียงใดก็ตาม สารพิโซอิเล็กตริกที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบนี้ยังคงมีขีดจำกัดในเรื่องของการนำมาใช้งาน เนื่องจากตะกั่วที่เป็นองค์ประกอบในสารเหล่านี้เป็นสารพิษ โดยตะกั่วถูกจัดให้เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ตามระเบียบของกระทรวงอุตสาหกรรมในประเทศไทย [4] ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ส่งผลให้มีเรามีอัตราการเสี่ยงต่อมลพิษเพิ่มขึ้น จากสาเหตุข้างต้นนี้ ส่งผลให้องค์กรรัฐและเอกชนในหลายๆ ประเทศรวมถึงประเทศไทยเริ่มตระหนักถึงอันตรายที่เกิดจากสารพิษอุตสาหกรรมและเพิ่มขีดจำกัด

สำหรับปริมาณการใช้สารพิษเหล่านี้มากขึ้น รวมถึงให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมและผลักดันให้มีการนำเอาเทคโนโลยีสะอาด (clean technology) มาใช้มากขึ้น นอกจากนี้ยังสนับสนุนให้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อที่จะหาสารหรือวัสดุชนิดใหม่ขึ้นมา เพื่อใช้ทดแทนสารพิโซอิเล็กตริกที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบเหล่านี้

จากแนวคิดดังกล่าว ส่งผลให้มีนักวิจัยหลายกลุ่มพยายามที่จะพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ที่ไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหรือมีการตะกั่วประกอบเป็นปริมาณน้อยขึ้นมา ซึ่งกลุ่มของวัสดุที่กำลังเป็นที่สนใจและมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาใช้แทนกลุ่มที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลักนั้นมีอยู่หลายกลุ่มด้วยกัน เช่น กลุ่มที่มีบิสมัท (Bi), แบเรียม (Ba),และกลุ่มอัลคาไลน์ไนโอเบต (alkaline niobate) เป็นองค์ประกอบ เป็นต้น ซึ่งตัวแทนของสารเหล่านี้ที่กำลังเป็นที่สนใจของนักวิจัย ได้แก่ บิสมัทโซเดียมไททาเนตเซรามิก ($(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO_3$: BNT) และ บิสมัทไททาเนต ($Bi_4Ti_3O_{12}$: BiT) เป็นตัวแทนของสารที่มีบิสมัทเป็นองค์ประกอบ แบเรียมเซอร์โคเนียมไททาเนต ($BaZr_xTi_{1-x}O_3$: BZT) และ โพแทสเซียม-โซเดียม ไนโอเบต ($(K,Na)NbO_3$) เป็นตัวแทนของสารพิโซอิเล็กตริกที่มีแบเรียมและอัลคาไลน์ไนโอเบตเป็นองค์ประกอบ ตามลำดับ ซึ่งในกรณีของสารที่มีบิสมัทเป็นองค์ประกอบนั้น จากการศึกษาค้นคว้า พบว่า BNT เป็นสารพิโซอิเล็กตริกที่มีสมบัติทางพิโซอิเล็กตริกและเฟร์โรอิเล็กตริกที่ดี นั่นคือ BNT นี้มีค่าอุณหภูมิคูรี (Curie Temperature: T_C) อยู่ที่ประมาณ 320 ^oC และ ณ อุณหภูมิห้อง BNT มี Remanent polarization (P_r) และ coercive field (E_c) สูงถึง 38 $\mu C/cm^2$ และ 73 kV/cm ตามลำดับ [7-10] นอกจากนี้สาร BNT ยังถูกจัดให้เป็นสารประเภทรีแลกเซอร์เฟร์โรอิเล็กตริก (relaxor ferroelectric) ทั้งนี้เนื่องจากสารชนิดนี้แสดงสมบัติเด่นของค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (relative permittivity) หรือค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant :ε_r) กับอุณหภูมิเป็นแบบดิฟฟิวส์แมกซิมัม (diffuse maximum) นั่นคือจะมีพีค (peak) ที่มีลักษณะฐานกว้างเกิดขึ้นที่บริเวณอุณหภูมิคูรีหรือช่วงของอุณหภูมิสูงสุด T_{max} และยังมีสมบัติที่น่าสนใจหลายประการ อาทิ มีค่าสัมประสิทธิ์คู่ควบพิโซอิเล็กตริก (piezoelectric coupling coefficient) สูง มีความสามารถในการยืดหดที่แม่นยำมาก จึงทำให้สารชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลากหลายชนิด เช่น โซนาร์ทรานสดิวเซอร์ (Sonar transducers) ตัวขับเร้าด้วยความเครียด (strain actuators) ตัวขับเร้าด้วยการอัดด้วยไฟฟ้า (electrostrictive actuators) และตัวเก็บประจุแบบหลายชั้น (multilayer capacitors)[3] เป็นต้น

