

การปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ และการทำคอมโพสิต
กับวัสดุเซรามิก กลุ่ม TiO_2

Enhanced Dielectric Properties of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ Ceramics and Fabricating
with TiO_2 -base Ceramics

ศรราม โอทาทะวงศ์ (Somram Otatawong)* ดร.ประสิทธิ์ ทองใบ (Dr.Prasit Thongbai)**

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์วัสดุเซรามิก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO) และวัสดุเซรามิกเซรามิกคอมโพสิต $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}/(\text{In}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$ (CCTO/INTO) โดยใช้วิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง และเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1050°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าวัสดุเซรามิก CCTO มีขนาดเกรนโตกว่าวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO นอกจากนี้โดยค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ') ที่ความถี่ 1kHz และที่อุณหภูมิห้องของวัสดุเซรามิก CCTO และ CCTO/INTO มีค่าเท่ากับ 118834 และ 5954 ตามลำดับ ส่วนค่าแทนเจนต์ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) มีค่า 0.239 และ 0.035 ตามลำดับ ดังนั้นในการเจือไอออน Nb^{5+} และ In^{3+} ในวัสดุ TiO_2 ผสมกับวัสดุ CCTO เป็นผลทำให้ขนาดเกรน, ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าแทนเจนต์ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกลดลง โดยพฤติกรรมการมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงของวัสดุเซรามิกสามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบชั้นขวางกันภายใน โดยการเกิดโพลาริเซชันทางไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อของขอบเกรน และจากการศึกษาด้วยใช้เทคนิคทางอิมพีแดนซ์สามารถยืนยันได้ว่าขอบเกรนของวัสดุมีสมบัติทางไฟฟ้าเป็นฉนวนและภายในเกรนของวัสดุเป็นสารกึ่งตัวนำ

ABSTRACT

In this work, $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO) and $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}/(\text{In}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$ (CCTO/INTO) ceramics were prepared by a solid state reaction method and sintered at 1050°C for 6h. The result show that CCTO ceramic, the grain size is bigger than CCTO/INTO ceramic. The dielectric constant (ϵ') at 1 kHz and room temperature of ceramics material CCTO and CCTO/INTO is equal 118834 and 5954 respectively, while the dielectric loss tangent ($\tan\delta$) are 0.239 and 0.035 respectively. So in doped ion Nb^{5+} and In^{3+} in TiO_2 material mixed with material CCTO. As a result; the grain size, the dielectric constant and the dielectric loss tangent are decreased. The high dielectric constant can be well described by the internal barrier layer capacitor (IBLC) model base on the interfacial polarization at the grain boundary interface. According to the impedance spectroscopy analysis, it is confirmed that the electrical properties of the grain and grain boundary are semiconductor and insulator respectively.

คำสำคัญ: ค่าคงที่ทางไดอิเล็กตริก ค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก เซรามิก

