

ผลของอุณหภูมิในการเผาอบผงต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติอิมพีแดนซ์ของเซรามิก $\text{Zn}_{0.97}\text{Cu}_{0.01}\text{V}_{0.02}\text{O}$

Effect of Sintering Temperature on Microstructure and Impedance Properties of $\text{Zn}_{0.97}\text{Cu}_{0.01}\text{V}_{0.02}\text{O}$ Ceramics

มารีนี เบือชา^{1*}, ประชิต คงรัตน์², ประสงค์ เกษราธิคุณ³ และนิคม ชูศิริ⁴

Mareenee Beusa^{1*}, Prachit Kongrattana², Prasong Kessaratikoon³ and Nikom choosiri⁴

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาอบผงต่อโครงสร้างจุลภาค และสมบัติอิมพีแดนซ์ของเซรามิก $\text{Zn}_{0.97}\text{Cu}_{0.01}\text{V}_{0.02}\text{O}$ (ZCV) เตรียมด้วยวิธีการผสมออกไซด์ โดยเผาอบผงด้วยอุณหภูมิ 900, 950, 1000 และ 1050°C นาน 5 ชั่วโมง และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเผาอบผงโดยวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยความร้อน (TGA) และเครื่องวิเคราะห์ผลต่างของความร้อน (DTA) ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จากการศึกษาสมบัติทางอิมพีแดนซ์ พบว่า สารตัวอย่างที่ผ่านการเผาอบผงด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ ปรากฏเพียงเฟสเดียว คือ เฟสของ ZnO อัตราส่วน c/a ลดลง และขนาดเกรนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาอบผง กราฟอิมพีแดนซ์เป็นแบบ Cole – Cole ซึ่งในช่วงความถี่ 80 Hz – 1 MHz มีค่าความต้านทานส่วนจริงอยู่ในช่วง 1.28×10^{-1} – $1.04 \times 10^{-7} \Omega$ และมีค่าความต้านทานส่วนจินตภาพอยู่ในช่วง (-1.94×10^{-1}) – $(-7.49 \times 10^{-6}) \Omega$

คำสำคัญ: เผาอบผง, เกรน, อิมพีแดนซ์

Abstract

This work present was to study the effect of sintering temperature on microstructure and impedance properties of $\text{Zn}_{0.97}\text{Cu}_{0.01}\text{V}_{0.02}\text{O}$ (ZCV) ceramics which were prepared by mixed oxide method. The ceramics were sintered at the temperature of 900, 950, 1000 and 1050°C for 5 hours. The thermo gravimetric (TGA) and differential thermal analysis (DTA) were employed to study the suitable condition for sintering. The ceramics microstructure was carried out by x-ray diffraction (XRD) technique and scanning electron microscopy (SEM). The impedance properties of the ceramics were also studied and determined. The single phase of ZnO was found in every samples. The c/a ratio was decreased and the grain size of ZCV sample was increased with increasing of the sintering temperature. The impedance Cole-Cole diagram were shown at the range of frequency 80 Hz to 1 MHz. Moreover, the real and complex resistivities value were found to be 1.28×10^{-1} to $1.04 \times 10^{-7} \Omega$ and (-1.94×10^{-1}) to $(-7.49 \times 10^{-6}) \Omega$, respectively.

Keywords: Sintering, Grain, Impedance

¹ นิสิตระดับปริญญาโท หลักสูตร วท.ม. (ฟิสิกส์) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² อ., ³ ผศ. ดร., ⁴ รศ. ดร., หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

* Corresponding author: e-mail : nungning_nee_@hotmail.com Tel. 081-0932855

บทนำ

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารออกไซด์ที่ได้รับความสนใจนำไปประยุกต์ใช้งานในวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องใช้อุณหภูมิ และกำลังไฟฟ้าสูงเนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูง เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น จอแสดงผล (Display) วัสดุไดอิเล็กทริกและวาริสเตอร์ (Varistor) เป็นต้น ซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) มีแถบช่องว่างพลังงาน (Band gap) กว้าง 3.37 eV และมีพลังงานยึดเหนี่ยว 60 meV [1] ซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างแบบเวิร์ทไซด์ (Wurtzite) ที่ขาดความสมมาตรของอะตอมกลางเมื่อมีการเจือสารอื่นลงไปในแลตทิซ (Lattice) ของสารซิงค์ออกไซด์จะทำให้โครงสร้างเดิมมีการเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของซิงค์ออกไซด์โดยเฉพาะสมบัติทางไฟฟ้า และเมื่อมีการเจือสารซิงค์ออกไซด์ด้วยสารเจือชนิดต่าง ๆ เช่น โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) วาเนเดียม (V) และซิลิกอน (Si) เป็นต้น พบว่า การเติมสารเจือเหล่านี้ลงไปจะช่วยให้สามารถปรับปรุงให้สมบัติความไม่เชิงเส้น (Non linear) มีค่าสูงขึ้น รูปพหุคูณและเพิ่มเสถียรภาพให้กับเซรามิกผสมอีกด้วย [2]