ในกรณีของสารพิโซอิเล็กตริกที่มีแบเรียมเป็นองค์ประกอบนั้น จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า แบเรียมไททาเนต ($BaTiO_3$) นั้นยังไม่สามารถแสดงสมบัติทางพิโซอิเล็กตริกได้เทียบเท่ากับสารที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบเช่น PZT และ PMN ดังนั้นจึงได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มพยายามที่จะปรับปรุงสมบัติโดยการเติมสารเจือบางตัวเข้าไป ซึ่งในปัจจุบันนี้ในมุมมองของนักวิจัย BZT กำลังเป็นที่สนใจและเป็นที่น่าจับตา เนื่องจากสมบัติของผลึกเดี่ยวของ BZT นั้นแสดงนอกจาก

จะมีสมบัติไดอิเล็กตริกที่โดดเด่นแล้วยังแสดงสมบัติทางพิโซอิเล็กตริกที่โดดเด่นมาก จึงทำให้นักวิจัยมีแนวคิดที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นพิโซอิเล็กตริกทรานสดิวเซอร์ (piezoelectric transducers)[11] และในกรณีของสารพิโซอิเล็กตริกที่มีอัลคาไลน์ไนโอเบตเป็นองค์ประกอบ พบว่า สาร $(K,Na)NbO_3$ ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากการผสมกันระหว่างสารเฟร์โรอิเล็กตริก $KNbO_3$ และสารแอนติเฟร์โรอิเล็กตริก (antiferroelectric) $NaNbO_3$ [12] เมื่อทำการเตรียมด้วยวิธี Reactive-Templated Grain Growth (RTGG) โดยมีสัดส่วนใกล้เคียงกับมอร์โฟทรอปิกเฟสบาวเดรี (morphotropic phase boundary; MPB) จะทำให้สารมีโครงสร้างเป็นแบบออโธรอมบิก (orthorhombic) และเตตระโกนอล (tetragonal) ซึ่งมีอุณหภูมิคูรีที่ประมาณ 253 ^{o}C มีค่าสัมประสิทธิ์พิโซอิเล็กตริก (d_{33}) เท่ากับ 300 pC/N [5,13] ซึ่งจะเห็นได้ว่า $(K,Na)NbO_3$ นอกจากที่จะไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังแสดงสมบัติทางพิโซอิเล็กตริกได้ใกล้เคียงกับ PZT ส่งผลให้มีนักวิจัยพยายามที่จะนำมาใช้ทดแทนสารพิโซอิเล็กตริกที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ แต่เนื่องจาก $(K,Na)NbO_3$ เป็นสารที่ค่อนข้างที่จะมีราคาแพงเมื่อเทียบกับ PZT ส่งผลให้การนำมาประยุกต์ใช้นั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาสารพิโซอิเล็กตริกที่ไม่มีสารตะกั่วเป็นองค์ประกอบ (non-lead piezoelectric) เพื่อนำมาใช้แทนสารตัวเดิม (PZT, PZ, PT, PN และ PMN) นั้นยังคงเป็นความต้องการอย่างเร่งด่วน โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาผลในระยะยาวในเชิงของการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาวิจัยในด้านนี้ต่อไป ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าในขั้นต้นนั้น พบว่า งานค้นคว้าวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นไปในเรื่องของความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการสังเคราะห์ (synthesis) หรือกระบวนการเตรียม (fabrication) ที่มีต่อสมบัติทางพิโซอิเล็กตริกและสมบัติไดอิเล็กตริกของสาร รวมถึงผลของสารเจือที่มีต่อสมบัติของวัสดุด้วย โดยการศึกษานั้นจะเน้นไปที่ในเชิงของวัสดุเฟสเดียว (single phase) มากกว่า แต่เนื่องจากสารพิโซอิเล็กตริกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นยังมีบทบาทที่โดดเด่นและสำคัญอย่างมากในเรื่องของการนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของวัสดุผสม (composite materials) โดยเฉพาะในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ทางการแพทย์และทางการทหาร ดังตัวอย่างที่กล่าวถึงแล้วในข้างต้น