Keywords: Dielectric constant, Dielectric loss tangent, Ceramics

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าวิวัฒนาการทางด้านวัสดุอิเล็กทรอนิกส์มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในยุคปัจจุบันมีความแปลกใหม่ ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการค้นพบวัสดุที่มีสมบัติพิเศษหรือเฉพาะทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ใหม่ๆ ซึ่งทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ โดยเฉพาะตัวเก็บประจุประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้นอีกทั้งยังมีขนาดเล็กลงด้วย ในปี 2000 ได้มีรายงานการค้นพบค่า ϵ' ที่สูงถึง 1.02×10^4 ในวัสดุเซรามิก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO) พร้อมกันนี้ค่า ϵ' ยังเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิเป็นอย่างมากในช่วงอุณหภูมิประมาณ -173 ถึง 320 °C (Subramanian et al.,2000;Sinclair et al.,2002) อย่างไรก็ตามสาเหตุหรือกลไกการมีค่า ϵ' ที่สูงของวัสดุ $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ยังไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนและยังคงเป็นประเด็นที่ถกเถียงกันในวงวิชาการจนถึงปัจจุบัน ด้วยคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริกที่โดดเด่นทั้งสองประการนี้ รวมทั้งประเด็นข้อเท็จจริงเกี่ยวกับกลไกที่ส่งผลให้ $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ มีค่า ϵ' ที่สูง ทำให้มีงานวิจัยต่าง ๆ มีการศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกและสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเซรามิก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ อย่างกว้างขวางจนถึงปัจจุบัน (Sinclair et al.,2002;Lunkenheimer et al.,2004;Adams et al.,2002;Li et al.,2010;Yamada et al.,2010;Thongbai et al.,2013) อย่างไรก็ตาม $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ยังคงมีค่า $\tan\delta$ ที่สูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน EIA (โดยทั่วไปแล้ว $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ มีค่า $\tan\delta > 0.1$ ที่ 1 kHz) ซึ่งถือเป็นอุปสรรคที่สำคัญที่ยังคงปิดกั้นโอกาสของการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิตตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนาดจิ๋วที่เปี่ยมไปด้วยประสิทธิภาพในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยปริมาตรสูง ในขณะที่การศึกษาวิจัยเพื่อลดค่า $\tan\delta$ ในวัสดุ $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ มักจะส่งผลให้ค่า ϵ' ลดลงอย่างมากด้วยเช่นกัน เช่นการเจือ La ใน $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ จะสามารถลดค่า $\tan\delta$ ได้อย่างมากและมีค่าเพียง 0.02 แต่ค่า ϵ' มีค่าที่ลดลงอย่างมากเช่นกัน โดยมีค่าเพียง 2×10^3 เท่านั้น (Feng et al.,2006) หรือแม้แต่การปรับปรุงเพื่อลดค่า $\tan\delta$ ด้วยวิธีอื่น ๆ ผลลัพธ์ที่ได้มักจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันนี้ กล่าวคือได้วัสดุ $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ที่มีค่า $\tan\delta$ ต่ำตรงตามมาตรฐานการใช้งาน แต่ด้วยกระบวนการเดียวกันนี้ได้ส่งผลให้ค่า ϵ' ของวัสดุมีค่าลดลงอย่างมากด้วย (Kobayashi et al.,2005;Patterson et al.,2005) และจากรายงานวิจัยล่าสุดได้ค้นพบวิธีการใหม่ในการปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกของ TiO_2 โดยการเจือด้วยคู่อิออนของ In^{3+} และ Nb^{5+} (Hu et al.,2013) พบว่าให้ค่า ϵ' ที่สูงประมาณ 6×10^4 และมีค่า $\tan\delta < 0.02$ (ที่อุณหภูมิห้อง) ในช่วงความถี่ 10^2 - 10^6 Hz ในขณะที่วัสดุ TiO_2 ที่ไม่ผ่านการเจือมีค่า $\epsilon' \approx 240$ เท่านั้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการสังเคราะห์วัสดุเซรามิกดังกล่าวนี้สูงถึง 1400 - 1500 °C เพื่อให้ได้วัสดุเซรามิกที่มีความแน่นตัวสูง โดยคุณสมบัติทางไฟฟ้า วัสดุดังกล่าวนี้มีสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีและมีค่า ϵ' ที่สูงมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษานำอนุภาค TiO_2 ที่เจือด้วยคู่อิออนของ In^{3+} และ Nb^{5+} มาใช้เป็นวัสดุเสริมในวัสดุ CCTO คาดว่าจะสามารถลดค่า $\tan\delta$ ให้ต่ำลงได้อีก และไม่ส่งผลต่อการลดลงของค่า ϵ' อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ที่เตรียมโดยวิธี โดยวิธีปฏิบัติวิธานสถานะของแข็ง

2. เพื่อศึกษาปัจจัยของการทำคอมโพสิตด้วยอนุภาคผง TiO_2 ที่เจือด้วยไอออน In^{3+} และ Nb^{5+} ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางไฟฟ้าที่ขอบเกรนของวัสดุเซรามิก $CaCu_3Ti_4O_{12}$

