

## บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RSA5780032  
ชื่อโครงการ : เฟอร์ไรต์อิเล็กทริกทวิภาคซับซ้อนใกล้ขอบเขตเฟสมอร์โฟทรอปิกที่มีสมรรถนะสูง  
ชื่อนักวิจัย : รองศาสตราจารย์ ดร. สุกานดา เจียรศิริสมบุรณ์  
E-mail Address : sukanda.jian@sut.ac.th  
ระยะเวลาโครงการ : 3 ปี

โครงการวิจัยนี้มีจุดประสงค์จะทำการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเฟอร์ไรต์อิเล็กทริกด้วยวัสดุทั้งที่มีโครงสร้างนาโนและสารประกอบโครงสร้างแบบชั้นเชิงซ้อน โดยวัสดุเฟอร์ไรต์อิเล็กทริกที่สนใจมีทั้งชนิดที่มีสารตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เช่น เลดเซอร์โคเนตไทเทเนต (PZT) และเลดแมงกานีสเตียมไนโอเบตไทเทเนต (PMNT) และชนิดที่ไร้สารตะกั่วที่มีโครงสร้างแบบชั้นเชิงซ้อน เช่น สตรอนเทียมบิสมาทไนโอเบต (SBN) และ สตรอนเทียมบิสมาทแทนทาล (SBT) วัสดุเฟอร์ไรต์อิเล็กทริกแบบใหม่ๆ จึงได้ถูกผลิตขึ้น ซึ่งบางระบบจะอยู่ในรูปของฟิล์มบาง แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเซรามิก ดังนั้น กระบวนการผลิตเพื่อให้ได้วัสดุคุณภาพสูง โครงสร้างจุลภาค องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางไฟฟ้าจึงถูกศึกษาอย่างละเอียด ในรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการฉบับนี้ได้เลือกผลการวิจัยที่น่าสนใจและแล้วเสร็จมานำเสนอไว้เพียง 2 ส่วน ดังนี้

งานวิจัยส่วนที่ 1 ศึกษาการเตรียมและการหาลักษณะเฉพาะของเซรามิกเฟอร์ไรต์อิเล็กทริก PZT ที่ถูกเติมด้วยสารประกอบเฟอร์ไรต์อิเล็กทริกประเภทเพอโรฟสไกต์ที่มีโครงสร้างเชิงซ้อนของ SBT โดยงานวิจัยนี้ทำการเตรียมเซรามิก  $(1-x)\text{PZT}-x\text{SBT}$  (เมื่อ  $x = 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$  และ  $1.0$  เศษส่วนโดยน้ำหนัก) เมื่อตรวจสอบค่าคงที่ไดอิเล็กทริก พบว่า มีค่าสูงที่สุดที่อัตราส่วน  $0.9\text{PZT}-0.1\text{SBT}$  แต่จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ SBT เพิ่มขึ้น สำหรับสมบัติเฟอร์ไรต์อิเล็กทริก พบว่า การเพิ่มปริมาณ SBT เข้าไปใน PZT เพียงเล็กน้อย ( $x = 0.1$  เศษส่วนโดยน้ำหนัก) สามารถปรับปรุงค่าสนามลบล้าง ค่าโพลาริเซชันคงค้าง และความเป็นเหลี่ยมของวงวนฮิสเทอรีซิส อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณ SBT เพิ่มขึ้นจะทำให้สมบัติเฟอร์ไรต์อิเล็กทริกของเซรามิกลดลง ในส่วนของสมบัติพีโซอิเล็กทริก พบว่า การเติมปริมาณ SBT ในปริมาณ  $x = 0.1$  เศษส่วนโดยน้ำหนัก จะช่วยปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์พีโซอิเล็กทริกให้แก่เซรามิก PZT ได้

งานวิจัยส่วนที่ 2 งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้าของเซรามิกเฟอร์ไรต์อิเล็กทริก PMNT สำหรับประยุกต์เป็นตัวขับเคลื่อน เซรามิกเลด PMNT ถูกเตรียมด้วยวิธีผสมออกไซด์และซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซรามิกที่เตรียมได้มีความหนาแน่นสัมพัทธ์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ ขนาดเกรนของเซรามิกมีค่าเท่ากับ 3 ไมโครเมตร พฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้าของเซรามิกจะถูกวัดภายใต้การให้สนามไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแอมพลิจูด 2 เท่าของสนามไฟฟ้าลบล้างของเซรามิก และมีความถี่เท่ากับ 5 10 50 และ 100 เฮิร์ตซ์ ความล้าทางไฟฟ้าของเซรามิกหาได้จากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาค วงวนฮิสเทอรีซิส และเส้นโค้งความเครียด-สนามไฟฟ้า ที่จำนวนรอบ