และเนื่องจากในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวัสดุในระดับนาโนมากขึ้น ซึ่งวัสดุนาโนนั้นโดยส่วนใหญ่แล้ว จะเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและมีความสามารถในการเพิ่มขีดความสามารถของวัสดุอื่นให้มีสมบัติดีขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ให้ความสนใจและความสำคัญในการเตรียมวัสดุผสมแบบ 3 เฟส ระหว่างสารพิโซอิเล็กตริกที่ไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ/ผงเซรามิกที่มีขนาดอนุภาคในระดับนาโน/อีพ็อกซีเรซิน ซึ่งเป็นเฟสพอลิเมอร์ โดยมีการเรียงติดกัน (connectivity) แบบ 0-0-3 เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ ซึ่งทางผู้วิจัยคาดว่าการเติมสารเซรามิกที่มีขนาดอนุภาคในระดับนาโนลงไปในวัสดุผสม น่าจะช่วยทำให้สมบัติเชิงกลและสมบัติพิโซอิเล็กตริกของวัสดุผสมดังกล่าวพัฒนาขึ้น นอกจากนี้ แนวคิดของงานวิจัย

นี้เป็นงานวิจัยที่ยังไม่มีนักวิจัยท่านใดได้พัฒนาถึงสมบัติของวัสดุผสมดังกล่าว ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการศึกษาถึงองค์ความรู้ใหม่ในการเตรียมและการศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมชนิดใหม่ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ว่าสามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้หรือไม่ พร้อมกับเป็นการเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถของวัสดุในกลุ่มพิโซคอมโพสิต (piezocomposites) นี้ให้มากยิ่งขึ้นโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

8. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการเตรียมวัสดุผสมแบบ 3 เฟส ระหว่างสารพิโซอิเล็กตริกที่ไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ /เซรามิกเฟสที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโน/อีพ็อกซีเรซิน
2. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล (mechanical property) และสมบัติกายภาพ (physical property) ของวัสดุผสมที่เตรียมได้
3. เพื่อศึกษาสมบัติทางพิโซอิเล็กตริกและไดอิเล็กตริกของวัสดุผสมที่เตรียมได้ และเปรียบเทียบผลที่ได้กับวัสดุผสมที่เตรียมจากสารที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ
4. เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคของผงเซรามิกของสารที่ไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบและวัสดุผสมที่เตรียมได้
5. เพื่อนำผลงานวิจัยที่ได้ไปตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

9. ระเบียบวิธีวิจัย

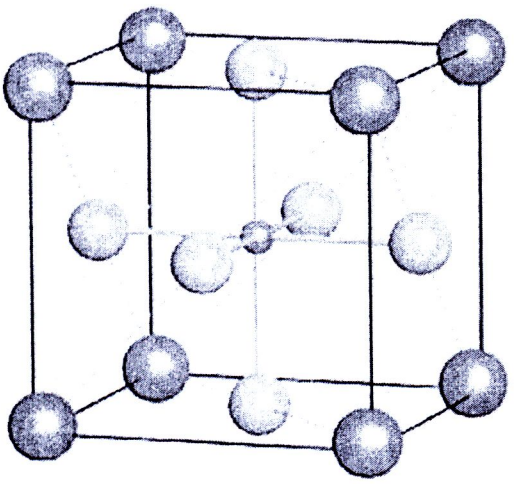
ปีที่ 1

1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. จัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์
3. สังเคราะห์สารเซรามิกที่ไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ (BNT)
4. ตรวจสอบเฟสของเซรามิกที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค XRD
5. ทำการขึ้นรูปและศึกษาการเผาซินเตอร์
6. ตรวจสอบสมบัติกายภาพของเซรามิก BNT และ nanoparticle
7. ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และองค์ประกอบทางเคมีของสารเซรามิกและ nanoparticle ที่เตรียมได้
8. ตรวจวัดสมบัติไดอิเล็กตริกและพิโซอิเล็กตริกของสารเซรามิกและ nanoparticle ที่เตรียมได้

ประเภทนี้มากขึ้น และในปัจจุบันสารชนิดนี้เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ตามระเบียบของกระทรวงอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาส่วนของวัสดุพิโซอิเล็กตริก ให้เป็นสารประกอบที่ปลอดจากออกไซด์ของตะกั่ว หรือให้มีสารประเภทนี้เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่น้อยจึงเป็นเรื่องที่สำคัญและสามารถช่วยในการลดปัญหาทางมลภาวะจากการใช้ออกไซด์ของตะกั่ว และอาจมีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมวัสดุเพียโซอิเล็กตริกในอนาคตอันใกล้

บิสมัทโซเดียมไทเทเนต (bismuth sodium titanate, $Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$) หรือ BNT เป็นสารประกอบเพียโซอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเพอรอฟสไกต์ (perovskite) ที่มีความซับซ้อน โดยทั่วไปสารประกอบซึ่งมีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์จะมีสูตรโครงสร้างเป็น ABO_3 ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ยูนิตเซลล์แบบ ABO_3 ของ BNT [13]

