

บทที่ 1

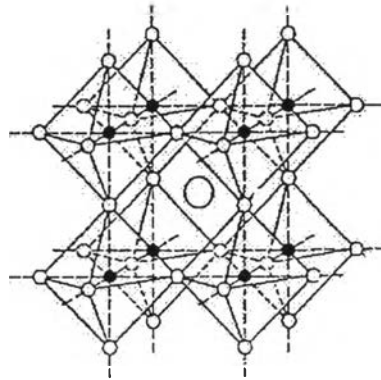
บทนำ



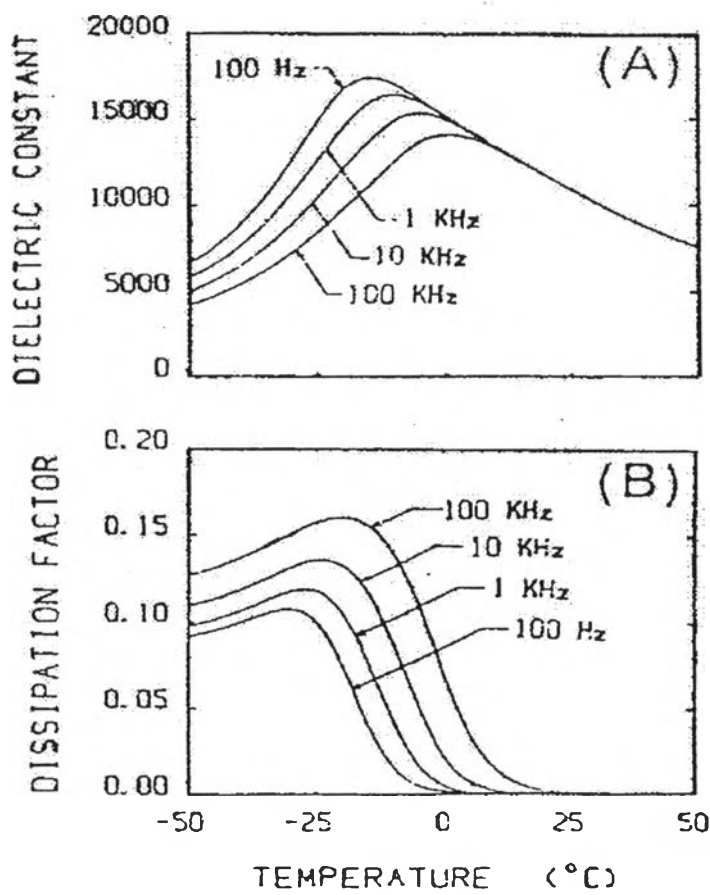
1.1 เลดแมกนีเซียมไนโอเบต ($\text{PMN:PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$)

เลดแมกนีเซียมไนโอเบตเป็นสารที่มีโครงสร้างแบบเพอร์รอฟสไกต์ดังรูป 1.1⁽¹⁾ มีสมบัติเป็นรีแลคเซอร์และเฟอร์โรอิเล็กทริก สมบัติทางไดอิเล็กทริกสูง มีช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟส (transition temperature) ในช่วงกว้างและอยู่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องดังแสดงในรูป 1.2⁽²⁾ การที่มีช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสกว้างทำให้มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุด (maxima dielectric constant) อยู่ในช่วงอุณหภูมิกว้าง และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกยังขึ้นกับความถี่และอุณหภูมิซึ่งเป็นลักษณะของรีแลคเซอร์ โดยค่าคงที่ไดอิเล็กทริกก่อนจุดคูรีจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิและความถี่ที่ลดลง

ทั้งค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก (dissipation factor or dielectric loss) ขึ้นกับความถี่อย่างมาก ถ้าเพิ่มความถี่ทำให้จุดสูงสุดของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มเปลี่ยนในทิศทางที่อุณหภูมิสูงขึ้น การที่ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่าสูงย่อมหมายถึงสามารถเก็บรักษาประจุไว้ภายในเนื้อวัสดุได้มาก และการที่ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดอยู่ในช่วงอุณหภูมิกว้างเป็นสิ่งที่ช่วยให้สามารถเลือกวัสดุเลดแมกนีเซียมไนโอเบตใช้ในงานหลายช่วงอุณหภูมิเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท ในปัจจุบันยังไม่ได้นำมาผลิตเชิงอุตสาหกรรมเนื่องจากยากต่อการสังเคราะห์เพื่อให้ได้สารบริสุทธิ์ เพราะมักปรากฏเฟสไพโรคลออร์อยู่เสมอ เฟสไพโรคลออร์ที่เกิดขึ้นทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุเลดแมกนีเซียมไนโอเบตลดลงอย่างมาก ไพโรคลออร์จะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ที่ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ ดังนั้นขั้นตอนในการเตรียมสารนี้จึงมีผลกระทบกับสมบัติทางไฟฟ้าอย่างมาก



รูป 1.1 โครงสร้างเพอร์รอฟสไกต์ของสารเลดแมงนีเซียมไนโอเบต, o แทนอะตอมออกซิเจน -2, • แทนอะตอม แมงนีเซียม +2 และไนโอเบียม +5, O แทนอะตอมตะกั่ว +2

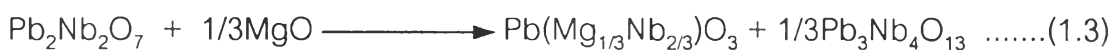


รูป 1.2 กราฟค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของสารเลดแมงนีเซียมไนโอเบต เเผที่ 800 องศาเซลเซียส/4ชั่วโมง ซินเทอริ่งที่ 1200 องศาเซลเซียส/2ชั่วโมง⁽²⁾

1.1.1 การเตรียมสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบต

วิธีการสังเคราะห์เลดแมกนีเซียมไนโอเบตมีหลายวิธี เช่น วิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งผ่านไพโรคลออร์ วิธีคอลลัมไบท์ วิธีคอรัมดัม และวิธีการเตรียมเจล เป็นต้น