วัสดุไดอิเล็กทริก ที่มีความเป็นฉนวนทางไฟฟ้านั้น ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคถือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้า โดยเฉพาะสมบัติทางไดอิเล็กทริกของวัสดุ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก เป็นตัวแปรพื้นฐานสำคัญที่จะกำหนดวัสดุไดอิเล็กทริกสำหรับนำไปประดิษฐ์เป็นชิ้นส่วนวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ อย่างไรก็ตาม ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก และสมบัติอิมพีแดนซ์ ของวัสดุไดอิเล็กทริกทุกชนิดจะไม่มีคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับปัจจัยภายนอกต่างๆ มากมาย เช่น ความถี่หรือความเข้มของสนามไฟฟ้า อุณหภูมิ ความชื้น ชนิดของขั้วไฟฟ้า และปัจจัยอื่น ๆ [3-4] โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิสำหรับการเผาอบผนึกที่ใช้ในกระบวนการเตรียมสารตัวอย่าง ดังนั้น การศึกษาสมบัติอิมพีแดนซ์ของวัสดุภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิในกระบวนการเตรียมสารตัวอย่างจัดได้ว่าเป็นการศึกษาพื้นฐานที่สำคัญ สำหรับการตัดสินใจเลือกวัสดุใด ๆ ที่เหมาะสมไปประดิษฐ์เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และเมื่อพิจารณาถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม วัสดุไดอิเล็กทริกที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ควรเป็นวัสดุที่ไม่มีตะกั่ว (Pb) เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ในปี 2013 ได้มีการศึกษาอิทธิพลของการเจือสารเซรามิกวาริสเตอร์ ZnO-V₂O₅ ด้วย SbVO₄ ต่อโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางไฟฟ้าและกลไกการนำไฟฟ้า โดยการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางไฟฟ้า ลักษณะเกรน และบริเวณขอบเกรนของเซรามิกวาริสเตอร์ ZnO-V₂O₅ ด้วยเทคนิค SEM การวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่า สารตัวอย่างทั้งหมดจะปรากฏสองเฟส โดยเฟสแรก คือ เฟสของ ZnO และ เฟสที่สองคือเฟสของ BiVO₄ และ Zn₇Sb₂O₁₂ เมื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบว่าเนื้อเดียวกัน โดยเมื่อเติมสารเจือส่งผลให้ขนาดเกรนเฉลี่ยมีค่าลดลงจาก 61.1 เป็น 6.1 μm ค่าสภาพต้านทานที่ขอบเกรนมีค่าคงที่ประมาณ ($10^3 \Omega$) สารเซรามิก วาริสเตอร์ ZnO - V₂O₅ ที่เจือด้วย SbVO₄ 0.3 mol % เผาอบผนึกที่อุณหภูมิ 940 °C นาน 4 ชั่วโมง พบว่า แสดงสมบัติแบบไม่เชิงเส้น $\alpha = 51$, $J = 13.4 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ และ $E_{1\text{mA}} = 416 \text{ V}/\text{mm}$ [5]

ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลของอุณหภูมิเผาอบผนึกด้วยอุณหภูมิ 900 950 1000 และ 1050 °C เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติอิมพีแดนซ์ของวัสดุไดอิเล็กทริกที่เตรียมจากสารซิงค์ออกไซด์ (ZnO) สารคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) และ สารวาเนเดียมออกไซด์ (V₂O₅) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุจากสารตัวอย่างข้างต้น และเป็นแนวทางการเลือกใช้ของผู้ผลิตอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุไดอิเล็กทริกเชิงอุตสาหกรรมในอนาคต

