

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ในปัจจุบันมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มากมายที่ใช้วัสดุเพอร์โรอิเล็กทริกเป็นส่วนประกอบ ไม่ว่าจะเป็นตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า (transducers) ตัวตรวจจับแก๊ส (gas sensors) หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ (head) รีโมทคอนโทรล (remote controls) และตัวขับเคลื่อน (actuators) เหล่านี้ล้วนใช้วัสดุเพอร์โรอิเล็กทริกที่มีส่วนประกอบของสารตะกั่ว ตัวอย่างเช่น เลดเซอร์โคโรเนตไททาเนต (PZT) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีว่ามีสมบัติทางไพโซอิเล็กทริกสูง ต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าวัสดุปลอดสารตะกั่ว จึงนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ถึงแม้ว่าสารตะกั่วตัวนั้นมีพิษเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการผลิตในระดับโรงงานอุตสาหกรรม จำเป็นต้องใช้สารตะกั่วเป็นจำนวนมาก อีกทั้งการฟุ้งกระจายในอากาศ การจัดเก็บและการจัดการของเสีย ซึ่งมีความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้เกี่ยวข้องโดยตรง ทั้งนี้ยังส่งผลไปถึงผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

ดังกล่าวมาข้างต้นจึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่มีส่วนในการช่วยผลักดันการค้นคว้าวิจัยวัสดุไพโซอิเล็กทริกและเพอร์โรอิเล็กทริกเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ จึงมีการศึกษาและพัฒนาวัสดุในกลุ่มไพโซอิเล็กทริกและเพอร์โรอิเล็กทริกปลอดจากสารตะกั่วขึ้นเช่น บิสมาทโซเดียมไททาเนต (BNT) โพแทสเซียมโซเดียมไนโอเบต (KNN) แบเรียมไททาเนต (BT) วัสดุเหล่านี้มีสมบัติทางไฟฟ้าและสามารถปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นหรือดีกว่าวัสดุในกลุ่มมีสารตะกั่ว มีสถาบันการศึกษาและผู้ผลิตสินค้าได้มีการร่วมมือกันวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกให้ตรงตามข้อกำหนด อีกทั้งยังต้องคงคุณภาพและประสิทธิภาพเอาไว้ด้วย ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 1.2 แสดงให้ว่าวัสดุไพโซอิเล็กทริกปลอดสารตะกั่วกำลังเป็นประเด็นเด่นในการพัฒนาและมีความต้องการใช้ในอนาคต ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2020 เป็นต้นไป

แนวโน้มการแข่งขันทางการค้าในอนาคต หันมาให้ความสนใจผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดมลพิษ และปริมาณของเสีย เพื่อชิงส่วนแบ่งทางการค้า อีกทั้งยังเสริมสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่องค์กรและผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้จะปรากฏตัวอักษร “RoHS” หรือ สัญลักษณ์ วงกลม ที่มีค่าด้วยเส้นเฉียง ที่ตัวอักษร “Pb” หรือ มีเขียนคำว่า “RoHS Compliant”, “Pb-Free”, “Green” หรืออื่น ๆ ดังรูปที่ 1.1 หมายความว่าสินค้า อุปกรณ์ เครื่องใช้ ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ เหล่านี้ผ่านตามข้อกำหนดแล้ว (Thaieasyelec.com 2011)



รูปที่ 1.1 สัญลักษณ์ RoHS และตัวอย่างอุปกรณ์ที่ผ่านการรับรอง (Littlepc.com 2003, Invector 2006, Thaieasyelec.com 2011)

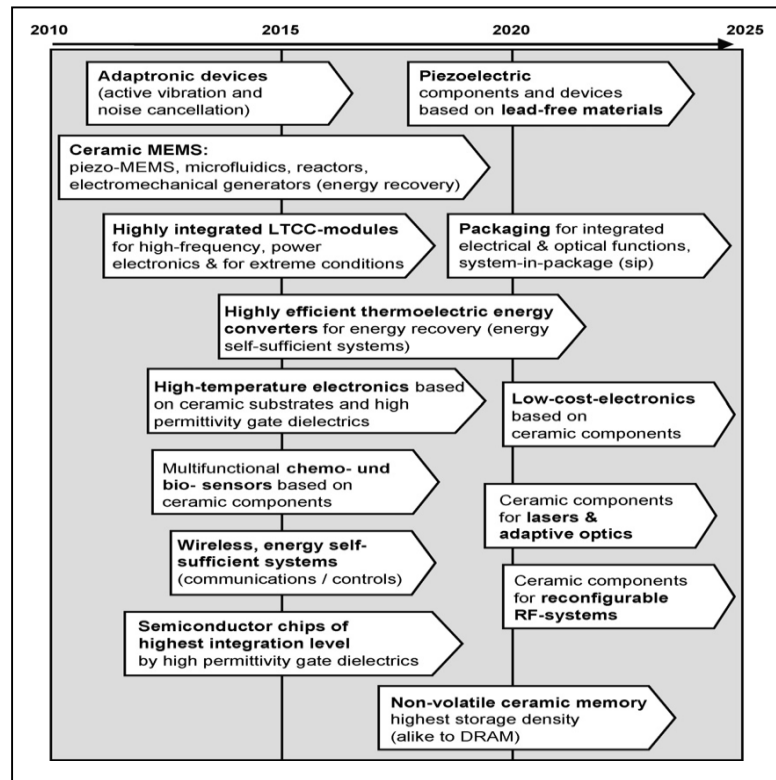
ข้อกำหนดที่กล่าวถึงนั้นมีชื่อว่า RoHS ย่อมาจาก Restriction of Hazardous Substance เป็นข้อกำหนดที่ 2002/95/EC ของสหภาพยุโรปว่าด้วยเรื่องสินค้า อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตทั้งในและนำเข้าจากต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็น เครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เช่น วิทยุโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ ตู้เย็น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นชิ้นส่วนประกอบในอุปกรณ์เครื่องใช้ เช่น รีโมทคอนโทรล แผงวงจร หัวอ่านฮาร์ดดิสไดรฟ์ จะต้องมามีปริมาณสารที่เป็นอันตรายไม่เกินที่ข้อกำหนดระบุไว้