1. วิธีการสังเคราะห์ผ่านไพโรคลออร์ (pyrochlore) โดย Inada⁽³⁾ สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ คือ ตะกั่วออกไซด์ (PbO) และ ไนโอเบียมออกไซด์ (Nb₂O₅) ผสมกันแล้วเผาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา โดยใช้ตะกั่วออกไซด์และไนโอเบียมออกไซด์ในอัตราส่วน 3 ต่อ 2 โมลเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 530-600 องศาเซลเซียสได้ผลิตภัณฑ์เป็นคิวบิกไพโรคลออร์ (cubic pyrochlore) หรือ Pb₃Nb₄O₁₃ ดังสมการ 1.1



ไพโรคลออร์ชนิดนี้จะเกิดปฏิกิริยาต่อกับตะกั่วออกไซด์ในปริมาณโมลที่เท่ากันที่อุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส เกิดเป็นรอมโบฮีดรอลไพโรคลออร์อีกชนิดหนึ่ง หรือ Pb₂Nb₂O₇ ดังสมการ 1.2 จากนั้นรอมโบฮีดรอลไพโรคลออร์ทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) จึงสามารถเกิดเป็นเลดแมกนีเซียมไนโอเบตได้ที่อุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียสและมีคิวบิกไพโรคลออร์ Pb₃Nb₄O₁₃ เป็นผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการเสมอ อัตราส่วนของตะกั่วออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์ต่อแมกนีเซียมออกไซด์เป็น 4 ต่อ 2 ต่อ 1/3 ใช้เป็นอัตราส่วนของสารตั้งต้น เลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่ได้ถ้ามีคิวบิกไพโรคลออร์ Pb₃Nb₄O₁₃ มากสมบัติไดอิเล็กทริกจะแยกว่าเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่มีปริมาณไพโรคลออร์น้อยกว่า ดังนั้นวิธีการสังเคราะห์นี้จึงต้องมีการปรับปรุง

ให้ได้ปริมาณเฟสของคิวบิกไพโรคลออร์ $Pb_3Nb_4O_{13}$ น้อยที่สุด โดยการเพิ่มปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์ และทำการเผาซ้ำรวมทั้งลดการระเหยของตะกั่ว จากวิธีการข้างต้นพบว่ายังมีคิวบิกไพโรคลออร์ $Pb_3Nb_4O_{13}$ หลงเหลืออยู่เสมอ

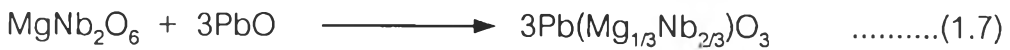
Guha⁽⁴⁾ ทดลองโดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนสารตั้งต้นระหว่างตะกั่วออกไซด์และไนโอเบียมออกไซด์เป็น 3 ต่อ 1 โดยการผสมสารตั้งต้นทั้งสองชนิดและเผาที่อุณหภูมิประมาณ 820 องศาเซลเซียส จะได้สารไพโรคลออร์อีกชนิดคือ $Pb_3Nb_2O_8$ ดังสมการ 1.4 จากนั้นนำมาผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ในปริมาณโมลที่เท่ากัน และเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียสได้เป็นเลดแมกนีเซียมไนโอเบต ดังนั้นอัตราส่วนสารตั้งต้นของตะกั่วออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์ต่อแมกนีเซียมออกไซด์เป็น 3 ต่อ 1 ต่อ 1 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นดังนี้



การสังเคราะห์เลดแมกนีเซียมไนโอเบตผ่านไพโรคลออร์เลดไนโอเบต $Pb_3Nb_2O_8$ ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากการเตรียมผ่าน $Pb_3Nb_2O_8$ จะมีส่วนหนึ่งเป็นไพโรคลออร์ $Pb_3Nb_2O_8$ ที่เป็นสารตั้งต้นเหลืออยู่ จึงจำเป็นต้องมีการเติมแมกนีเซียมออกไซด์เพิ่ม 1% โดยน้ำหนักและเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสจึงเกิดปฏิกริยากับแมกนีเซียมออกไซด์ได้เป็นเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่สมบูรณ์ได้

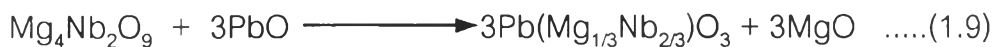
2. การสังเคราะห์เลดแมกนีเซียมไนโอเบตด้วยการเผาแคลไซต์ 2 ครั้ง หรือเรียกวิธีคอลลัมไบท์ (columbite method)^(5,6) แม้จะใช้วิธีการเกิดปฏิกริยาสถานะของแข็งเช่นเดียวกับวิธีการสังเคราะห์ข้างต้นแต่มีข้อแตกต่าง กล่าวคือวิธีนี้ตะกั่วออกไซด์ถูกเติมลงไปหลังจากที่แมกนีเซียมออกไซด์ทำปฏิกริยากับไนโอเบียมออกไซด์

เกิดเป็นแมกนีเซียมไนโอเบต ($MgNb_2O_6$) ก่อน หลังจากนั้นแมกนีเซียมไนโอเบตจึงค่อยนำมาทำปฏิกิริยากับตะกั่วออกไซด์ภายหลัง ดังปฏิกิริยา



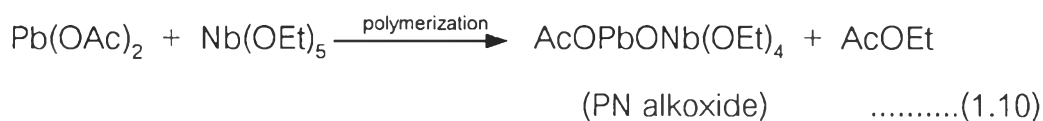
จากปฏิกิริยา 1.6 อัตราส่วนสารตั้งต้นของแมกนีเซียมออกไซด์และไนโอเบียมออกไซด์ที่ใช้ในปริมาณโมลเท่ากัน สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียสจนถึง 1580 องศาเซลเซียส ส่วนปฏิกิริยา 1.7 เกิดได้ดีช่วงอุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียสและเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน การสังเคราะห์ด้วยวิธีคอลลัมไบท์นี้เป็นที่นิยมกันเพราะขั้นตอนของปฏิกิริยาไม่มีสารผลิตภัณฑ์ตัวกลางที่เป็นไพโรคลออร์ จึงได้ปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์ของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตมาก

3. การสังเคราะห์เลดแมกนีเซียมไนโอเบตด้วยการเผา 2 ครั้งมีอีกวิธีที่คล้ายกับวิธีคอลลัมไบท์ วิธีประยุกต์ใหม่นี้เรียกว่าวิธีคอร์นดัม (corundum method)⁽⁷⁾ เพื่อให้ทราบว่ายังมีสารตัวกลางชนิดอื่นที่สามารถเกิดเป็นเลดแมกนีเซียมไนโอเบตได้โดยการนำแมกนีเซียมออกไซด์กับไนโอเบียมออกไซด์ทำปฏิกิริยากันก่อนแล้วจึงนำไปทำปฏิกิริยากับตะกั่วเช่นกัน แต่มีการใช้ปริมาณสารแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่าวิธีคอลลัมไบท์และได้ผลิตภัณฑ์ตัวกลางต่างกัน มีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



จากปฏิกิริยา 1.8 แมกนีเซียมออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยากับไนโอเบียมออกไซด์ในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 1200-1400 องศาเซลเซียสเกิดเป็น $Mg_4Nb_2O_9$ แต่เกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 1300 องศาเซลเซียสและมีอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้เป็นไปอย่างช้าๆ เพื่อให้ได้ $Mg_4Nb_2O_9$ สมบูรณ์ จึงต้องเผานานกว่า 2 วัน⁽⁷⁾ $Mg_4Nb_2O_9$ เกิดปฏิกิริยาดีที่สุดในที่ 1400 องศาเซลเซียส $Mg_4Nb_2O_9$ ที่ได้นำมาทำปฏิกิริยากับตะกั่วออกไซด์ อัตราส่วนที่ใช้คือ 1 ต่อ 3 เกิดปฏิกิริยาที่ 800-900 องศาเซลเซียส และผลผลิตที่ได้มีเลดแมกนีเซียมไนโอเบตและแมกนีเซียมออกไซด์ ซึ่งสามารถกำจัดแมกนีเซียมออกไซด์โดยการล้างออกด้วยกรดไนตริกเจือจาง วิธีการนี้จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงและสิ้นเปลืองสารแมกนีเซียมออกไซด์จึงไม่นิยม

4. วิธีการเตรียมเจล (sol-gel method)^(8,9) ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถผสมสารได้ถึงระดับโมเลกุล สารที่ได้จึงมีความบริสุทธิ์สูงแต่การสังเคราะห์มีหลายขั้นตอนวิธีการคือการนำสารตั้งต้นมาเปลี่ยนให้อยู่ในสภาพที่สามารถละลายในสารละลายได้ สารตั้งต้นในการสังเคราะห์คือ เลดออกซีอะซิเตต $[Pb(OAc)_2]$ ไนโอเบียมออกซีเอทิลเลต $[Nb(OEt)_5]$ และ แมกนีเซียมออกซีเอทิลเลต $[Mg(OEt)_2]$ ซึ่งสารตั้งต้นทั้งหมดสามารถละลายในตัวทำละลายมีขั้วเช่นน้ำได้ ขั้นตอนการสังเคราะห์มีดังนี้



ปฏิกิริยา 1.10 เป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยเลดออกซีอะซิเตท $Pb(OAc)_2$ ทำปฏิกิริยากับไนโอเบียมออกซีเอทธิเลต $Nb(OEt)_5$ โดยทำรีฟลักซ์ (reflux) ในเอทานอล 5 ชั่วโมง เกิดเป็นเลดไนโอเบียมอัลคอกไซด์และเอทธิลอะซิเตท ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายใส ปฏิกิริยา 1.11 เกิดเมื่อมีการเติมโลหะแมกนีเซียมลงในเอทานอล โดยจะเกิดปฏิกิริยากับเอทานอลอยู่ในรูปแมกนีเซียมออกซีเอทธิเลตหรือ $Mg(OEt)_2$ จากนั้นปฏิกิริยา 1.12 มีการเติมไซโคลเฮกเซนและทำการรีฟลักซ์ส่วนผสมทั้งหมดนาน 8 ชั่วโมง เลดไนโอเบตอัลคอกไซด์จึงทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมออกซีเอทธิเลต $Mg(OEt)_2$ เกิดเป็นเลดแมกนีเซียมไนโอเบตอัลคอกไซด์มีลักษณะเป็นเจลใส เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสในปฏิกิริยา 1.13 จะมีการเติมอะซิโตน โดยให้ได้อัตราส่วนของเอทานอลต่อไซโคลเฮกเซนต่ออะซิโตนเป็น 1 ต่อ 1 ต่อ 1 ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายแอมโมเนียเพื่อใช้ควบคุมความเป็นกรด-ด่างของปฏิกิริยา ทำรีฟลักซ์ส่วนผสมสุดท้ายนี้ 24 ชั่วโมง น้ำในโมเลกุลของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตอัลคอกไซด์จะถูกกำจัดออก เกิดเป็นของแข็งอสัณฐานของเลดแมกนีเซียมไนโอเบต ทำการเผาที่อุณหภูมิ 700-900 องศาเซลเซียสเพื่อให้อยู่ในรูปผลึก

1.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียม

การสังเคราะห์ต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ขั้นตอนต่างๆของแต่ละวิธีอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติโครงสร้างและสมบัติทางไฟฟ้าของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตได้⁽¹⁰⁾ ผลที่ทำให้สมบัติเปลี่ยนแปลงไปเกิดจาก ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในการเผา และอุณหภูมิของการเผา เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น⁽¹¹⁾ โดยใช้ความบริสุทธิ์ของสารระดับสูงมาก (ultrahigh purity) มีความบริสุทธิ์ถึง 99.999% เปรียบเทียบกับความบริสุทธิ์ระดับรีเอเจนท์ (reagent grade) 98-99.5% ในการหา

ปริมาณของเฟสไพโรคลออร์จะหาจากความสูงของกราฟ XRD ของตำแหน่งกราฟที่มีความสูงสูงสุดของแต่ละเฟสจากสมการต่อไปนี้

$$\% \text{Pyrochlore} = 100 * I_{\text{pyro}} / (I_{\text{pyro}} + I_{\text{PMN}}) \quad \dots\dots\dots(1.14)$$

โดยที่ %Pyrochlore = ปริมาณของเฟสไพโรคลออร์เป็นเปอร์เซ็นต์

I_{pyro} = ความสูงเฟสไพโรคลออร์ที่สูงที่สุด

I_{PMN} = ความสูงเฟสเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่สูงที่สุด