วิธีการวิจัย

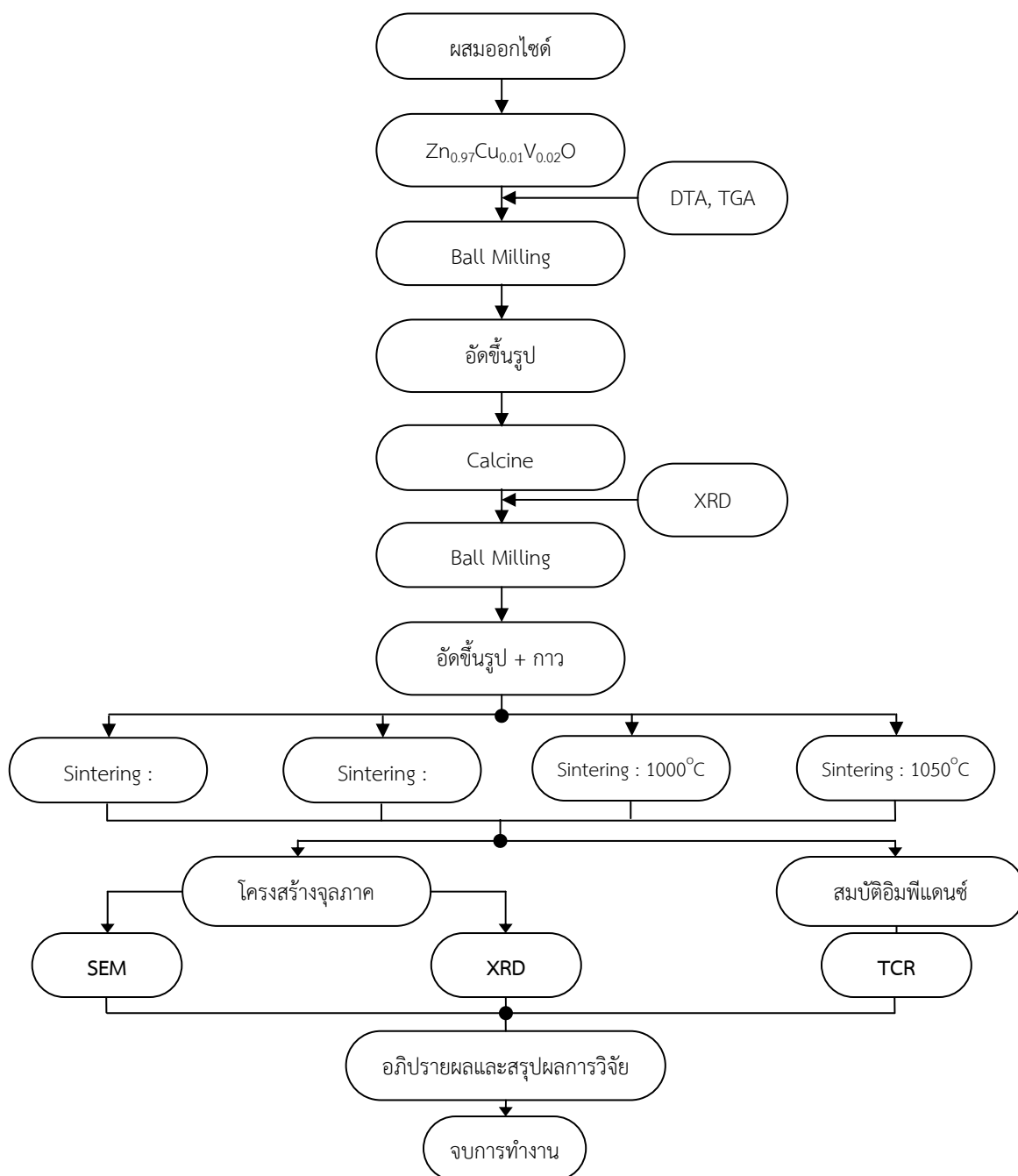
การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติอิมพีแดนซ์ของสารตัวอย่างเลือกใช้สารเคมีประเภทสารประกอบออกไซด์เป็นสารตั้งต้นในการเตรียม ซึ่งสารตั้งต้นประกอบด้วย ZnO, CuO และ V₂O₅ ด้วยวิธีการผสมแบบอัตราส่วนโดยโมลเพื่อสามารถกำหนดปริมาณน้ำหนักของสารตัวอย่างได้ โดยนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 850 °C นาน 5 ชั่วโมง นำสารตัวอย่างไปเผาอบผนึกด้วยอุณหภูมิที่

แตกต่างกัน 4 อุณหภูมิ คือ 900, 950, 1000 และ 1050°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วดำเนินการศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาอบผงที่อุณหภูมิแตกต่างกันทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติอิมพีแดนซ์ดังนี้

1. วิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเครื่องวิเคราะห์ความแตกต่างของความร้อน (DTA) และ เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA)

2. ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

วิเคราะห์สมบัติไดอิเล็กทริกด้วยเครื่อง LCR ด้วยการเปลี่ยนแปลงความถี่ ในช่วงอุณหภูมิ 45°C ถึงอุณหภูมิ 650°C ที่ความถี่ดังนี้ คือ 80 Hz, 800 Hz, 8 kHz, 80 kHz, 800 kHz และ 1 MHz แล้ววิเคราะห์อิมพีแดนซ์ส่วนจริงและอิมพีแดนซ์ส่วนจินตภาพของสารตัวอย่างข้างต้นและสามารถเขียนไดอะแกรมวิธีการวิจัย (ภาพที่ 1)