โดยสารที่จำกัดปริมาณในปัจจุบัน กำหนดไว้ 6 ชนิดคือ

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. ตะกั่ว (Pb) | ไม่เกินร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก |
| 2.ปรอท (Hg) | ไม่เกินร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก |
| 3. แคดเมียม (Cd) | ไม่เกินร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก |
| 4. เฮกซะวาเลนท์ โครเมียม (Cr-VI) | ไม่เกินร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก |
| 5. โพลีโบรมิเนต ไบเฟนิลส์ (PBB) | ไม่เกินร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก |
| 6. โพลีโบรมิเนต ไดเฟนิล อีเธอร์ (PBDE) | ไม่เกินร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก |

แต่ก็มีข้อยกเว้นสำหรับอุปกรณ์บางอย่าง ที่ยังไม่สามารถหาสารอื่น ๆ เข้ามาทดแทนได้ หรือสารที่สามารถทดแทนได้นั้นมีอันตรายมากกว่า เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ ข้อกำหนดนี้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 2006 ส่วนในประเทศอื่น ๆ เช่น สหรัฐอเมริกา จีน ญี่ปุ่น เริ่มที่จะกำหนดข้อบังคับในลักษณะเดียวกันนี้ และจะแพร่หลายไปทั่วโลกในอนาคต ดังแผนผังแสดงแนวโน้มการพัฒนาวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกให้ตรงตามข้อกำหนด อีกทั้งยังต้องคงคุณภาพและประสิทธิภาพเอาไว้ด้วย ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์สร้างการสั่นสะเทือน (vibration) อุปกรณ์ลด/ตัดเสียงรบกวน (noise collation) การเปลี่ยนแปลงพลังงานกลับมาใช้ใหม่ (energy recovery) อุปกรณ์เซรามิกที่ใช้งานภายใต้อุณหภูมิสูง (high-

temperature electronics) สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ดังรูปที่ 1.2 สำหรับประเทศไทย ผู้ผลิตสินค้าส่งออกก็ได้รับผลกระทบจากข้อกำหนดนี้ แต่ยังมีกลุ่มผู้ผลิตที่ตระหนักถึงความสำคัญได้รวมตัวกัน เพื่อรับมือกับข้อกำหนดทางด้านสิ่งแวดล้อมยุโรป (EU) พร้อมทั้งเพิ่มศักยภาพทางการแข่งขันให้กับสินค้าไทยภายใต้ชื่อ “เครือข่ายสมัครใจ Thai RoHs”



รูปที่ 1.2 แผนภูมิแสดงแนวโน้มการพัฒนาวัสดุในอนาคต (Rödel et al., 2009)

การค้นคว้าวิจัยวัสดุไพโอโซอิเล็กทริกปลอดภัยจะก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง สารไพโอโซอิเล็กทริกในกลุ่มอัลคาไลน์ โพแทสเซียมโซเดียมไนโอเบต ($K_{1-x}Na_xNbO_3$: KNN) เป็นสารที่นักวิจัยเริ่มให้ความสนใจเนื่องจากมีความเป็นอันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อมค่อนข้างต่ำ อีกทั้งยังสามารถพัฒนาได้อีกมาก ด้วยการเติมสารเจือ (dopant) ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้าง ความหนาแน่น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าคงที่ไพโอโซอิเล็กทริก และอีกสมบัติหนึ่งของสารไพโอโซอิเล็กทริกที่จะต้องปรับปรุงให้ดีขึ้นคือ พฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้า (electrical fatigue) ซึ่งแสดงถึงอายุการใช้งานของวัสดุนั้น ๆ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาวัสดุไพโอโซอิเล็กทริกปลอดภัยในกลุ่มอัลคาไลน์ โพแทสเซียมโซเดียมไนโอเบต (KNN) โดยการเติมสารเจือ (dopant) ลิเทียม (Li^+) แอนติโมนี (Sb^{5+}) ที่อัตราส่วนคงที่ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้า และเติมแทนทาลัม (Ta^{5+}) ที่