3. เพื่อศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกในการทำคอมโพสิตของ $CaCu_3Ti_4O_{12}/(In_{0.5}Nb_{0.5})_xTi_{1-x}O_2$

วิธีการวิจัย

การสังเคราะห์วัสดุผง $(In_{0.5}Nb_{0.5})_xTi_{1-x}O_2$ และวัสดุผง $CaCu_3Ti_4O_{12}$ โดยวิธีปฏิกิริยาของแข็งโดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้ เริ่มต้นทำการเตรียม $(In_{0.5}Nb_{0.5})_xTi_{1-x}O_2$ ที่เงื่อนไข $x=0.1$ โดยผสมสารตั้งต้นที่ใช้เป็นตัวเจือ ได้แก่ In_2O_3 และ Nb_2O_5 ตามสูตร $(In_{0.5}Nb_{0.5})_xTi_{1-x}O_2$ ลงในขวดแก้วบดผสมด้วยลูกบอล ZrO_2 (ball milling) โดยใช้เอทานอลเป็นตัวละลายเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จากนั้นจะเติมผงของ TiO_2 ตามอัตราส่วนที่คำนวณไว้ตอนแรก แล้วนำไปบดด้วยลูกบอลแบบเปียกซ้ำ เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำขวดที่มีส่วนผสมของสารตั้งต้นทั้งหมดมาแยกเอาตะกอนของสารออกจากลูกบอลโดยใช้ตะแกรงกรอง แล้วนำตะกอนของสารที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}C$ จากนั้นนำผงที่ได้ไปบดและร่อนผ่านตะแกรงกรองที่มีความละเอียด 125 จากนั้นนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ $1100\text{ }^{\circ}C$ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง

จากนั้นทำการสังเคราะห์ผง $CaCu_3Ti_4O_{12}$ ในขั้นตอนแรกเริ่มต้นจากการเตรียมผสมสารตั้งต้น $CaCO_3, CuO$ และ TiO_2 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ลงในขวดแก้วบดผสมด้วยลูกบอลแบบเปียกโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปอบจนแห้ง ผงที่แห้งถูกนำมาบดให้ละเอียด แล้วนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ $900\text{ }^{\circ}C$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงกรองที่มีความละเอียด 125 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ $900\text{ }^{\circ}C$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง อีก 1 รอบและนำมาบดร่อนผ่านตะแกรงกรองอีกครั้ง จากนั้นทำการสังเคราะห์วัสดุคอมโพสิตของ $CaCu_3Ti_4O_{12}/(In_{0.5}Nb_{0.5})_xTi_{1-x}O_2$ ด้วยวิธีการบดด้วยลูกบอลแบบแห้ง โดยเริ่มต้นซึ่งสารตั้งต้นวัสดุผง $(In_{0.5}Nb_{0.5})_xTi_{1-x}O_2$ กับ $CaCu_3Ti_4O_{12}$ ตามสัดส่วนที่คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\%CCTO = \frac{V_{CCTO}\rho_{CCTO} \times 100}{V_{CCTO}\rho_{CCTO} + (1 - V_{CCTO})\rho_{NITO}}$$

โดยที่ V_{CCTO} คือ อัตราส่วนโดยปริมาตรของ CCTO ρ_{CCTO} คือ ความหนาแน่นของ CCTO (5.053 g/cm^3) ρ_{NITO} คือ ความหนาแน่นของ NITO (4.230 g/cm^3)

จากนั้นนำสารที่ซึ่งได้ใส่ลงในขวดพร้อมกับลูกบอล ZrO_2 จากนั้นบดด้วยลูกบอลแบบแห้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นแยกลูกบอลออกจะได้วัสดุ $CaCu_3Ti_4O_{12}/(In_{0.5}Nb_{0.5})_xTi_{1-x}O_2$ คอมโพสิตเพื่อนำไปอัดขึ้นรูปโดยการอัดแรงดันแบบทิศทางเดียวแล้วนำวัสดุที่ขึ้นรูปแล้วไปเผาผนึก (sintering) ที่อุณหภูมิ $1050\text{ }^{\circ}C$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุเซรามิก $CaCu_3Ti_4O_{12}$ ที่เผาผนึก (sintering) ที่อุณหภูมิ $1050\text{ }^{\circ}C$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