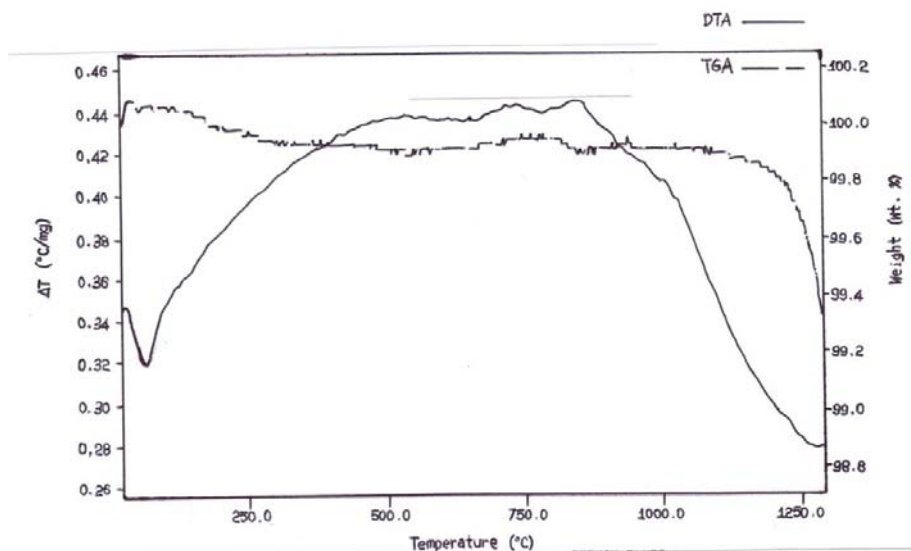


ภาพที่ 1 ไดอะแกรมวิธีการวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลต่างทางความร้อน

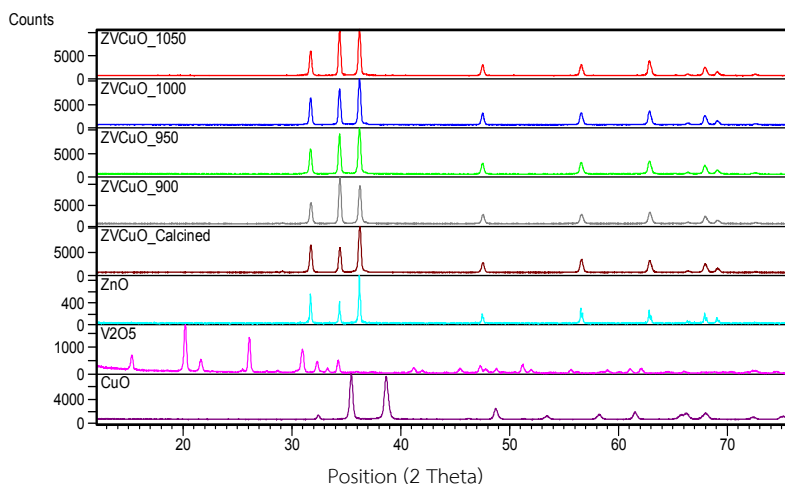
ผลการตรวจวัดโดยเครื่องวิเคราะห์ผลต่างทางความร้อนของสารตัวอย่าง ZCV (ภาพที่ 2) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 570°C - 805°C ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ที่ตกค้างอยู่ในสารผสมของสารตั้งต้น และมีการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 785°C- 935°C อาจเกิดจากกระบวนการเกิดผลึก และการเปลี่ยนรูปทางโครงสร้างเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถเลือกช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาไหม้ของสารตัวอย่างได้จากช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบคายความร้อนที่มีการดูดพลังงานเกิดขึ้น นั่นคือ ช่วงอุณหภูมิ 900°C - 1050°C เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่อนุภาคของสารตัวอย่างมีการสร้างพันธะเชื่อมต่อกัน และมีโครงสร้างทางจุลภาคที่ประกอบยึดกันด้วยเกรนต่างๆ กลายเป็นสารประกอบใหม่ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลของร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากกราฟ TGA



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ DTA และ TGA ของสารตัวอย่าง ZCV