อัตราส่วนต่าง ๆ เข้าไปในระบบ เพื่อศึกษาผลของการเติมสารเจือ Ta^{5+} ที่มีผลต่อพฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้าของสาร KNN

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเติมแทนทาลัม (Ta^{5+}) ต่อสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกและไดอิเล็กทริกของเซรามิก KNN-LST

1.2.2 เพื่อการศึกษาพฤติกรรมการสลับเปลี่ยนเฟอร์โรอิเล็กทริกโดเมนของเซรามิก KNN-LST ภายใต้สนามไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้าของสารโพแทสเซียมโซเดียมไนโอเบตที่เจือด้วยลิเทียม แอนติโมนี และแทนทาลัม ตามสูตร $(K_{0.50}Na_{0.46}Li_{0.04})(Nb_{(0.96-x)}Sb_{0.04}Ta_x)O_3$: KNN-LST ภายใต้สนามไฟฟ้า ± 2.5 kV จำนวน 1,000 – 1,000,000 รอบ ที่ความถี่ 50 Hz

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 อัตราส่วนของสารเจือ Ta^{5+} ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สารเซรามิก KNN-LST มีอัตราการเกิดความล้าทางไฟฟ้าที่ลดลง ซึ่งอาจมีผลมาจากการตรึงโดเมนของช่องว่างออกซิเจนภายในชิ้นงาน เมื่อจำนวนรอบของการให้สนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะทำให้สารเซรามิก KNN-LST เกิดความเสื่อมประสิทธิภาพ ชิ้นงานตัวอย่างจะมีสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกและไดอิเล็กทริกที่น้อยลง โดเมนภายในจะไม่สามารถเปลี่ยนทิศทาง หรือเปลี่ยนได้น้อยลงตามสนามไฟฟ้าที่ให้ได้ หรือที่เรียกว่า เกิดความล้าทางไฟฟ้า ซึ่งสามารถวัดเกิดความล้าทางไฟฟ้า ได้จากค่าโพลาริเซชันค้าง (P_r) ค่าคงที่ไพโซอิเล็กทริก (d_{33}) และค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ_r) ที่ลดลง และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโดเมนภายในได้จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ความล้าทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งสามารถวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

1.3.2 อัตราส่วนของสารเจือ Ta^{5+} ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สารเซรามิก KNN-LST มีวัฏภาคที่เปลี่ยนไป สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงได้จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงวัฏภาคจากออร์โธโรมบิก (orthorhombic) ไปเป็นเตตระโกนอล (tetragonal) และที่อัตราส่วนที่ทำให้เกิดวัฏภาคออร์โธโรมบิกอยู่รวมกับวัฏภาคเตตระโกนอล ส่งผลกระทบให้สมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกและไดอิเล็กทริกสูงขึ้น

1.3.3 การเติมสารเจือ Ta^{5+} มีส่วนช่วยในการปรับปรุงความหนาแน่นของชิ้นงานเซรามิก KNN-LST ให้เพิ่มขึ้น สามารถวิเคราะห์ได้การวัดค่าความหนาแน่นด้วยวิธีอาร์คิมิดีส ซึ่งความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นนี้อาจส่งผลสอดคล้องไปยังสมบัติทางไฟฟ้า เช่น ค่าคงที่ไพโซอิเล็กทริก ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกให้มีค่าสูงขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 เตรียมสาร KNN-LST ด้วยวิธี Solid State Reaction โดยการเติมเจือลิเทียม (Li^+) แอนติโมนี (Sb^{5+}) ในปริมาณคงที่ 0.04 โมล และแทนทาลัม (Ta^{5+}) ในสารโพแทสเซียมโซเดียมไนโอเบต ($\text{K}_{0.52}\text{Na}_{0.48}\text{NbO}_3$: KNN) ได้ตั้งสูตรส่วนผสมนี้ $(\text{K}_{0.50}\text{Na}_{0.46}\text{Li}_{0.04})(\text{Nb}_{(0.96-x)}\text{Sb}_{0.04}\text{Ta}_x)\text{O}_3$ เมื่อ $x=0.00, 0.04, 0.08, 0.12$ ก่อนนำไปเผาผนึกที่ 1,000-1,200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

1.4.2 ศึกษาผลของการเติมสารเจือแทนทาลัม (Ta^{5+}) ต่อสมบัติไพโซอิเล็กทริกของ KNN-LST

1.4.3 ศึกษาพฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้า ภายใต้สนามไฟฟ้า ± 2.5 kV ต่อความหนา 1 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 50 Hz ตั้งแต่ 1,000 – 1,000,000 รอบ ของสารเซรามิก KNN-LST

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 เข้าใจอิทธิพลของการเจือแทนทาลัม (Ta^{5+}) ในสารเซรามิก KNN-LST ที่มีต่อสมบัติไพโซอิเล็กทริก

1.5.2 เข้าใจพฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้าของสารเซรามิก KNN-LST เจือแทนทาลัม (Ta^{5+}) หลังจากเกิดความล้าทางไฟฟ้า

1.5.3 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาอายุการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวัสดุชนิดนี้เป็นองค์ประกอบ