

ทักษกฤษ แจ่มปรีชา : การประดิษฐ์ สภาพการทำงาน และคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของ
อุปกรณ์โมดูลกำเนิดไฟฟ้า โมโนลิทิก ปีต้า-ซิงก์แอนติโมนายด์/ซิงค์ออกไซด์ (FABRICATION,
PERFORMANCE AND THERMOELECTRIC PROPERTIES OF MONOLITHIC β -
 $\text{Zn}_4\text{Sb}_3/\text{ZnO}$ THERMOELECTRIC GENERATOR MODULES)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สันติ แม่นศิริ, 117 หน้า.

คำสำคัญ: โทเมอร์อิเล็กทริก, โมโนลิทิก, โมดูลกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก, ปีต้า-ซิงก์แอนติโมนายด์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกปีต้า-ซิงก์แอนติโมนายด์ (β - Zn_4Sb_3) รวมถึงได้ทำการสร้างโมดูลกำเนิดไฟฟ้าแบบโมโนลิทิก ปีต้า-ซิงก์แอนติโมนายด์ (β - Zn_4Sb_3)/ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จากวัสดุ β - Zn_4Sb_3 ที่สังเคราะห์ขึ้นมาเอง อีกทั้งได้ทำการทดสอบสภาพการทำงานของโมดูลที่วัดโดยใช้เครื่องวัด IV และพาวเวอร์เอาต์พุตที่พัฒนาขึ้นมาเอง ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์ การวิเคราะห์ การประดิษฐ์และการประเมินผลการทำงานของวัสดุปีต้า-ซิงก์แอนติโมนายด์และโมดูลกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก ได้อธิบายโดยลำดับดังนี้

วัสดุ β - Zn_4Sb_3 ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยการสังเคราะห์แบบปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง “จากวัสดุตั้งต้นคือผงสังกะสีและผงพลวงในอัตราส่วน 4:3 และเพิ่มผงสังกะสีส่วนเกินเพื่อชดเชยในส่วนที่จะพร่องไปเนื่องจากการระเหิดของผงสังกะสีอันเกิดขึ้นโดยธรรมชาติที่สภาวะอุณหภูมิสูง ค่าการชดเชยที่ดีที่สุดคือ 12 at.% Zn หลังจากนั้นสารผสมตั้งต้นจะถูกนำไปเผาที่ 400 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ภายใต้ระบบแก๊สอาร์กอนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโครงสร้างทางออกไซด์ในสารสังเคราะห์ หลังจากทำการสังเคราะห์เสร็จสิ้นแล้ว วัสดุ β - Zn_4Sb_3 ที่สังเคราะห์ขึ้นถูกนำไปตรวจสอบโครงสร้างทางผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ จากการตรวจสอบพบว่าวัสดุ β - Zn_4Sb_3 ที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นมีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์สอดคล้องกับฐานข้อมูลและโมเดลผลึก β - Zn_4Sb_3 ของ Mozharivskiyj และมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูงแต่ก็มีโครงสร้างของ ZnSb, Zn, Sb เจือปนอยู่เล็กน้อย เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีการกวัดแกว่งเนื่องจากการพาความร้อนของแก๊สอาร์กอนที่ไหลผ่านระบบตลอดเวลา นอกจากนี้ วัสดุ β - Zn_4Sb_3 ที่สังเคราะห์ขึ้นยังถูกนำไปตรวจสอบด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์ที่ขอบเขตการดูดกลืนระดับพลังงานใกล้เคียงกับระดับพลังงานไอออไนเซชันของอิเล็กตรอนในชั้นพลังงานระดับลึกในโครงสร้างของอะตอมธาตุหลัก ผลการตรวจสอบพบว่าวัสดุ β - Zn_4Sb_3 ที่สังเคราะห์ขึ้นมานั้นมีการดูดกลืนพลังงานของไอออไนเซชันของอิเล็กตรอนในชั้นพลังงานระดับ (Normalized XANES) K ของอะตอมธาตุ Zn มีการดูดกลืนพลังงานหลักที่ 9,659 eV โดยยืนยันการดูดกลืนพลังงานหลักด้วยกราฟผลต่างการดูดกลืนค่าพลังงาน (Derivation of normalized XANES) ส่วนผล Normalized XANES ของชั้นพลังงานระดับ L3 L2 และ L1 ของอะตอมธาตุ Sb มีการดูดกลืนพลังงานหลักที่ 4,132 eV, 4,380 eV และ 4,698 eV ตามลำดับโดยยืนยันการดูดกลืนพลังงานหลักด้วยกราฟผลต่างการดูดกลืนค่าพลังงาน จากผลการตรวจสอบการดูดกลืนค่าพลังงานจากรังสีเอกซ์สามารถวิเคราะห์ได้ว่าสถานะไอออไนเซชันของอิเล็กตรอนในชั้นพลังงานระดับลึกของระดับพลังงาน K ของอะตอมธาตุ Zn และ ระดับพลังงาน L1, L2 และ L3 ของอะตอมธาตุ Sb มีสถานะ

