บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 เฟสของสาร PZT

- ผงแคลไซน์ PZT ซึ่งมี Titanium (iv) isopropoxide เป็นตัวให้ TiO_2 อัตราส่วน (Zr/Ti) เท่ากับ (51/49) และ (52/48) เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเฟสจาก Rhomboherdral เป็น Tetragonal ที่อุณหภูมิ 900 °C สำหรับอัตราส่วน (53.5/46.5) ไม่มีการเปลี่ยนเฟสในช่วงอุณหภูมิ 700 – 1000 °C
- ผงแคลไซน์ PZT ซึ่งมี Tetraisopropyl orthotitanate เป็นตัวให้ TiO_2 อัตราส่วน (Zr/Ti) เท่ากับ (51/49), (52/48) และ (53.5/46.5)เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเฟสจาก Rhomboherdral เป็น Tetragonal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นต้นไป
- ผงแคลไซน์ PZT ซึ่งมี เป็นตัวให้ TiO_2 อัตราส่วน (Zr/Ti) เท่ากับ (51/49) ,(52/48) และ (53.5/46.5) เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเฟสจาก Rhomboherdral เป็น Tetragonal ที่อุณหภูมิ 800 °C
- ฟิล์มเซรามิกส์ PZT อัตราส่วน (Zr/Ti) เท่ากับ (52/48) มีเฟสผสมระหว่างรอมโบเฮดรอลและเตตระโกนอล สำหรับทุกความหนาของฟิล์มซึ่งถูก Annealed ที่ 700°C เป็นเวลา 15นาที

5.1.2 ขนาดผลึก PZT

เมื่อแก้ไขข้อมูลด้วย Rachinger's correction และหาค่า breadth width ที่ถูกต้อง สามารถสรุปขนาดผลึกของสาร PZT ทั้งหมดที่เตรียมขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 700 – 1000 °C ได้ดังนี้

- ใช้ Titanium (iv) isopropoxide เป็นตัวให้ TiO_2

  PZT (51/49) 23.1802 – 104.1976 nm, PZT (52/48) 12.4983-104.2724 และ PZT (53.5/46.5) 11.586-85.2823 nm
- ใช้ Tetraisopropyl orthotitanate เป็นตัวให้ TiO_2

  PZT (51/49) 19.165-49.445 nm, PZT (52/48) 30.0619-72.0899 และ PZT (53.5/46.5) 34.8836-53.518 nm
- ฟิล์มเซรามิกส์ PZT ความหนา 4.50 – 26.75 μm มีขนาดผลึกในช่วง 42.888-94.838 nm

และค่าตัวแปรต่าง ๆ จะเริ่มคงที่ เมื่อเข้าสู่ Optimum point ที่ความหนาฟิล์มเป็น 25.33 μm เป็นต้นไป

5.1.3 อัตราส่วน c/a

- ใช้ Titanium (iv) isopropoxide เป็นตัวให้ TiO_2

  PZT (51/49) 1.0247-1.0259, PZT (52/48) 1.0221-1.0263
- ใช้ Tetraisopropyl orthotitanate เป็นตัวให้ TiO_2

  PZT (51/49) 1.02473-1.03413, PZT (52/48) 1.0199-1.0311 และ PZT (53.5/46.5) 1.02780-1.03356
- ฟิล์มเซรามิกส์ PZT 1.02105 –1.02644

5.1.4 ค่าความเครียด (Strain)ในเนื้อฟิล์ม

- Lattice distortion : $1.216 \times 10^{-3} - 2.643 \times 10^{-3}$
- Lattice softening: $1.946 \times 10^{-3} - 4.223 \times 10^{-3}$
- Microstrain: $1.807 \times 10^{-5} - 6.731 \times 10^{-5}$

  สรุปแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดกับความหนาของฟิล์มเซรามิกส์ PZT ได้ว่า เมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น จะมีผลให้ค่าความเครียดลดลง

5.1.5 ค่าไดอิเล็ตริกของสารเซรามิกส์ PZT อัตราส่วน (52/48) ในช่วงความถี่ 100 Hz – 20 kHz

- ใช้ Titanium (iv) isopropoxide เป็นตัวให้ TiO_2

  เส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดสาร 9.145 mm. หนา 4.605 mm. ค่า ε_r = 2668.663-1039.564
- ใช้ Tetraisopropyl orthotitanate เป็นตัวให้ TiO_2: 1002.972 – 842.069

  เส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดสาร 9.025 mm. หนา 4.697 mm. ค่า ε_r = 1002.972-842.069
- ฟิล์ม PZT

  พื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโตรดด้านบน 1.0 mm^2. หนา 4.5 μm. ค่า ε_r = 881.220 – 288.327

5.2 วิจารณ์การทดลอง

งานการทดลองถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน โดยส่วนแรก เป็นการศึกษาสมบัติผงแคลไซน์ของสาร PZT ซึ่งเตรียมขึ้นด้วยวิธีการของโซล-เจล ซึ่งอาศัยหลักการของการเกิดสายพอลิเมอร์ พบว่าโครงสร้างของสารละลายอัลค็อกไซด์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นนั้น มีผลมากพอสมควรกับสมบัติของสารเซรามิกส์

PZT จะเห็นได้จากการใช้สารละลายไทเทเนียมอัลค็อกไซด์ที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกัน แต่สูตรโครงสร้างต่างกัน ซึ่งเฟสของผงแคลไซน์ตัวให้ไทเทเนียมทั้งสองนี้ก็ต่างกันด้วย จึงส่งผลต่อสมบัติโดยรวมของสาร PZT เมื่อเปรียบเทียบในด้านของขนาดผลึก Titanium (iv) propoxide ให้ขนาดของผลึกที่ใหญ่กว่าและมีค่าไดอิเล็กตริกสูงกว่า

