

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศึกษาการประดิษฐ์ตัวตรวจจับเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกจากสารเพียโซอิเล็กทริก โดยทำการศึกษาศึกษาการเตรียมสารในระบบเซรามิก PSZT-ZN ศึกษาผลของการเติมสตรอนเทียม (Sr) และซิงค์-ไนโอเบต (Zn-Nb) ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทำการเตรียมด้วยวิธีการผสมผงแบบออกไซด์ชั้นตอนเดียว (mixed oxide) จากนั้นนำไปเผาผนึก (แคลไซน์) แล้วนำไปทำการขึ้นรูป นำไปเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิสูง เมื่อได้เซรามิก จะนำไปตรวจสอบสมบัติซึ่งประกอบไปด้วยสมบัติทางกายภาพ อาทิ ร้อยละการหดตัว ค่าความหนาแน่น และสมบัติทางไฟฟ้า อาทิ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริก สัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก สัมประสิทธิ์คูกูวไฟฟ้า กลเชิงระนาบ และสมบัติด้านเฟอร์โรอิเล็กทริก นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาศึกษาการเตรียม PSZT ในรูปของฟิล์มบางและศึกษาศึกษาการเตรียมแผ่นฐานรอง โดยการเตรียมสารในระบบ PSZT ด้วยกระบวนการโซล เจล แล้วนำไปทำการหมุนเคลือบตกบนแผ่นฐานรองของ Ti/SiO₂/Si ผลโดยสรุปจะอธิบายดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1.1 การตรวจสอบโครงสร้างเฟสของเซรามิก PSZT-ZN

จากการนำเอาเซรามิกที่ผ่านการแคลไซน์ไปตรวจสอบโครงสร้างเฟสด้วยเทคนิค XRD พบว่าในทุกเงื่อนไขของการเติมสาร Sr และ ZN จะแสดงเฟสของโครงสร้างเพอร์รอฟสไกต์ของ PZT จากนั้นนำไปขึ้นรูปและเผาซินเตอร์ นำไปตรวจสอบโครงสร้างเฟส ผลที่ได้พบว่า ในทุกชิ้นงานแสดงเฟสแบบเพอร์รอฟสไกต์ และเมื่อเปลี่ยนแปลงตัวแปร ZN แล้วเปลี่ยน Sr เพิ่มมากขึ้นพบว่า เฟสมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากเฟสรวม โบฮีครอลเป็นเฟสเตตระโกนอลและแสดงการปรากฏของทั้งสองเฟสคือเฟสรวม โบฮีครอลและเตตระโกนอล การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเฟสแสดงโดยการเลื่อนของพีคในตำแหน่งความเข้มของพีคเกิดขึ้นน้อยมากหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สามารถอธิบายได้ว่าการเปลี่ยนแปลงใน โครงสร้างผลึกส่งผลโดยปริมาณสารเจือที่ต่ำมาก

5.1.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

ในการทำวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพประกอบด้วยร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตร ที่คำนวณจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของชิ้นงานทั้งก่อนและหลังเผาซินเตอร์มาคำนวณ ผลที่ได้พบว่าค่าร้อยละการหดตัวมีการเปลี่ยนแปลงกับปริมาณสารเจือทั้ง ZN และ Sr โดยมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ ZN (เจือที่ตำแหน่ง B-site) เพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในทิศทางการเพิ่มขึ้นของ Sr ในบางเงื่อนไขของ ZN และสมบัติค่าความหนาแน่นที่ทำการตรวจสอบโดยอาศัยหลักการของ Archimedes ผลที่ได้พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของ Sr เพิ่มมากขึ้น ในเกือบทุกเงื่อนไขของ ZN ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการเจือสารที่มีวาเลนซ์เท่ากันในตำแหน่งของ A-site ที่มากเกินไป ทำให้ไม่สามารถเข้าไปแทนที่อะตอมหลักในโครงสร้างได้พอดี จึงส่งผลต่อค่าความหนาแน่น หรืออาจจะเกิดความเป็นไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างมากยิ่งขึ้น ค่าความหนาแน่นจึงลดลงกับปริมาณสารเจือที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความหนาแน่นของเซรามิกระบบนี้มีค่าในช่วง $7.1 - 7.9 \text{ g/cm}^3$ ซึ่งเป็นค่าความหนาแน่นที่ค่อนข้างสูง