ออกซิเดชันเป็น Zn^0 และ Sb^0 หลังการตรวจสอบโครงสร้างทางผลึกวัสดุ $\beta-Zn_4Sb_3$ ที่สังเคราะห์ขึ้น ได้ถูกนำไปอัดเม็ดที่ความดัน 700 MPa และเผาหลอมผลึกที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ภายใต้ระบบแก๊สอาร์กอนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโครงสร้างทางออกไซด์ที่ผิวของเม็ดเซรามิก หลังจากทำการเผาหลอมผลึกเสร็จแล้วเม็ดเซรามิก $\beta-Zn_4Sb_3$ ได้ถูกนำไปทดสอบวัดคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก ผลการทดสอบพบว่าเม็ดเซรามิก $\beta-Zn_4Sb_3$ มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่สูงอย่างเด่นชัดที่ 255 $\mu V/^\circ C$ ที่อุณหภูมิทดสอบ 320 °C อีกทั้งยังมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำและเสถียรที่ $8 \times 10^{-5} \Omega \cdot m$ ระหว่างช่วงอุณหภูมิทดสอบ 250–400 °C ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่สูงและค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำ บ่งบอกถึงการเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีตามนิยามของสัมประสิทธิ์ฟิสิกเกอร์ออฟเมอร์ริท (ZT) ในขณะที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่บ่งบอกถึงสภาพการทำงานที่ดีตามกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงที่ $\sim 0.56 \text{ mW/m}^2\text{C}^2$ ที่อุณหภูมิทดสอบ 220–240 °C จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของเม็ดเซรามิก $\beta-Zn_4Sb_3$ นั้นมีคุณสมบัติที่ดีพอสำหรับการประดิษฐ์อุปกรณ์โมดูลกานีตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์โมดูลกานีตไฟฟ้าแบบโมโนลิก $\beta-Zn_4Sb_3/ZnO$ ถูกสร้างขึ้นตามกระบวนการดังนี้ เริ่มต้นนำผง $\beta-Zn_4Sb_3$ และ ZnO มาทำการอัดแบบเบาสลับกันโดยแม่พิมพ์โมลส์เหลี่ยมขนาด $1 \times 1 \text{ cm}$ ที่ความดัน 100 MPa จากนั้นนำไปทำการอัดรวมเม็ดหลายชั้นด้วยความดัน 700 MPa เป็นเวลา 15 นาที นำเม็ด $\beta-Zn_4Sb_3/ZnO$ ที่ได้ไปเผาหลอมผลึกที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ภายใต้ระบบแก๊สอาร์กอน จากนั้นนำเม็ดเซรามิก $\beta-Zn_4Sb_3/ZnO$ ทำการเชื่อมขั้วบวกและขั้วลบ อุปกรณ์โมดูลกานีตไฟฟ้าแบบโมโนลิก $\beta-Zn_4Sb_3/ZnO$ ถูกทำขึ้นสำเร็จแล้ว จากนั้นนำโมดูลที่ได้ไปทำการทดสอบวัด IV และพาวเวอร์เอาต์พุต ด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิร้อน/เย็นที่พัฒนาขึ้นเองโดยกำหนดให้อุณหภูมิการทำงาน (T_h) 100 °C, 200 °C และ 300 °C กับเกรเดียนต์ของอุณหภูมิ (ΔT) 50 °C และ 100 °C จากการทดสอบพบว่ากราฟ IV มีลักษณะเป็นเส้นตรงแบบขาลงซึ่งตรงตามผลการทดสอบที่ถูกรายงานไว้ในวารสารวิชาการ โดยค่าความต่างศักย์เริ่มต้นหรือแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open-circuit voltage ; V_{oc}) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการทำงานและเกรเดียนต์ของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยเงื่อนไขที่ทำให้ได้ค่า V_{oc} สูงที่สุดที่ 73.1 mV และค่าพาวเวอร์เอาต์พุตสูงสุดที่ประมาณ 550 μW ที่อุณหภูมิการทำงานที่ $T_h=300$ °C และ $\Delta T=100$ °C ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการทำงานที่อุณหภูมิการทำงาน $T_h=200$ °C กับ $\Delta T=50$ °C และ $\Delta T=100$ °C ของโมดูลนั้นเหมาะสมกว่าเพราะกราฟพาวเวอร์เอาต์พุต curves ที่กว้างและมีลักษณะคล้ายคลึงกันซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่บ่งบอกถึงการทำงานที่ดีของโมดูล