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

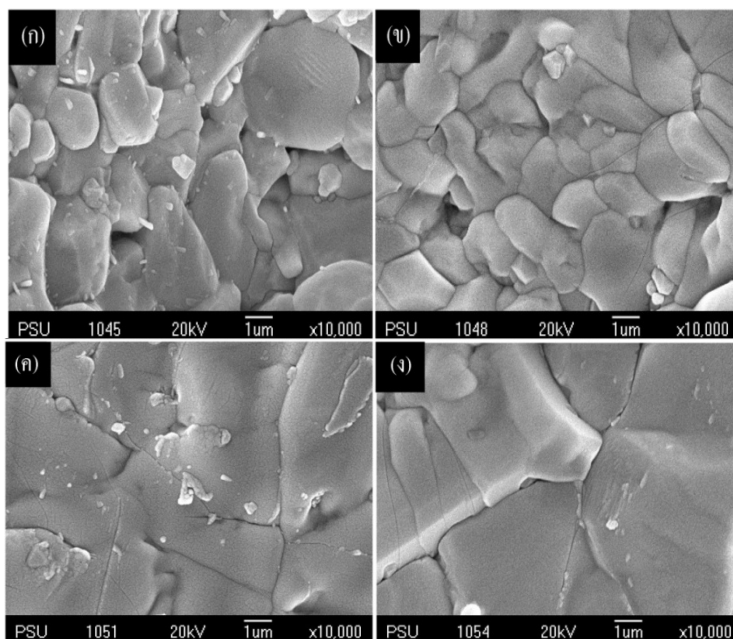
จากการวิเคราะห์สารตัวอย่าง ZCV ที่ผ่านการเผาไหม้ด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่า สารตัวอย่างที่เตรียมได้ทั้งหมดมีรูปแบบการเลี้ยวเบนที่สอดคล้องกับสาร ZnO ดังภาพที่ 3 ซึ่งเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล ICDD (01-089-7102) และ ICDD (03-065-3411) นั่นคือ สารตัวอย่างที่เตรียมได้พบเฟสเพียงเฟสเดียวคือเฟสของ ZnO แต่ไม่ปรากฏเฟสของ V_2O_5 และ CuO อาจเนื่องจากสารทั้งสองถูกหลอมเหลว ขณะทำการเผา ด้วยอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิจุดหลอมเหลว และเฟสมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล และเตตระโกนอล คือ มีค่าคงที่แลตทิซเป็นแบบ $a = b \neq c$ ทั้งสี่ตัวอย่าง อัตราส่วนของ c/a ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาไหม้ โดยมีค่าเท่ากับ 1.60, 0.80 0.34 และ 0.01 ตามลำดับ โดยมีมุมระหว่างแกนเป็นแบบ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$ (เฮกซะโกนอล) สำหรับสารตัวอย่างที่เผาไหม้ด้วยอุณหภูมิ 900°C และ 950°C และสารตัวอย่างที่เผาไหม้ด้วยอุณหภูมิ 1000°C และ 1050°C มุมระหว่างแกน เปลี่ยนเป็นแบบ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (เตตระโกนอล) เมื่อถูกเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิที่เริ่มเข้าสู่สถานะการหลอมเหลวของสารตัวอย่าง และสารตัวอย่างจะเริ่มมีการเปลี่ยนระบบผลึกเป็นระบบอื่นที่ต่างไปจากเดิม สอดคล้องกับการศึกษา [6]



ภาพที่ 3 ผลการตรวจสอบลักษณะการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสาร ZCV