จากนั้นศึกษาโครงสร้างพื้นฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-rays diffraction, XRD) การศึกษาลักษณะของพื้นผิวด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) และศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าแล้วถูกนำมาศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกโดยใช้เทคนิคตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนานทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Impedance ที่ตั้งอยู่ ณ ภาคฟิสิกส์

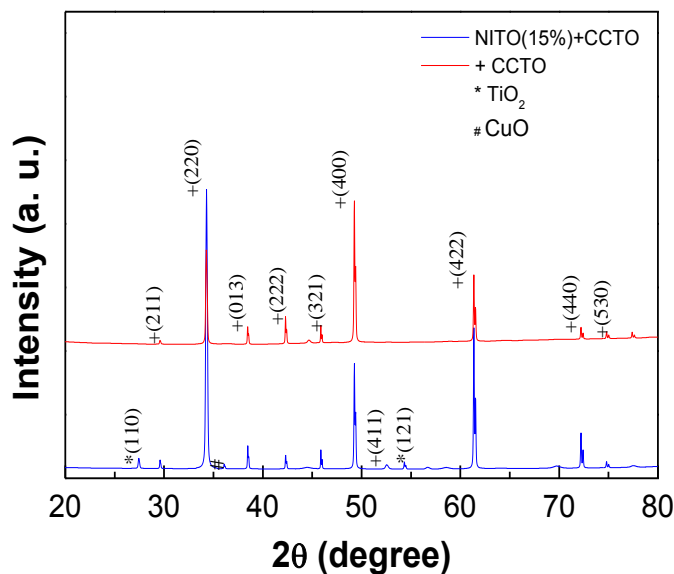
มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งค่าที่วัดได้นั้นจะอยู่ในรูปของค่าความจุไฟฟ้า (capacitance, C) และค่าแทนเจนต์ของการสูญเสีย (tanδ) โดยในงานวิจัยนี้จะวัดค่าในช่วงความถี่ 10^2 - 10^7 Hz ในช่วงอุณหภูมิห้อง ซึ่งค่าที่ได้นี้สามารถนำไปคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุได้

ผลการวิจัย

1.ผลการศึกษาการเกิดเฟสและโครงสร้างของวัสดุเซรามิก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ กับวัสดุเซรามิกคอมโพสิต $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}/(\text{In}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$ (CCTO/INTO) โดยเทคนิค XRD

การศึกษากการเกิดเฟสและโครงสร้างของวัสดุเซรามิก CCTO ผ่านการแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1050°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO ซึ่งประกอบไปด้วยเฟส 2 เฟสคือ เฟสของ CCTO ในปริมาณ 85 mol% และเฟสของ TiO_2 ในปริมาณ 15mol% เมื่อทำการสังเคราะห์วัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/NITO และเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1050°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาแสดงในรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ผลการศึกษาแสดงในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนกับมุมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยใช้มุม 2θ ในช่วงมุมระหว่าง 20-80 องศา ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1: แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในวัสดุเซรามิก CCTO กับวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO ผลการทดลองพบว่าในวัสดุเซรามิก CCTO ที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1050°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงจากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์บ่งชี้ว่าการเกิดเฟสของ CCTO อย่างสมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน (JCPDS 75-2188) พบว่ามีโครงสร้างแบบลูกบาศก์ และเปรียบเทียบกับข้อมูลในงานวิจัย (Subramanian et al.,2002;Thongbai et al.,2012b) แต่ยังไม่พบเฟสเจือปนของ CuO เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน (JCPDS 80-0076) และผลการทดลองวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO พบว่าวัสดุตัวอย่างเกิดเฟสของ CCTO และ TiO_2 อย่างสมบูรณ์ โดยไม่พบเฟสเจือปนอื่น ๆ โดยเฟสของ CCTO สอดคล้องกับข้อมูลมาตรฐาน (JCPDS 75-2188) และเฟสของ TiO_2 สอดคล้องกับข้อมูลมาตรฐาน (JCPDS 21-1276)