ผลปรากฏว่าเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่ได้จากสารตั้งต้นที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่าจะทำให้ได้เลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่มีค่าไดอิเล็กทริกที่สูงกว่า การทดลองของ Chen⁽¹¹⁾ เลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่ได้จากสารตั้งต้นที่มีความบริสุทธิ์สูงมากจะมีปริมาณเฟสไพโรคลออร์ 3% ซึ่งน้อยกว่าเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่ได้จากสารตั้งต้นรีเอเจนท์ที่มีปริมาณเฟสไพโรคลออร์ 5% จึงทำให้ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่อุณหภูมิคูรีของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่ได้จากสารตั้งต้นบริสุทธิ์สูงมากประมาณ 18,000 เมื่อเทียบกับที่ได้จากสารตั้งต้นที่มีความบริสุทธิ์ระดับรีเอเจนท์ซึ่งได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 7,000 ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกทั้งสองมีค่าต่ำกว่า 0.1 สาเหตุที่ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารตั้งต้นลดลงเมื่อความบริสุทธิ์ลดลงเพราะว่าภายในเนื้อสารปรากฏเฟสของไพโรคลออร์ปะปนอยู่ ซึ่งเฟสนี้มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ต่ำมากประมาณ 130 เฟสของไพโรคลออร์ที่พบมีสูตรเป็น $\text{Pb}_{1.83}\text{Nb}_{1.71}\text{Mg}_{0.29}\text{O}_{6.39}$ มีค่าคงที่แลตติสประมาณ 1.06 ไมครอน ซึ่ง Swartz⁽⁵⁾ อธิบายว่าไพโรคลออร์นี้เกิดจากการที่ตะกั่วเกิดการระเหยและควบแน่นลงมาบริเวณขอบเกรนเกิดเป็นตะกั่วออกไซด์รูปของแข็งอสัณฐานและจะเกิดปฏิกิริยากับออกไซด์ของแมกนีเซียมและไนโอเบียมที่บริเวณขอบเกรนเกิดเป็นไพโรคลออร์ ในการทดลองนี้ปริมาณของเฟสไพโรคลออร์ต่างกันเพียงเล็กน้อยคือ 3% และ 5% ที่เกิดจากสารตั้งต้นที่มีความบริสุทธิ์ต่างกัน แต่ทำให้ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกแตกต่างกัน

มาก คือ 18,000 และ 7,000 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณเฟสไพโรคลอร์ที่ต่างกันเล็กน้อยนี้ไม่น่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมากนัก เป็นเหตุผลที่ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร

Lejeune⁽¹⁰⁾ ได้ศึกษาผลของอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ริงของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตโดยวิธีการสังเคราะห์ผ่านไพโรคลอร์ ผลของอัตราการเพิ่มอุณหภูมิการเผาจาก 5 องศาเซลเซียสต่ออนาที เป็น 170 องศาเซลเซียสต่ออนาที ทำให้ได้ปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์ลดลงจาก 79% เป็น 49% และได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ 20 องศาเซลเซียสลดลงจาก 5,050 เป็น 313 Lejeune⁽¹²⁾ ยังได้ทำการทดลองหาค่าไดอิเล็กทริกเมื่อเปลี่ยนอัตราการเพิ่มอุณหภูมิการเผาเป็น 4.2 องศาเซลเซียสต่ออนาที ได้ปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์ 90% ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุด 7,800 และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ 20 องศาเซลเซียสเป็น 5,963 Swartz⁽⁵⁾ ทดลองใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิการเผา 6.7 องศาเซลเซียสต่ออนาทีได้ปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์ 68.4% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิการเผาอย่างช้าๆทำให้ได้ปริมาณเฟสเพอร์โรไฟท์ที่เป็นโครงสร้างของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเพิ่มขึ้น ส่วนการสังเคราะห์ด้วยวิธีคอลลัมไบท์ Swartz⁽⁵⁾ ทดลองใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิการเผา 6.7 องศาเซลเซียสต่ออนาที ได้ปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์ 98.9% การทดลองของ Hui-Chich Wang⁽¹³⁾ ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 0.83 องศาเซลเซียสต่ออนาที ได้ปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์ 96% จากวิธีคอลลัมไบท์นี้พบว่า Swartz และ Hui-Chich Wang ได้ปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์ที่ใกล้เคียงกัน ต่างกันประมาณ 3% และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิการเผาอย่างช้าๆที่ 0.83 องศาเซลเซียสต่ออนาทีไม่ได้ทำให้ได้เฟสเพอร์รอฟสไกต์ดีกว่าที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิการเผาที่ 6.7 องศาเซลเซียสต่ออนาทีมากนัก

อุณหภูมิการเผาซินเทอร์ริงต่างกัน^(10,11) ทำให้ได้สมบัติต่างกัน โดยที่อุณหภูมิการเผาสูงใกล้เคียง 1300 องศาเซลเซียสจะทำให้สมบัติของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตดีขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิการเผาสูงขึ้นวัสดุที่ได้มีความหนาแน่นมากกว่า 96% จากทฤษฎี แต่ที่อุณหภูมิสูงเกิน 1300 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดเฟสไพโรคลอรั่มมากขึ้น Swartz⁽⁵⁾ และ Goo⁽¹⁴⁾ ได้ให้เหตุผลว่าเกิดจากการที่ตะกั่วมีการระเหยมากขึ้นทำให้ได้ตะกั่วออกไซด์ที่ขอบเกรนมากขึ้นเช่นกันและพบเฟสไพโรคลอรั่มเกิดที่บริเวณขอบเกรนเสมอ สูตรไพโรคลอรั่มที่ได้เป็น $Pb_{1.83}Nb_{1.71}Mg_{0.29}O_{6.39}$ ซึ่งจะใกล้เคียงกับสูตรของรอมโบอีตรอลไพโรคลอรั่ม $Pb_2Nb_2O_7$

การปรับปรุงสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเพื่อให้ได้ปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์สูงสุดและสมบัติไดอิเล็กทริกที่ดี นอกจากจะปรับปรุงจากกระบวนการสังเคราะห์แล้วยังสามารถปรับปรุงจากการปรับสัดส่วนของสารตั้งต้นให้เหมาะสม แม้ว่าการปรับอัตราการผลิตอุณหภูมิการเผาแล้วทำให้ได้ปริมาณเพอร์รอฟสไกต์เพิ่มขึ้นประมาณ 3% แต่ก็ไม่ได้เฟสเพอร์รอฟสไกต์บริสุทธิ์ จากการทดลองหลายการทดลอง^(2,3,10,12,14) พบว่าการเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ที่เป็นสารตั้งต้นให้มากเกินไปในปริมาณ 2-10% ทำให้ได้เฟสเพอร์รอฟสไกต์ถึง 100% ได้ Hui-Chien Wang⁽¹³⁾ ได้ตรวจสอบเนื้อวัสดุเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่มีการเติมแมกนีเซียมออกไซด์มากเกินไป ด้วย TEM (Transmission Electron Microscope) ปรากฏเฟสแมกนีเซียมออกไซด์บริเวณขอบเกรนแยกตัวจากองค์ประกอบที่เป็นเกรนของเลดแมกนีเซียมไนโอเบต แมกนีเซียมออกไซด์ที่ปรากฏบริเวณขอบเกรนจะทำให้มีแมกนีเซียมเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยากับไนโอเบียมออกไซด์เป็นเฟสเพอร์โรไฟท์ก่อนที่จะเกิดเป็นไพโรคลอรั่ม ซึ่งถ้าพิจารณาจากสูตรของไพโรคลอรั่ม ($Pb_{1.83}Nb_{1.71}Mg_{0.29}O_{6.39}$) จะพบว่าปริมาณแมกนีเซียมไม่เพียงพอที่จะเกิดเป็นเลดแมกนีเซียมไนโอเบต เมื่อมีการเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์มากเกินไป ผลสมบัติไดอิเล็กทริกโดยเปรียบเทียบกับผลของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเดิม (PMN) กับเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่มีการเพิ่มปริมาณ

แมกนีเซียมออกไซด์ (PMN-MgO) ปรากฏว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ เลดแมกนีเซียมไนโอเบตสัดส่วนสารตั้งต้นเดิม (PMN) เป็น 13,700 เมื่อใช้ปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์เพิ่มขึ้นอีก 2% และ 5% ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก 15,600 เป็น 18,400⁽¹⁴⁾ สาเหตุที่การเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์มีผลต่อสมบัติไดอิเล็กทริกนั้นไม่มีเหตุผลรองรับ แต่อาจเป็นผลจากขนาดเกรนที่เพิ่มขึ้น^(5,14) เมื่อปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์เพิ่มขึ้นทำให้ขนาดของขอบเกรนเล็กลงซึ่งส่งผลให้ปริมาณเฟสของไพโรคลอรัลลดลงด้วย

ได้มีการทดลองโดยเติมตะกั่วออกไซด์ที่มากเกินไปจนเกินไป ผลที่ได้รับพอสรุปได้ดังนี้

1. ทำให้คุณสมบัติการเปลี่ยนเฟสลดลงเล็กน้อย⁽⁵⁾ เหตุผลที่แท้จริงยังไม่ทราบแน่ชัดแต่อาจเกิดจากน้ำหนักที่สูญหายในขณะที่เผาซินเทอร์ริงมากขึ้นเป็นผลให้สัดส่วนทางเคมีของตะกั่วออกไซด์ในองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงทำให้คุณสมบัติการเปลี่ยนเฟสลดลง

2. ในขั้นตอนการเผาซินเทอร์ริงช่วงอุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส ตะกั่วออกไซด์จะเกิดเป็นเฟสของเหลวบางส่วนและเกิดการเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างอนุภาคหรือระหว่างเกรน ที่ขอบเกรนจึงมีความหนาของชั้นตะกั่วออกไซด์มากขึ้น⁽¹⁴⁾ ทำให้สมบัติไดอิเล็กทริกของวัสดุแย่ลง โดยค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุด 13,700 ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ มีปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์ 94% เมื่อเติมตะกั่วออกไซด์เพิ่มขึ้น 2% ลงในเลดแมกนีเซียมไนโอเบตมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก 9,800 ปรากฏปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์ 91% และเมื่อเติมตะกั่วออกไซด์เพิ่มขึ้น 5% ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก 6,300 ปรากฏปริมาณเฟสเพอร์รอฟสไกต์ 89% ทั้ง 3 องค์ประกอบมีอุณหภูมิที่จุดคูรีเท่ากันที่ -10 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่าตามปริมาณของเฟสเพอร์รอฟสไกต์ที่ปรากฏและค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของตะกั่วออกไซด์ที่เติมมากเกินไปเพิ่มขึ้น

3. การเติมตะกั่วออกไซด์มากเกินไป ไม่มีผลในการลดปริมาณเฟสของไพโรคลอริ^(2,14) และไม่มีผลในการเพิ่มปริมาณเพอร์รอฟสไกต์ ยังคงพบเฟสไพโรคลอริในบริเวณขอบเกรนที่เป็นตะกั่วออกไซด์อัญฐาน จึงเป็นเหตุผลที่ว่า การเกิดเฟสไพโรคลอริไม่ได้เกิดจากปริมาณของตะกั่วออกไซด์

1.1.3 ลักษณะโครงสร้าง

ปัจจัยการสังเคราะห์และวิธีการเป็นส่วนที่ทำให้สมบัติของสารเปลี่ยนไป การเข้าใจถึงโครงสร้างของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน โครงสร้างของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเป็นโครงสร้างที่เรียกว่าเพอร์รอฟสไกต์มีสูตรอย่างง่ายเป็น ABO_3 โดยมีตำแหน่ง A (A-site) ในสูตรโครงสร้างคือ Pb^{2+} ส่วนในตำแหน่ง B (B-site) ของสูตรโครงสร้าง มีอะตอม 2 ชนิดคือ Mg^{2+} (แทนด้วย B') และ Nb^{5+} (แทนด้วย B'') และตำแหน่ง O คือตำแหน่งของธาตุออกซิเจนมีประจุไฟฟ้า -2 การที่ตำแหน่ง B มีอะตอมธาตุ 2 ชนิด (B' และ B'') อยู่ในตำแหน่งเดียวกันเรียกว่ามีการแทนที่ของอะตอมในตำแหน่ง B (B-site substitution) ในทำนองเดียวกันอาจมีการแทนที่ในตำแหน่ง A (A-site substitution) ตำแหน่ง A และ B จะเป็นอะตอมหรือไอออนของธาตุที่มีประจุไฟฟ้าที่เป็นบวกผลรวมของประจุทั้งหมดในสูตรต้องเป็นศูนย์ ตัวอย่างของสารที่มีโครงสร้างเพอร์รอฟสไกต์ เช่น เลดไททานเต ($PbTiO_3$) มีตำแหน่ง A เป็น Pb^{2+} ตำแหน่ง B คือ Ti^{4+} ส่วนเลดซิงค์ไนโอเบต [$Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$] โครงสร้างนี้คล้ายกับสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตมากมีตำแหน่ง A คือ Pb^{2+} ตำแหน่ง B คือ Zn^{2+} และ Nb^{5+} ตัวอย่างของการแทนที่ในตำแหน่ง A ได้แก่ บิสมัทโซเดียมไททานเต [BNT, $(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO_3$] มีตำแหน่ง A คือ Bi^{3+} และ Na^+ ส่วนตำแหน่ง B คือ Ti^{4+} เป็นต้น

ในการปรับปรุงสมบัติของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตโดยให้เกิดการแทนที่ของอะตอมในโครงสร้าง เช่นการเติมเลดไททาเนต ซึ่งมีโครงสร้างเพอร์รอฟสไกต์เป็นที่นิยมมานานซึ่งเป็นผลให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดเพิ่มขึ้นจากเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเดิม 16,000 ไปเป็น 25,000⁽²⁾ เมื่อเติมเลดไททาเนต 10% และมีค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกต่ำกว่า 0.05 เนื่องมาจากอะตอมไททาเนตของเลดไททาเนตเกิดการแทนที่ตำแหน่ง B ในโครงสร้างของเลดแมกนีเซียมไนโอเบต โดยจะแทนที่อะตอมของแมกนีเซียมและไนโอเบียมบางส่วน เนื่องจากขนาดอะตอมของไททาเนียม 0.74 อังสตรอม⁽¹⁶⁾ มีขนาดใกล้เคียงกับ ไนโอเบียม 0.78 อังสตรอม⁽¹⁶⁾ ตำแหน่ง B ในโครงสร้างมีอะตอมต่างกันถึง 3 ชนิด เป็นผลให้สมบัติทางไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วงกว้างเรียกการแทนที่ในลักษณะนี้ว่า การเปลี่ยนเฟสที่เกิดจากการแพร่ (diffuse phase transition) ปริมาณของเลดไททาเนตที่เพิ่มขึ้นนอกจากจะทำให้ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ดีขึ้นแล้วยังทำให้อุณหภูมิคูรีเพิ่มขึ้น^(17,18) ที่ 10%เลดไททาเนต อุณหภูมิคูรีประมาณ 30 องศาเซลเซียส ที่ 15%เลดไททาเนตค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 28,000 อุณหภูมิคูรีประมาณ 75 องศาเซลเซียส ที่ 35%เลดไททาเนตค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 36,000 ที่อุณหภูมิคูรีประมาณ 160 องศาเซลเซียส

Jie Chen⁽¹⁵⁾ และ Wu⁽¹⁶⁾ ใช้แลนทานัม (La^{3+}) กับโซเดียม (Na^+) แทนที่ตะกั่วซึ่งเป็นอะตอมในตำแหน่ง A ของโครงสร้างเลดแมกนีเซียมไนโอเบต เมื่อมีการเติมด้วยอะตอมแลนทานัม ซึ่งแลนทานัมมีประจุ (+3) มากกว่าตะกั่ว (+2) ทำให้ประจุรวมของอะตอมในตำแหน่ง A มีประจุเพิ่มขึ้น เพื่อให้ประจุภายในโครงสร้างสมดุลประจุอะตอมในโครงสร้างตำแหน่ง B ลดลง ส่วนการเติมด้วยโซเดียม (ประจุโซเดียม +1) อะตอมโซเดียมมีประจุน้อยกว่าตะกั่ว (ประจุตะกั่ว +2) ประจุรวมของอะตอมในตำแหน่ง A ลดน้อยลง ทำให้ประจุในตำแหน่ง B ต้องเพิ่มขึ้น จากการเติมอะตอมแลนทานัมและโซเดียมลงในสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตทำให้โครงสร้างเพอร์รอฟสไกต์มีการจัดเรียงอะตอมเป็นระเบียบมากขึ้น (order) การจัดระเบียบของโครงสร้างดีขึ้น

ทำให้แรงระหว่างพันธะเนื่องจากประจุไฟฟ้าแข็งแรงขึ้น (high constrictive lattice strain) ทำให้การเปลี่ยนเฟสที่เกิดจากการแพร่เกิดได้ยากขึ้น เฟสทางไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงยากเช่นกัน ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจึงต่ำลง

1.1.4 การนำไปใช้

เนื่องจากสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงจึงมีการนำมาใช้เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าโดยทำเป็นแผ่นบางและซ้อนกันหลายชั้น (multilayer capacitor) นอกจากนี้ยังนำมาทำเป็นทรานสดิวซ์เซอร์ (transducer) เนื่องจากมีสมบัติทางไพโซอิเล็กทริก (piezoelectric properties) หรือสมบัติไฟฟ้าเชิงกล (electromechanical properties) การปรับปรุงองค์ประกอบ เช่นการเติมสารชนิดอื่นลงไป ในสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบต สามารถทำให้สมบัติทางไฟฟ้าของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเปลี่ยนแปลงไป

การใช้งานด้านไพโซอิเล็กทริกของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตองค์ประกอบหนึ่งที่ใช้ทำวัสดุประกอบด้วย เลดแมกนีเซียมไนโอเบต-เลดไททาเนต-เลดเซอร์โคเนต⁽¹⁷⁾ วัสดุเลดแมกนีเซียมไนโอเบตอย่างเดียวมีอุณหภูมิคูรีที่ ประมาณ -10 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำเกินที่จะนำมาใช้งานที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเติมสารเลดไททาเนตและเลดเซอร์โคเนตลงในเลดแมกนีเซียมไนโอเบตทำให้อุณหภูมิคูรีของวัสดุเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิคูรีของเลดไททาเนตและเลดเซอร์โคเนตเป็น 490 องศาเซลเซียส และ 230 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อมีการเติมเลดไททาเนตประมาณ 0.37-0.435 สัดส่วนโมล เติมเลดเซอร์โคเนต 0.35 สัดส่วนโมล ก็จะทำให้ความเป็นไพโซอิเล็กทริกสูง ซึ่งวัดจากสัมประสิทธิ์เรเดียลคัปปลิง (radial coupling coefficient) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุ เมื่อมีการให้ความถี่เรโซแนนซ์ผ่านวัสดุจะเกิดความต่างศักย์ขึ้นกับวัสดุ การเติมเลดไททาเนตสามารถปรับปรุงสมบัติไพโซอิเล็กทริกของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบต⁽¹⁸⁾