5.1.3 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า

5.1.3.1 สมบัติไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริก

การวัดสมบัติไดอิเล็กทริกโดยการนำเซรามิกมาผ่านการทำขั้วด้วยกาวเงินแบบเผาทั้งสองด้านของผิวเซรามิก ผลที่ได้พบว่าเมื่อเปลี่ยนเงื่อนไข ZN จาก 0.02 - 0.20 และ ในทุกเงื่อนไข ZN เปลี่ยน Sr เท่ากับ 0.00 - 0.12 พบว่าเมื่อปริมาณของ ZN เพิ่มขึ้นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกับปริมาณ Sr ที่เพิ่มขึ้น โดยค่าไดอิเล็กทริกสูงสุดเท่ากับ 4290 วัดที่ 1 kHz ซึ่งพบในเงื่อนไข $\text{ZN} = 0.20$ $\text{Sr} = 0.12$ และเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ที่เพิ่มขึ้น ค่านี้จะลดลงกับความถี่ที่เพิ่มขึ้น ส่วนการการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกพบว่าไม่เปลี่ยนแปลงกับปริมาณของสารเจืออย่างชัดเจนแต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ Sr เพิ่มขึ้น โดยค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกมีค่าต่ำกว่า 0.06 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก แสดงว่าเซรามิกนี้แสดงความเป็นเซรามิกเพียโซอิเล็กทริกที่ดี

5.1.3.2 สมบัติพีเอชไอเล็กทริก (d_{33}) สมบัติกู่ควบไฟฟ้ากลเชิงระนาบ (k_p) และค่าแฟกเตอร์เชิงคุณภาพทางกล (Q_M)

สมบัติทั้งสามสมบัติเป็นองค์ประกอบสำคัญในการประดิษฐ์ตัวตรวจจับพีเอชไอเล็กทริก ซึ่งต้องการค่า d_{33} ค่า k_p ที่สูง ค่า Q_M ที่ค่อนข้างสูง ในการตรวจสอบพบว่าค่า d_{33} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ ZN และ Sr เพิ่มมากขึ้นจาก 0.00 – 0.10 เมื่อ Sr มีค่าเป็น 0.12 ค่า d_{33} จะเริ่มลดลง โดยค่า d_{33} มีค่าสูงสุดเท่ากับ 778 pC/N ซึ่งพบในเงื่อนไข ZN = 0.20 Sr เท่ากับ 0.10 ในขณะที่ค่า k_p มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.78 ซึ่งพบที่เงื่อนไข ZN = 0.18 และ Sr = 0.04 ส่วนค่า Q_M มีค่าในช่วง 24 -165 โดยส่วนมากค่าที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 50 -60 ซึ่งก็เป็นค่าที่ไม่สูงไม่ต่ำมาก ดังนั้นจึงบอได้ว่าเซรามิก PSZT-ZN ที่ทำการเตรียมโดยวิธีนี้มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์ตัวตรวจจับได้

5.1.3.3 สมบัติไดอิเล็กทริกที่อุณหภูมิสูง

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง 30 - 400 °ซ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงกับปริมาณของสารเจือที่เปลี่ยน โดยค่าไดอิเล็กทริกสูงสุดมีค่าประมาณ 22863 ส่วนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของเซรามิกศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงที่จุดไดอิเล็กทริกสูงสุด (ϵ_{max}) พบว่ามีค่าลดลงเมื่อปริมาณของ Sr และ ZN ที่เพิ่มขึ้น โดยเปลี่ยนอุณหภูมิลดลงจาก 227 – 156 °ซ ในเงื่อนไข Sr = 0.10 และ เปลี่ยนแปลงจาก 195-134 °ซ ในเงื่อนไข Sr = 0.12 ดังนั้นเซรามิกในระบบนี้แสดงถึงช่วงของการเปลี่ยนเฟสหรือโครงสร้างที่อุณหภูมิต่ำมาก

5.1.3.4 สมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก

เซรามิกในระบบ PSZT-ZN ในการทำวิจัยนี้แสดงสมบัติเฟอร์โรประกอบไปด้วย พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงวงฮิสเทอรีซิส (P-E hysteresis loop) ค่าโพลาริเซชันอิมิตัว (P_r) โพลาริเซชันเหลือค้าง (P_r) ค่าสนามไฟฟ้าหักล้าง (E_c) และรวมถึงพื้นที่ของวงฮิสเทอรีซิส และความเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสของวงฮิสเทอรีซิส ของเซรามิกเงื่อนไข Sr = 0.10 และ 0.12 โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณ ZN ตั้งแต่ 0.02 – 0.20 ซึ่งพบว่า ในทุกเงื่อนไขเซรามิกแสดงพฤติกรรมของเฟอร์โรอิเล็กทริกแบบเล็กกลงและแคบลงเมื่อปริมาณของ ZN เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าเซรามิกในระบบนี้แสดงพฤติกรรมของ