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

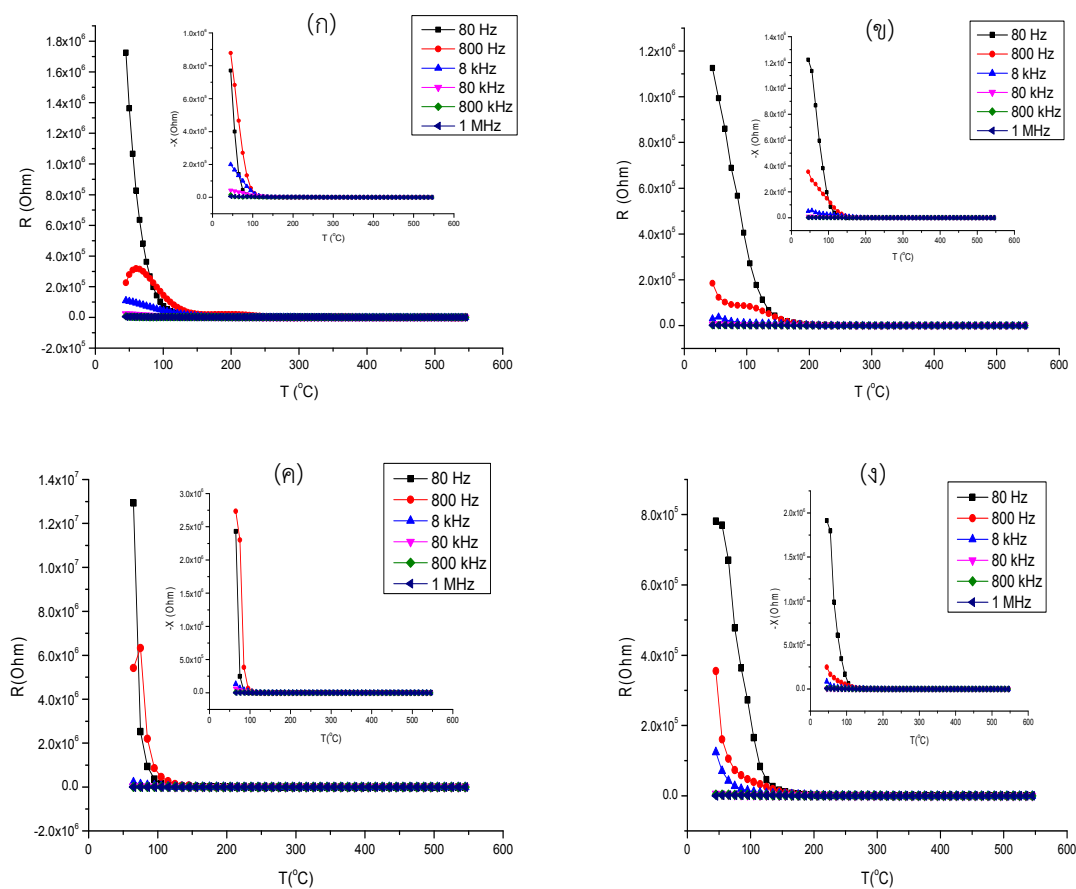
การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของเซรามิก ZCV ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพที่ 4) พบว่า สารตัวอย่างมีโครงสร้างโดยรวมที่มีลักษณะเป็นแบบหลายเหลี่ยมขอบมนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 1.34 μm - 2.71 μm โดยสารตัวอย่างที่เผาอบผงที่ 900, 950, 1000 และ 1050°C มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนเฉลี่ยเป็น 1.34, 1.40, 2.08 และ 2.71 μm ตามลำดับ สารตัวอย่างมีขนาดเกรนโตขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาอบผง ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของผลึก โดยมีการแพร่ของมวลสาร อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของขอบเกรนแล้วทำให้มีการหดตัวของรูพรุนที่แทรกอยู่ระหว่างเกรน จึงเกิดการเติบโตของเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อได้รับความร้อนจากการเผาอบผงที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวเกรนของสารตัวอย่าง ZCV เผาอบผงด้วยอุณหภูมิ 900°C 950°C 1000°C และ 1050°C
ดังภาพ (ก) (ข) (ค) และ (ง) ตามลำดับ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานส่วนจริงและความต้านทานส่วนจินตภาพกับอุณหภูมิ