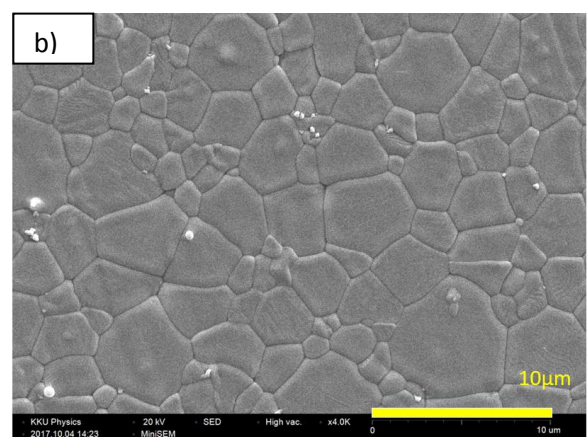
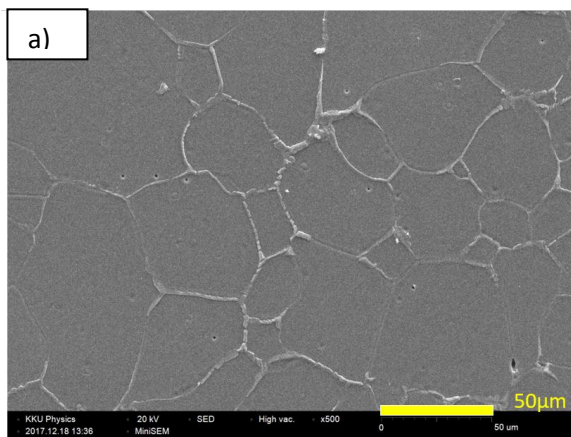
ภาพที่ 1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในวัสดุเซรามิก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ กับ วัสดุเซรามิกคอมโพสิต

$\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}/(\text{In}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$ ที่ผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1050°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานของวัสดุเซรามิก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ กับวัสดุคอมโพสิต $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}/(\text{In}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$ (CCTO/INTO) โดยเทคนิค SEM

จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุเซรามิก CCTO กับวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1050°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และผ่านการขัดผิวหน้าและผ่านการอบ (annealing) ที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 30 นาที ดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 แสดงภาพถ่ายผิวหน้าของวัสดุเซรามิก CCTO และวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1050°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าในวัสดุเซรามิก CCTO มีลักษณะของเกรนใหญ่ ผิวเรียบ และมีรูพรุนเกิดขึ้น และในกรณีวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO พบว่ามีลักษณะของเกรนใหญ่และเกรนเล็กกระจายตัวที่พื้นผิว มีลักษณะผิวที่เรียบ มีการอัดแน่นตัวของเกรน ซึ่งทำให้ไม่พบรูพรุนเกิดขึ้น โดยการวิเคราะห์จากภาพถ่ายของขนาดเกรนเฉลี่ยของวัสดุเซรามิก CCTO และวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO มีขนาดเกรนเฉลี่ย $51.93\mu\text{m}$ และ $3.55\mu\text{m}$ ตามลำดับ



ภาพที่ 2 แสดงภาพถ่ายผิวหน้าของวัสดุเซรามิก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ กับวัสดุเซรามิกคอมโพสิต

$\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}/(\text{In}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$ โดยเทคนิค SEM ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1050°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