มีความสามารถเป็นไพโซอิเล็กทริกได้เช่นกัน โดยถ้าเติมเลดไททาเนตประมาณ 0.3-0.4 จะเกิดเป็นไพโซอิเล็กทริกได้ดี สัมประสิทธิ์ไพโซอิเล็กทริก (piezoelectric coefficient, d_{33}) เป็นค่าคงที่การเกิดความเครียดของวัสดุเมื่อให้สนามไฟฟ้ากับวัสดุ โดยที่องค์ประกอบที่มีการเติมเลดแมกนีเซียมไนโอเบตด้วยเลดไททาเนตปริมาณ 0.35 สัดส่วนโมล ได้ค่าสัมประสิทธิ์ไพโซอิเล็กทริกสูงสุดประมาณ 700 พิโคคูลอมบ์ต่อนิวตัน ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้ทำเป็นทรานสดิวเซอร์ (transducer) หรือ แอคชูเอเตอร์ (actuator)

สมบัติไดอิเล็กทริกในการใช้งานในช่วงความถี่ไมโครเวฟ⁽¹⁹⁾ ช่วงความถี่ 10^8 - 10^{12} เฮิร์ตซ์ เช่นใช้กับวงจรไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟ หรือในระบบการประมวลผลความเร็วสูง (computing high-speed system) สามารถใช้สารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตทำได้โดยการเติมเลดไททาเนตในช่วง 0.1-0.4 สัดส่วนโมล ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดที่อุณหภูมิคูรี เมื่อวัดที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ได้ค่าประมาณ 13,000-28,000 โดยค่านี้เพิ่มตามปริมาณของสารเลดไททาเนตที่เพิ่มขึ้น ในช่วงความถี่ไมโครเวฟที่ 10 กิกะเฮิร์ตซ์ เป็นค่าการใช้งานของวงจรเครื่องไมโครเวฟ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกนี้มีค่าลดลงอยู่ที่ประมาณ 2,000 และค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นถึง 100%

ถ้าใช้เลดแมกนีเซียมไนโอเบตเป็นตัวที่ใช้เติมในสารอื่นคือแบเรียมไททาเนต⁽²⁰⁾ สมบัติไดอิเล็กทริกที่ความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ของสารแบเรียมไททาเนตบริสุทธิ์มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดประมาณ 10,000 ที่อุณหภูมิคูรี 120 องศาเซลเซียส ผลไดอิเล็กทริกเมื่อเติมเลดแมกนีเซียมไนโอเบต 0-10% ลงในแบเรียมไททาเนต อุณหภูมิคูรีของวัสดุลดลงตามองค์ประกอบของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่ลดลงจาก 120 องศาเซลเซียสจนถึง -18 องศาเซลเซียส และที่ 5% เลดแมกนีเซียมไนโอเบตได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมากที่สุดประมาณ 15,000 อุณหภูมิคูรีลดลงมากที่สุดที่ -120 องศา

เซลเซียสเมื่อเติมเลดแมกนีเซียมในโอเบตในปริมาณ 40% และอุณหภูมิคูรีจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเลดแมกนีเซียมในโอเบตมากกว่า 40% ส่วนค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะมีค่าต่ำประมาณ 2,000 เมื่อปริมาณเลดแมกนีเซียมในโอเบตที่เติมในแบเรียมไททานตมากกว่า 80% ทั้งอุณหภูมิคูรีและค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่าใกล้เคียงกับสารเลดแมกนีเซียมในโอเบตมากที่สุดที่ 10 องศาเซลเซียส

จากการทดลองของรายการอ้างอิง⁽²⁰⁾ ได้สมบัติไดอิเล็กทริกของสารเลดแมกนีเซียมในโอเบตที่แตกต่างไปจากรายการอ้างอิงอื่นๆ คืออุณหภูมิคูรีมีค่าสูงกว่าศูนย์องศาเซลเซียส ซึ่งสมบัติไดอิเล็กทริกทั่วไปของสารเลดแมกนีเซียมในโอเบตจะอยู่ประมาณ -10 องศาเซลเซียสและไม่ได้ระบุเหตุผลที่แตกต่างจากรายการอ้างอิงอื่น อุณหภูมิคูรีของสารเลดแมกนีเซียมในโอเบตในรายการอ้างอิงนี้ยังไม่ชัดเจน

1.2 บิสมาทโซเดียมไททานต [BNT:(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO₃]

บิสมาทโซเดียมไททานตได้มีการสังเคราะห์ครั้งแรกโดยชาวโซเวียต Smolenskii⁽²¹⁾ สมบัติที่สำคัญของบิสมาทโซเดียมไททานตคือค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีช่วงการใช้งานกว้างประมาณ 250-380 องศาเซลเซียส ทั้งยังมีค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกต่ำในช่วงอุณหภูมินี้ และสารบิสมาทโซเดียมไททานตยังไม่มีการใช้ตะกั่วซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม การสังเคราะห์ยังไม่ยุ่งยากเท่าสารที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลักเพราะไม่มีการระเหยของตะกั่ว

1.2.1 ลักษณะโครงสร้าง

บิสมาทโซเดียมไททานตมีโครงสร้างเป็นเพอร์รอฟสไกต์เช่นเดียวกับเลดแมกนีเซียมในโอเบต มีสูตรทั่วไปเป็น (A'A'')BO₃ โดยมีอะตอมตำแหน่ง A ในโครงสร้าง