สำหรับส่วนที่สอง ซึ่งศึกษาสมบัติของฟิล์ม PZT พบว่าผลึกในฟิล์มมีขนาดใหญ่ มีค่าอัตราส่วน c/a ในช่วงเดียวกับผงสารแคลไซน์ และมีค่าความเครียดของเนื้อฟิล์มอยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัยที่รวบรวมไว้ในส่วนของทฤษฎี คือประมาณ 1.02 สำหรับค่าไดอิเล็กตริกนั้น มีเพียงฟิล์มความหนา 4.5 μm ที่ขั้วอิเล็กโตรดด้านบนและด้านล่างใช้ได้ จึงมีข้อมูลค่าไดอิเล็กตริกเพียงตัวเดียวเท่านั้น ซึ่งมีค่าไม่สูงมากนัก เพราะจากภาพถ่าย SEM ที่ความหนานี้ แสดงให้เห็นว่า เนื้อฟิล์มไม่ได้ฉาบผิวหน้าของแผ่นซับเสตรทไว้ทั้งหมด ความสม่ำเสมอของเนื้อฟิล์มจึงยังไม่ค่อยจะมีมากนัก

แนวโน้มค่าไดอิเล็กตริกของเม็ดสารเซรามิกส์ที่เตรียมจาก Titanium (iv) isopropoxide และ Tetraisopropyl orthotitanate รวมทั้งฟิล์มเซรามิกส์ PZT ความหนา 4.5 μm มีค่าลดลง ตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น และเป็นเช่นเดียวกัน กับกรณีของค่า Loss tangent. $\tan\delta$ ของเม็ดสารเซรามิกส์ PZT ทั้งสองตัว ค่า Loss tangent ลดลงตามความถี่เช่นกัน แต่ที่แตกต่างไปจากกรณีของค่าไดอิเล็กตริก คือฟิล์ม PZT (52/48) ซึ่งมีค่า Loss tangent ลดลงช่วงความถี่ 100 Hz- 2 kHz และเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ความถี่ 3kHz เป็นต้นไป สาเหตุดังกล่าว น่าจะมาจากช่วงความถี่นี้เริ่มเข้าใกล้ความถี่กำทอน (Resonance frequency) ของฟิล์ม PZT ความหนา 4.5 μm จึงทำให้แนวโน้มของข้อมูลต่างไปจากเม็ดสารเซรามิกส์ทั้งสองตัว

5.3 ข้อเสนอแนะ

งานการค้นคว้าเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติม

- ศึกษาสมบัติของ PZT ที่อัตราส่วนอื่นๆ เช่น (50/50), (55/45) เป็นต้น
- เปลี่ยนการเตรียมโซล PZT สำหรับทำฟิล์ม โดยใช้ Tetraisopropyl orthotitanate แทน Titanium (iv) isopropoxide เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม PZT ว่าเหมือนหรือต่างกันเช่นไร
- เปลี่ยนวิธีการเว้นพื้นที่ผิวหน้าส่วนที่เป็นอิเล็กโตรดด้านล่างของแผ่นซับเสตรท เพื่อทำขั้วอิเล็กโตรดด้านล่างใหม่ โดยใช้กรด HBF_4 (Hydrofluoroboric acid, 40 %Vol) เป็นตัวกัดฟิล์มออกจากแผ่นซับเสตรทแทน ซึ่งน่าจะให้ผลการวัดค่าทางไฟฟ้าที่ดีกว่า เนื่องจากเป็นผิวของชั้นอิเล็กโตรดบนซับเสตรทเพียงอย่างเดียว ไม่มีเนื้อฟิล์ม PZT ในบริเวณนั้น จึงทำให้มีสภาพขั้วไฟฟ้าที่ดี
- หาเงื่อนไขที่เหมาะสมและเวลาในการทำอิเล็กโตรดทองบนผิวหน้าของฟิล์ม เพื่อให้ได้ขั้วอิเล็กโตรดด้านบนที่ดีและเปลี่ยนขนาดให้ใหญ่ขึ้นกว่าเดิม และเพิ่มความสะดวกในการวัด

ค่าทางไฟฟ้า รวมทั้งเปลี่ยนต้นแบบของ Mask ทำขั้วอิเล็กโตรดด้านบนฟิล์มใหม่ เป็นรูปวงกลม มีพื้นที่ของขั้วอิเล็กโตรดมากกว่าเดิม เพื่อสะดวกกับการใช้วัดค่าทางไฟฟ้าได้สะดวกยิ่งขึ้น

- เปลี่ยนขั้วอิเล็กโตรดด้านล่างจาก Au เป็น Pt เพื่อช่วยให้มีการนำไฟฟ้าดีขึ้น และวัดค่าได้ถูกต้องมากขึ้น เพราะ Pt เป็นตัวนำที่ดีกว่า Au มาก
- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟสในช่วงอุณหภูมิ 200 - 550 °C เพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลมาช่วยอธิบายผลการทดสอบที่ได้จากการใช้เครื่องมือ Differential thermal analysis(DTA) และ Thermogravimetric analysis(TGA)
- ศึกษาสมบัติทางกายภาพของผงแคลไซน์ PZT ที่อัตราส่วน (Zr/Ti) อื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียงกับ Morphotropic boundary เช่น (50/50) และ (55/45) เป็นต้น โดยเฉพาะในส่วนการวิเคราะห์ผลเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal analysis) เพื่อการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน ของสาร PZT เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปให้มากขึ้นกว่าเดิม
- วัดสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มความหนาอื่น ๆ ที่เหลือ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มและสมบัติทางไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ค่าไดอิเล็กตริก, ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ของฟิล์ม เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University