เฟอร์โรอิเล็กทริกแบบอ่อน (soft ferroelectric materials) ส่วนค่า P_s , P_r มีแนวโน้มลดลง และ E_c ลดลงเมื่อปริมาณของ ZN เพิ่มมากขึ้น พื้นที่ของวงฮิสเทอรีซิสและ ค่า R_{sq} มีค่าลดลงขึ้นกับปริมาณ ZN ที่เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองตรวจสอบสมบัติเซรามิกในระบบ PSZT-ZN แสดงได้ว่าเซรามิกในระบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์ตัวตรวจจับเพียโซอิเล็กทริกได้ เนื่องจากว่ามีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่สูง ค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก สัมประสิทธิ์คูแควไฟฟ้ากล ที่สูง มีอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสที่ต่ำซึ่งเป็นสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานในอุปกรณ์ตัวตรวจจับ

5.1.4 การเตรียมฟิล์มเซรามิกในระบบ PSZT

ผลจากเตรียมเซรามิกในรูปของฟิล์มบางโดยวิธี โชล เจล และตกเคลือบไปบนแผ่นซิลิกอนที่เคลือบชั้นออกไซด์ด้วย SiO_2 ทำด้วย Ti พบว่าในงานวิจัยนี้สามารถทำการเตรียมแผ่นฐานรอง $Ti/SiO_2/Si$ ได้ และมีความหนาที่สม่ำเสมอ ได้ความหนาตามที่ต้องการ และสภาพด้านทานทางไฟฟ้าของชั้น Ti มีค่าต่ำและเมื่อนำสารละลาย PSZT มาตกเคลือบบนแผ่นฐานรองนี้พบสารละลาย PSZT ที่เตรียมสามารถปลูกบนชั้น $Ti/SiO_2/Si$ ได้ และมีความสม่ำเสมอ ซึ่งรายละเอียดของการตรวจสอบสมบัติชิ้นงานในส่วนของฟิล์มนี้ไม่ได้อธิบายในเล่มนี้ จะนำไปทำการวิเคราะห์ในส่วนของการประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์ตรวจจับต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการวัดค่าข้อมูลอาจมีความคลาดเคลื่อนบ้างทำให้ค่าที่แสดงออกมาขึ้นลงกับปริมาณของสารที่เติมเข้ามา ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองหรือวัดค่าหลายๆ ครั้งเพื่อนำมาเป็นข้อมูลเฉลี่ย
2. ถ้าจะให้ค่าที่ได้ออกมาถูกต้องมากที่สุดนั้น ในการเตรียมสารต้องเตรียมพร้อมกันในเงื่อนไขเดียวกัน และตรวจสอบสมบัติในเงื่อนไขนั้นก็ควรจะทำ ณ เวลาใกล้เคียงกัน เครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องเดียวกัน
3. การขึ้นรูปชิ้นงานก่อนนำมาเผาซินเตอร์ ควรอัดด้วยแรงไม่มากเกินไป และในขั้นตอนการผสม PVA ควรทำการบดผงให้ละเอียดและมั่นใจว่าผงแห้งสนิทแล้วก่อนนำไปขึ้นรูป เพราะอาจจะทำให้เม็ดเซรามิกเกิดรอยร้าวภายในเซรามิกได้ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติของเซรามิกเอง

4. ในส่วนของการเตรียมฟิล์มเซรามิก ในขั้นตอนของการหมุนเคลือบสารละลาย ลงไปบนแผ่นฐานรอง ควรล้างแผ่นฐานรองด้วยกรดอ่อนก่อน และเป่าให้แห้ง เพื่อจะทำให้ฟิล์มติดกับผิวของฐานรองได้ดีและมีความสม่ำเสมอ
5. ในการทำงานครั้งต่อไปหรือในอนาคตผู้ทำวิจัยจะนำข้อมูลหรือนำเซรามิกที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้งานเข้ากับอุปกรณ์ตรวจจับที่สามารถใช้งานได้จริง โดยทำการศึกษาทั้งในรูปแบบของเม็ดเซรามิกและแบบฟิล์มเซรามิก