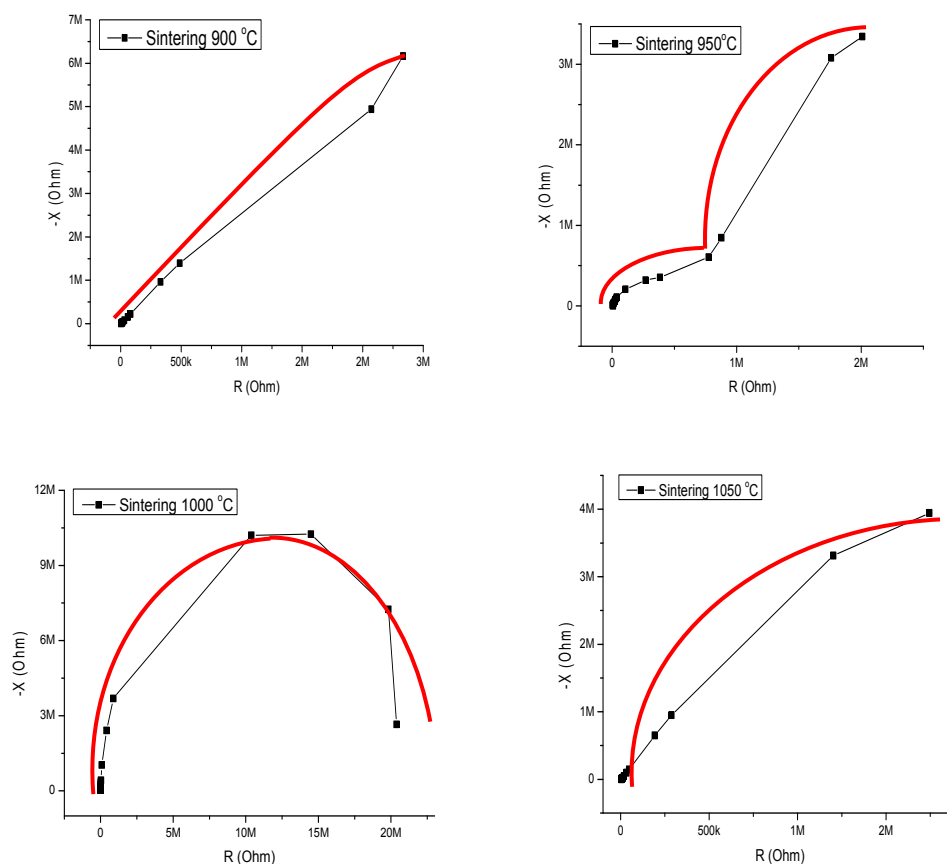
ZCV ที่เผาอบผิวกด้วยอุณหภูมิ 900, 950, 1000 และ 1050 °C ทำการตรวจสอบในช่วงอุณหภูมิ 45 °C – 550 °C ที่ความถี่ 80 Hz -1 MHz ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานส่วนจริงและค่าความต้านทาน ส่วนจินตภาพกับอุณหภูมิ (ภาพที่ 5 (ก)-(ง)) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานส่วนจริง และค่าความต้านทานส่วนจินตภาพมีแนวโน้มลดลง และจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งคงที่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 150 °C และอุณหภูมิสุดท้ายของการทดลองโดยมีค่าความต้านทานส่วนจริงอยู่ในช่วง $1.28 \times 10 - 2.16 \times 10^6$, $2.58 \times 10 - 7.36 \times 10^6$, $4.79 \times 10 - 1.04 \times 10^7$ และ $1.54 \times 10 - 8.49 \times 10^6 \Omega$ ตามลำดับ และมีค่าความต้านทานส่วนจินตภาพติดลบอยู่ในช่วง $(-2.15) - (-1.76 \times 10^6)$, $(-4.53 \times 10^{-1}) - (-4.85 \times 10^6)$, $(-1.48 \times 10^2) - (-7.49 \times 10^6)$ และ $(-1.94 \times 10^{-1}) - (-6.71 \times 10^6) \Omega$ ตามลำดับ การลดลงของความต้านทานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นนั้น อาจเนื่องจาก สารตัวอย่างอยู่ในช่วงความถี่วิทยุและความถี่อินฟราเรด จึงแสดงพฤติกรรมทางควอนตัม เนื่องจากการสั่นและการหมุน เกิดขึ้นทำให้โครงสร้างเกิดสภาวะกระตุ้น(excitation) ส่งผลให้ช่องว่างแถบพลังงานลดลงความเป็นตัวนำก็จะเพิ่มขึ้น และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาอบผิวกส่งผลให้สารตัวอย่างแสดงสมบัติสารกึ่งตัวนำเนื่องจากความต้านทานลดลงสำหรับสารตัวอย่างเผาอบผิวกด้วยอุณหภูมิ 900, 950 °C และสำหรับสารตัวอย่างเผาอบผิวกด้วยอุณหภูมิ 1000 °C และ 1050 °C นั้นพบว่าความต้านทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารตัวอย่างแสดงพฤติกรรมการจัดเรียงตัวของขั้วโมเลกุลไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน [8]



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานส่วนจริงและค่าความต้านทานส่วนจินตภาพกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง ZCV

การศึกษาสมบัติอิมพีแดนซ์

สารตัวอย่าง ZCV ที่เผาอบผนึกด้วยอุณหภูมิ 900 950 1000 และ 1050°C ในช่วงความถี่ 80 Hz – 1 MHz ที่อุณหภูมิห้อง กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานส่วนจริงและความต้านทานส่วนจินตภาพ พบว่า กราฟอิมพีแดนซ์เชิงซ้อนมีความสัมพันธ์แบบ Cole – Cole ที่มีลักษณะเส้นโค้งคล้ายครึ่งวงกลม ปรากฏ 2 ลักษณะ คือ ครึ่งวงกลม 1 วง (เส้นจำลองสีแดง) สำหรับสารตัวอย่างที่เผาอบผนึกด้วยอุณหภูมิ 900, 1000 และ 1050°C โดยโค้งเข้าหาแกนค่าความต้านทานส่วนจริงเมื่อความถี่ลดลง เนื่องมาจากการตอบสนองความถี่ที่บริเวณขอบเกรนของสารตัวอย่าง ซึ่งช่วงที่มีความถี่ต่ำจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าช่วงที่มีความถี่สูง ซึ่งสามารถอ่านค่าความต้านทานได้ และสามารถอ่านค่าความจุค่าหนึ่ง และสารตัวอย่างที่เผาอบผนึกด้วยอุณหภูมิ 950°C มีลักษณะเส้นโค้งครึ่งวงกลม 2 วง (เส้นจำลองสีแดง) เป็นผลจากการตอบสนองความถี่ทั้งที่บริเวณขอบเกรนและภายในเกรนของสารตัวอย่าง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Sahoo et al. [7] (ภาพที่ 6) แสดงว่า อุณหภูมิเผาอบผนึกส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของสารตัวอย่างเกิดการสูญเสียสมบัติเชิงกลและจะเป็นจำนวนเชิงซ้อน