เป็นบิสมาท (Bi^{3+} , A') และโซเดียม (Na^+ , A'') อะตอมตำแหน่ง B เป็นอะตอมของไททานเนียม (Ti^{4+}) บิสมาทโซเดียมไททานเนตมีการแทนที่ของอะตอม 2 ชนิดในตำแหน่ง A ทำให้ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของบิสมาทโซเดียมไททานเนตมีค่าในช่วงกว้าง (รีแลคเซอร์) มีการเปลี่ยนแปลงเฟสทางไฟฟ้าอยู่ 2 ช่วง⁽²²⁻²⁴⁾ ช่วงแรกเป็นการเปลี่ยนเฟสทางไฟฟ้าจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นแอนไทเฟอร์โรอิเล็กทริกที่อุณหภูมิประมาณ 220 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนเฟสจากแอนไทเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกที่อุณหภูมิประมาณ 320 องศาเซลเซียสที่อุณหภูมินี้มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงที่สุดประมาณ 2,800⁽²⁵⁾ ซึ่งการเปลี่ยนเฟสทางไฟฟ้าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 220 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างเป็นรอมโบฮีดรอล ที่อุณหภูมิสูงกว่า 320 องศาเซลเซียส จะมีโครงสร้างเป็นเตตระโกนอล และเปลี่ยนเป็นโครงสร้างคิวบิกที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียสโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกราฟค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมipractical จากการตรวจสอบโครงสร้างทางเอกซเรย์ของ Seung-Eek Park⁽²⁶⁾ พบว่าบิสมาทโซเดียมไททานเนตมีโครงสร้างที่อุณหภูมิต่ำเป็นรอมโบฮีดรอล มีค่าคงที่แลตติสเป็น $a = 3.886$ อังสตรอม และมีมุมที่เกิดจากการเบี่ยงของโครงสร้าง (distortion, α) เป็น 89.6°

1.2.2 การนำไปใช้

Takenaka⁽²⁷⁾ มีความสนใจระบบวัสดุที่ปราศจากตะกั่วของบิสมาทโซเดียมไททานเนตเพื่อให้วัสดุมีสมบัติไพโซอิเล็กทริกที่ดีขึ้น โดยเติมแบเรียมไททานเนต (BaTiO_3) 6-7% ลงในสารบิสมาทโซเดียมไททานเนต ทำให้ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดของวัสดุประมาณ 1,600 ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส และได้สัมประสิทธิ์ไพโซอิเล็กทริกมากกว่า 50% วัดจากการใช้ความถี่เรโซแนนท์และความถี่แอนไทเรโซแนนท์ ซึ่งเหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุสำหรับไพโซอิเล็กทริกเซรามิก โดยเฉพาะงานที่ใช้กับความถี่สูง (high-frequency ultrasonic) หรือไพโซอิเล็กทริกแอคจูเอเตอร์

Kuharuangrong⁽²⁸⁾ ได้ปรับปรุงสมบัติไดอิเล็กทริกโดยนำมาเติมด้วย เลดไททาเนตทำให้ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเพิ่มมากขึ้นจากเดิมประมาณ 2,000 เป็น 5,000 ที่ 10% เลดไททาเนต โดยที่เลดไททาเนตจะเกิดเป็นสารละลายของแข็งกับบิสมีทไซเดียมไททาเนต เนื่องจากมีการแทนที่ของอะตอม 3 ชนิด คือ ตะกั่ว บิสมีท และไซเดียม ที่โครงสร้างตำแหน่ง A ทำให้ได้ค่าความต้านทานสูงขึ้น และมีช่วงการเปลี่ยนเฟสได้กว้างมากขึ้น

บิสมีทไซเดียมไททาเนตที่มีตะกั่วเป็นตัวเติมในปริมาณ 10% สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุไดอิเล็กทริกอุณหภูมิกว้างได้⁽²⁹⁾ โดยเพิ่มองค์ประกอบอะตอมของโพแทสเซียม และ แลนทานัม การเติมอะตอมโพแทสเซียมในปริมาณ 10% ทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าองค์ประกอบที่ไม่มีเติมโพแทสเซียม และได้อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสครั้งแรกที่ประมาณ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงอุณหภูมิจากเดิม ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดที่ประมาณ 4,500 สำหรับวัสดุบิสมีทไซเดียมไททาเนตเติมด้วย 10% เลดไททาเนต เมื่อนำมาเพิ่มองค์ประกอบของแลนทานัม 10% ได้ช่วงการเปลี่ยนเฟสที่กว้างขึ้นมาก และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำประมาณ 1,300 แต่ค่อนข้างคงที่ และค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกลดลง

1.3 วัตถุประสงค์และมูลเหตุจูงใจ

สารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตมีสมบัติทางไฟฟ้าในหลายๆด้านมีการใช้งานที่หลากหลาย แต่การสังเคราะห์ให้ได้เลดแมกนีเซียมไนโอเบตบริสุทธิ์ทำได้ยาก ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนการเตรียม วิธีการของ Swartz⁽⁵⁾ และ Shrout⁽⁶⁾ เป็นวิธีการที่สามารถลดการสูญเสียของตะกั่วได้มาก จากการผ่านโครงสร้างที่เป็นคอลัมไบท์ของแมกนีเซียมไนโอเบต $MgNb_2O_6$ ของการแคลไซต์ครั้งแรกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นยังไม่มีผู้ใดศึกษาอย่างจริงจัง การศึกษาถึงวิธีการเกิดเป็นแมกนีเซียมไนโอเบต $MgNb_2O_6$ จึงน่าจะช่วยในการเตรียมสังเคราะห์เลดแมกนีเซียมไนโอเบตได้ง่ายขึ้น

บิส്മัทโซเดียมไททาเนตเป็นสารที่มีจุดเด่นทางสมบัติไดอิเล็กทริกมาก เช่นเดียวกับเลดแมกนีเซียมไนโอเบต มีช่วงการเปลี่ยนเฟสที่กว้าง มีอุณหภูมิคูรี ประมาณ 320 องศาเซลเซียส แม้ว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำกว่าสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบต แต่เลดแมกนีเซียมไนโอเบตมีอุณหภูมิคูรีต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง (-10 องศาเซลเซียส) จึงไม่สามารถใช้สารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตอย่างเดี่ยวได้ การเติมเลดแมกนีเซียมไนโอเบตลงในบิส്മัทโซเดียมไททาเนตจึงน่าจะทำให้สมบัติไดอิเล็กทริกของบิส്മัทโซเดียมไททาเนตดีขึ้น และให้อุณหภูมิคูรีอยู่ในช่วงที่สามารถใช้งานได้