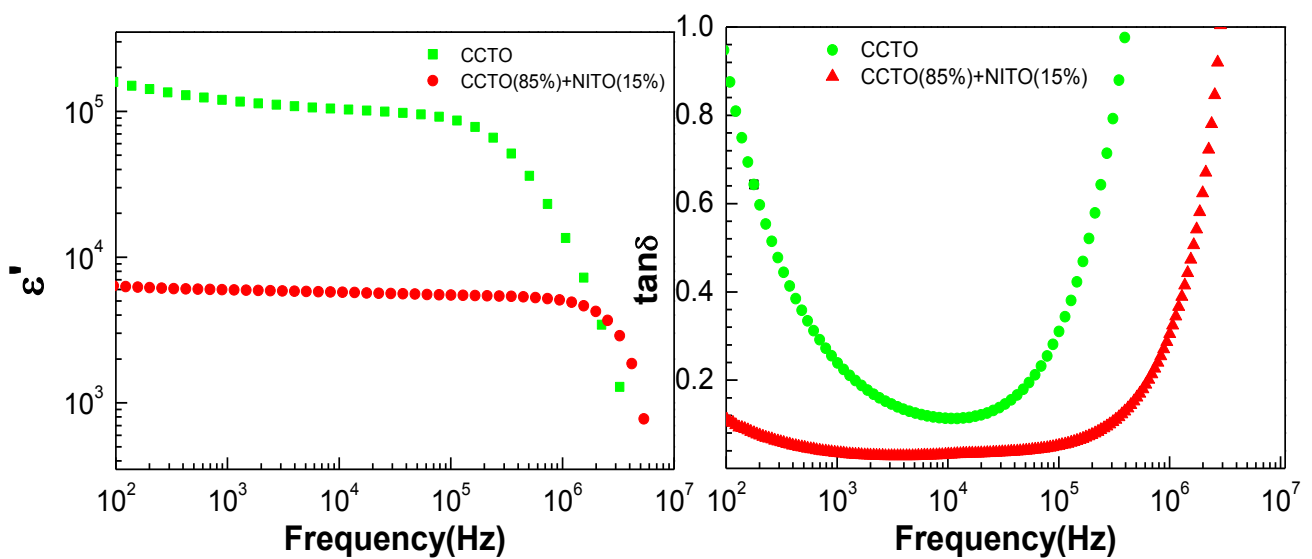
a) CCTO b) CCTO/INTO

ผลการศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ กับวัสดุคอมโพสิต $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}/(\text{In}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{Ti}_{1-x}\text{O}_2$ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแทนเจนต์ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก

จากการศึกษาสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุเซรามิก CCTO และวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO โดยศึกษาสมบัติพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ') และค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) ซึ่งศึกษาที่อุณหภูมิห้องในช่วงความถี่ 100 Hz ถึง 10 MHz ข้อมูลจากการทดลองแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ' และค่า $\tan\delta$ ที่ความถี่ต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3

ภาพที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของค่า ϵ' ของวัสดุเซรามิก CCTO และวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO ที่ผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1050 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยศึกษาวัสดุตัวอย่างทั้งสองที่ความถี่ 1 kHz มีค่า ϵ' คือ 118834 และ 5954 ตามลำดับ โดยพบว่าค่า ϵ' ที่สังเคราะห์อนุภาค TiO₂ ที่เจือด้วยไอออนของ In³⁺ และ Nb⁵⁺ ผสมกับวัสดุ CCTO ส่งผลต่อการลดลงของค่า ϵ' เป็นอย่างมากแต่เป็นที่น่าสนใจของวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO มีค่า ϵ' เปลี่ยนแปลงกับความถี่น้อยมากตลอดช่วงความถี่ 10²-10⁶ Hz ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากไม่มีการเกิดอินเตอร์เฟซเฟสโพลาไรเซชัน (Interfacial polarization); (Sinclair et al., 2012) เพราะการสะสมของประจุพาหะที่บริเวณผิวรอยต่อระหว่างส่วนสภาพนำไฟฟ้าสูง (เกรน) กับส่วนที่เป็นฉนวนภายในไดอิเล็กตริก (ขอบเกรน) มีจำนวนน้อยมากจึงไม่ทำให้เกิดอินเตอร์เฟซเฟสโพลาไรเซชัน (Interfacial polarization)

และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของค่า $\tan\delta$ ของวัสดุเซรามิก CCTO และวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO ที่ผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1050 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยศึกษาวัสดุตัวอย่างทั้งสองที่ความถี่ 1 kHz มีค่า $\tan\delta$ คือ 0.239 และ 0.035 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงกับความถี่ของค่า ϵ' และ $\tan\delta$ ที่อุณหภูมิห้องสำหรับวัสดุเซรามิก CaCu₃Ti₄O₁₂ กับวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CaCu₃Ti₄O₁₂/(In_{0.5}Nb_{0.5})_xTi_{1-x}O₂ ที่ผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1050 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการนำอนุภาค TiO_2 ที่เจือด้วยคู่อิออนของ In^{3+} และ Nb^{5+} มาผสมกับวัสดุ CCTO สามารถช่วยลดค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก ($\tan\delta$) ให้ต่ำลงได้โดยมีค่าเท่ากับ 0.035 แต่ถึงอย่างไรค่าคงที่ไดอิเล็กตริกก็ลดลงด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากขนาดเกรนของวัสดุเซรามิก CCTO เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO มีขนาดเกรนลดลงทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลง โดยค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ') ของวัสดุเซรามิก CCTO และ CCTO/INTO ที่ความถี่ 1 kHz ณ อุณหภูมิห้อง มีค่า 118834 และ 5954 ตามลำดับ และจะเห็นว่าในวัสดุเซรามิกคอมโพสิต CCTO/INTO มีค่า ϵ' คงที่ในช่วงความถี่ 10^2 - 10^6 Hz ทั้งนี้เป็นเพราะว่าไม่มีการเกิดอินเตอร์เฟซเชียลโพลาไรเซชัน (Interfacial polarization)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุน TGIST ที่มอบทุนการศึกษา ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนการใช้เครื่องมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ ผศ.ดร. ประสิทธิ์ ทองใบ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัยเป็นอย่างสูง ที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Adama B, Sinclair DC, West AR. Giant barrier layer capacitance effects in $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ceramics. *Advanced materials* 2002; 14(18): 1321-3.
- Fang TT, Shiau HK. Mechanism for developing the boundary barrier layers of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. *Journal of the American ceramic society* 2004;87(11): 2072-9.
- Hu WB, Liu Y, Withers RL, Frankcombe TJ, Norén L, Snashall A, et al. Electron-pinned defect-dipoles for high-performance colossal permittivity materials. *Nature Materials* 2013; 12: 821.
- Kobayashi W, Terasaki I. $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}/\text{CaTiO}_3$ composite dielectrics: Ba/Pb-free dielectric ceramics with high dielectric constants. *Applied Physics Letters* 2005; 87(3): 032902-4.
- Li J, Zhao X, Li S, Gu F, J. Defects and dc electrical degradation in $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$: Role of oxygen vacancy migration. *Applied Physics Letters* 2012; 100: 202905-4
- Lunkenheimer P, Fichtl R, Ebbinghaus S, Loidl A. Nonintrinsic origin of the colossal dielectric constants in $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. *Physics Review B* 2004; 70(17): 172102-4.
- Patterson EA, Kwon S, Huang C-C, Cann DP. Effects of ZrO_2 additions on the dielectric properties of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. *Applied Physics Letters* 2005; 87(18): 182911-3.
- Sinclair DC, Adams TB, Morrison FD, West AR. $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$: One-step internal barrier layer capacitor. *Applied Physics Letters* 2002; 80(12): 2153-5.
- Subramanian MA, Li D, Duan N, Reisner BA, Sleight AW. High dielectric constant in $\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ and $\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{FeO}_{12}$ phases. *Journal of solid State Chemical* 2000; 151: 323-5.
- Thongbai P, Boonlakhorn J, Putasaeng B, Yamwong T, Maensiri S. Extremely Enhanced Nonlinear Current-Voltage Properties of Tb-Doped $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ceramics. *Journal of the American Ceramic Society* 2013; 96(2): 379-3.
- Yamada I, Ishiwata S, Terasaki I, Azuma M, Shimakawa Y, Takano M. Synthesis, Structure, and Physical Properties of A-site Ordered Perovskites $\text{ACu}_3\text{Co}_4\text{O}_{12}$ (A=Ca and Y). *Chemistry of materials* 2010; 22(18): 5328-5.