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานส่วนจริงกับความต้านทานส่วนจินตภาพของสารตัวอย่าง ZCV ที่อุณหภูมิห้อง

สรุปผลการวิจัย

เซรามิก ZCV มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาอบผนึกของสารตัวอย่าง อยู่ในช่วง 900 °C - 1050°C และจากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค SEM และ XRD พบว่า เมื่ออุณหภูมิเผาอบผนึกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดเกรนเพิ่มขึ้นโดยมีขนาดเกรนอยู่ในช่วง 1.34 μm - 2.71 μm และปรากฏเพียงเฟสเดียว คือ ZnO โดยมีโครงสร้างผลึกทั้งแบบเฮกซะโกนอล (เผาอบผนึกด้วย

อุณหภูมิ 1000 และ 1050 °C) และ แบบเตตระโกนอล (เผาอบผนึกด้วยอุณหภูมิ 900 และ 950 °C) มีความต้านทานส่วนจริงในช่วงความถี่ 80 Hz – 1 MHz สารตัวอย่างที่เผาอบผนึกด้วยอุณหภูมิ 1000°C มีค่าความต้านทานส่วนจริง และค่าความต้านทานส่วนจินตภาพสูงสุดที่ความถี่ 80 Hz และ 800 Hz เนื่องจากสารตัวอย่างถูกกระตุ้นด้วยความถี่ในช่วงที่ต่ำ สารยังมีพฤติกรรมการถ่ายโอนประจุระหว่างเกรนค่อนข้างน้อยมีค่าความต้านทานสูง ส่งผลให้สารตัวอย่างมีการนำไฟฟ้าที่ค่อนข้างน้อย โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความถี่ของสนามไฟฟ้า

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา ประเภทเต็มจำนวน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557 และขอขอบคุณคณาจารย์ บุคลากรภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และสนับสนุน เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์และวัสดุ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Alvi, N. ul H. (2011). **Luminescence Properties of ZnO Nanostructure and Their Implementation as White Light Emitting Diodes (LEDs)**. Norrkoping: Linkoping University.
- [2] Fletcher, R. (1996). “Force Transduction Material for Human-Technology Interfaces”, **IBM System Journal**. (35), 630-638.
- [3] Hench, L. L. and West, J. K. (1990). **Principles of Electronic Ceramics**. New York : Wiley and Sons.
- [4] Moulson, A. J. and Herbert, J. M. (2003). **Electroceramics**. New York: John Wiley and Sons.
- [5] Gou, R., Fang, L., Zhou, H., Chen, X., Chu, D., Chan, B. and Qin. (2013). “SbVO₄ Doped ZnO-V₂O₅-Base Varistor Ceramics : Microstructure, Electrical Properties and Conductive Mechanism”, **J Mater Sci : Mater Electron**. 2013(24), 2721-2726.
- [6] Vijaya Kumar K., Lakashmi M. and Buchi Suresh M. (2013). “Structure-Property Correlation of Sol-Gel Processed Co_{0.5}Ti_{0.5}ZnFeO₄ Ceramic”, **Journal of Engineering Research and Applications**. 2013(3), 1489-1497.
- [7] Sahoo, P. S., Panigrahi, A., Patri, S. K. and Choudhary, R. N. P. (2010). “Impedance Spectroscopy of Ba₃Sr₂DyTi₃V₇O₃₀ Ceramic”, **Indian Academy of Science**. no date(2), 129-134.
- [8] Prasanta, D., Debasis, D., Manasmita, D. and Panchanan P. (2011). “Dielectric and impedance spectroscopy study of Ba_{0.8}Bi_{2.133}Nb_{1.6}Ta_{0.4}O₉ ferroelectric ceramics, prepared by chemical route”, **Mater Sci : Mater Electron**. 2011(22), 1750-1760.