จากการศึกษาลักษณะผลึกที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) ที่สูงพบว่าสารที่มีค่าความสามารถในการโพลาไรซ์เชิงไฟฟ้า (electronic polarizability) สูงมีสาเหตุมาจาก oxygen octahedron ของไอออนประจุบวกซึ่งอยู่ที่ B-site และที่ A-site ในกรณีของไอออนของตะกั่ว (Pb^{2+}) เนื่องจากมี อิเล็กตรอนที่ไม่ได้ถูกแชร์อยู่ในชั้น 6s จึงทำให้มีค่าความสามารถในการโพลาไรซ์เชิงไฟฟ้าที่สูง ซึ่งมีผลต่อสารประกอบของไอออนชนิดนี้ และจากข้อสมมติฐานที่ว่าความสามารถในการโพลาไรซ์เอง (spontaneous polarizability) ของสารประกอบที่มีโครงสร้างเพอรอฟไกต์ที่ไอออนของ A-site ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งแทลเลียมหรือบิสมัทก่อให้เกิดสารประกอบหลายชนิด ซึ่งมีสูตรทางเคมีทั่วไปดังต่อไปนี้ $[A^{+}_{0.5}B^{3+}_{0.5}]B^{4+}O_3$, $[A^{3+}_{0.5}Ti^{+}_{0.5}]B^{4+}O_3$, $Bi^{3+}B^{3+}O_3$ และ $Ti^{+}B^{5+}O_3$ เป็นต้น สำหรับสารประกอบที่น่าสนใจ คือสารบิสมัตโซเดียมไทเทเนตเฟร์โรอิเล็กตริก (bismuth sodiumtitanate ferroelectric) เนื่องจากสารประกอบระบบนี้ มีความเป็นไป

ปีที่ 2

1. เตรียมวัสดุผสม 2 เฟส และ 3 เฟส ระหว่าง BNT/พอลิเมอร์ และ BNT/nanoparticle additive/พอลิเมอร์
2. ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมที่เตรียมได้
3. ตรวจสอบผลของการเติม nanoparticle additive ที่มีต่อกระบวนการโพลของวัสดุผสมที่เตรียมได้
4. ตรวจสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมที่เตรียมได้
5. ตรวจสอบสมบัติไดอิเล็กตริกและพิโซอิเล็กตริกของวัสดุผสมที่เตรียมได้
6. ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมที่เตรียมได้
7. เปรียบเทียบข้อมูลจากวัสดุผสมที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับวัสดุผสมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
8. อภิปรายผลการศึกษาและสรุปผลการวิจัยตลอดจนข้อเสนอแนะ
9. เตรียมเอกสารสำหรับตีพิมพ์
10. เขียนรายงานการวิจัย

10. เอกสารอ้างอิง

1. A.J. Moulson and J.M. Herbert, Electroceramic 2nd Edition, 2003, p. 355 (John Wiley&Sons).
2. G.H. Heartling, *J. Am. Ceram. Soc.* (1999) **82**, p. 797.
3. R.C. Buchanan, Ceramic Materials for Electronics:Processing, Properties and Application, 1st Edn., 1986, p. 189 (New York:Marcel Dekker).
4. อารี ธนบุญสมบัติ, เพียโซอิเล็กตริกเซรามิกไร้สาร(ตะกั่ว):บิสมัทโซเดียมทิทาเนต, วารสารเทคโนโลยีวัสดุศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (ตุลาคม-ธันวาคม 2540).
5. Y. Saito, H. Takao, T. Tani, T. Nonoyoma, K. Takatori, T. Homma, T. Nagaya and M. Nakamrua, Nature (2004) **432**, p.84.
6. Safari, J. Phys. III France, (1994) **4**, p. 1129.
7. G.A. Smolensky, V.A. Lsupor, A.I. Agranovskaya and N.N. Krainik, *Sov.Phys.Solid State*, (1961) **2**, p.2651.
8. C.F. Buhrer, *J. Chem. Phys.*, (1962), **36**, p.798.
9. J. Suchanicz, K. Roleder, A. Kania and J. Handerek, *Ferroelectrics*, (1988) **77**, p.107.

10. K. Roleder, J. Suchanicz and A. Kania, *Ferroelectrics*, (1989) **89**, p.1.

11. Z. Yu, R. Guo, A.S. Bhalla, *Mats. Letts.* (2002) **57**, p. 349.

12. R. Wang, R. Xie, T. Sekiya and Y. Shimojo, *Mats. Res. Bull.* (2004) **39**, p. 1709.

13. X. Jing, Y. Li, Q. Yang, J. Zeng and Q. Yin, *Ceram. Inter.* (2004) **30**, p. 1889.