สนามไฟฟ้าต่าง ๆ จนถึง  $10^6$  รอบ โดยการใช้อัลตร้าจูลทรสส์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องวัดสมบัติเพอร์โรอิเล็กทริก และเครื่องวัดความเครียดที่เชื่อมต่อกับเครื่องจ่ายไฟฟ้าความต่างศักย์สูง ตามลำดับจากการทดลองพบว่าเกิดความเสียหายของชั้นผิวหน้าในเซรามิกที่ผ่านการทดสอบความล้าทางไฟฟ้า โดยที่ความหนาของชั้นที่เสียหายดังกล่าวลดลงเมื่อความถี่ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ โพลาริเซชันคงค้างและความเครียดสูงสุดของเซรามิกมีค่าลดลงเมื่อจำนวนรอบของสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความล้าทางไฟฟ้าของเซรามิกลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น พฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้าของเซรามิกเลดแมกนีเซียมในโอเบตไทเทเนตสามารถอธิบายได้โดยปรากฏการณ์การป้องกันสนามไฟฟ้าและการเป็นหมุดยึดขอบโดเมนของตำหนิ

งานวิจัยในโครงการนี้โดยสรุปถือว่าประสบความสำเร็จในการเตรียม ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการผลิต โครงสร้าง และสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุเพอร์โรอิเล็กทริกแบบใหม่ๆ หลายระบบ ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้ทำให้เข้าใจพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุเหล่านี้ ตามสภาวะการเตรียมและปริมาณเฟสที่ใช้ในการเติม ซึ่งให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ และช่วยชี้แนะแนวทางในการทำวิจัยต่อและพัฒนาวัสดุเพอร์โรอิเล็กทริกเหล่านี้ให้ดียิ่งขึ้น เพื่อการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้ต่อไปในอนาคต

**คำหลัก :** เซรามิกเพอร์โรอิเล็กทริก โครงสร้างนาโน โครงสร้างแบบชั้นเชิงซ้อน เฟส สมบัติทางไฟฟ้า

## Abstract

---

**Project Code :** RSA5780032  
**Project Title :** High performance complex binary ferroelectrics near morphotropic phase boundary  
**Investigator :** Assoc. Prof. Dr. Sukanda Jiansirisomboon  
**E-mail Address :** sukanda.jian@sut.ac.th  
**Project Period :** 3 years

This research project aims to improve ferroelectric materials using nanostructures and complex layered-structured compounds. The interested ferroelectric materials include Pb-base compounds, i.e. lead zirconate titanate (PZT) and lead magnesium niobate titanate (PMNT), and lead free compounds, i.e. strontium bismuth niobate (SBN) and strontium bismuth tantalate (SBT). Several new ferroelectric systems were fabricated in this project. Some systems were in a form of thin film, while most of them were in a ceramic form. Therefore, fabrication process for high quality materials, microstructure, chemical composition and electrical properties were carefully studied in details. In this final research project will present 2 interested research parts that were completely done which are shown below.

The first part of this research studied the fabrication and characterization of ferroelectric PZT added with complex layer-structured perovskite compounds of SBT. This research prepared (1-x)PZT-xSBT (when  $x = 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$  and  $1.0$  weight fraction). The maximum value of dielectric constant was found in 0.9PZT-0.1SBT ceramics. The values were decreased with further increase in the amount of SBT. Ferroelectric property measurements showed that an addition of a small amount of SBT ( $x = 0.1$ ) into PZT improved coercive field, remanent polarization and loop squareness. Further increasing the amount of SBN or SBT degraded the ferroelectric properties. For piezoelectric properties, the addition of small amounts of SBT with  $x = 0.1$  could improve the piezoelectric coefficient of PZT ceramic.

The second part of this work studies bipolar electrical fatigue behaviour of lead magnesium niobate titanate (PMNT) ferroelectric ceramics for actuator applications. The PMNT ceramics were prepared by using conventional mixed-oxide and sintered at  $1240^{\circ}\text{C}$  for 2 hrs. Ceramics with  $> 98\%$  relative density and  $\sim 3\ \mu\text{m}$  were obtained. Fatigue behaviour of ceramics was measured under an application of AC electric field with an amplitude 2 times of

the ceramic's coercive field. The frequency of the applied electric field was also varied as 5, 10, 50 and 100 Hz. The fatigue behaviour was determined from the change of microstructures, polarization-electric field hysteresis loops and strain-electric field curves measured at different cycle numbers up to  $10^6$  cycles by using a scanning electron microscope (SEM), ferroelectric measurement system and a strain in conjunction with a high voltage supplier, respectively. The damage of the surfaces underneath the electrode layers was observed in all fatigued samples. The thickness of the damaged layers decreased with increasing fatigue frequency. Moreover, remanent polarization and maximum strain tended to decrease with increasing cycle number. The degradation of properties due to fatigue of the ceramics decreased with an increase in frequency. The observed fatigue behaviour of the ceramics was explained based on domain pinning and electric field screening effects.

To conclude, this research was successful in fabrication, study of relations between fabrication, structure and properties of new ferroelectric systems. The results provided insight understanding of property changes upon processing condition and number of additional phases. This research suggested further research direction and development of these materials for actual applications in electronic industries.

**Keywords:** Ferroelectric ceramics, nanocomposite, processing, structure, mechanical properties, electrical properties,