

บทที่ 1

บทนำ

แลงกาไซต์ ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$:LGS) ปลูกเป็นผลึกครั้งแรกในรัสเซีย ในปี ค.ศ.1980-1981 2 ปีหลังการปลูกผลึก $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ ครั้งแรก โครงสร้างของผลึก LGS ถูกเสนอโดย B.V. Mill, E.A. Belokoneva และคณะ ใน ค.ศ. 1980 ช่วงนั้นมีจุดประสงค์เพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดเลเซอร์โดยโด๊ปด้วย Nd แต่ภายหลังค้นพบว่าสภาพความไร้ระเบียบของ Ga, Si ในบริเวณใกล้ๆ กับตำแหน่งเตตระฮีดรอล ทำให้เกิดผลเสียต่อการควบคุมความถี่ (inhomogeneous boardening)

ในขณะเดียวกัน ก็มีการทดลองปลูกผลึกและหาค่าพารามิเตอร์ตั้งแต่ ค.ศ.1984 บ้างแล้ว แต่จนกระทั่งค้นพบว่ามีหน้าตัดที่ลดผลของอุณหภูมิ (Temperature Compensation) และมีความการสูญเสียต่ำในย่านคลื่นเสียงในทศวรรษ 90 ความพยายามที่จะปลูกผลึก LGS และที่ดัดแปลงจาก LGS เช่น LGN, LGT จึงขยายตัวขึ้นอย่างมากจนถึงปัจจุบัน การผลิตหลักยังอยู่ที่รัสเซีย แต่ได้ขยายตัวไปที่ญี่ปุ่น, ฝรั่งเศส และอเมริกา

แรงกระตุ้นความสนใจที่เกิดกับ LGS เป็นผลมาจากการพัฒนาระบบสื่อสารดิจิทัลมากขึ้น ซึ่งต้องการวัสดุตัวใหม่ที่มีสมบัติดีขึ้นกว่าเดิม คือ

1. มีสมบัติทางกายภาพที่ทำให้ความถี่มีเสถียรภาพในช่วงอุณหภูมิการใช้งาน
2. มีค่าพารามิเตอร์อื่นๆ เป็นไปตามความต้องการ เช่น มีค่าคัปปลิงทางกล-ไฟฟ้าสูง ($k \geq 30\%$) มีค่าการสูญเสียในย่านคลื่นเสียง (acoustic loss) น้อยหรือมีค่า Q สูง

3. ช่วยทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง

4. ปลูกเป็นผลึกขนาดใหญ่ได้ในราคาถูก เป็นเนื้อเดียวกันและไม่มีตำหนิ

วัสดุที่มีทางพาณิชย์ ในตอนนี้ทั้งรูปผลึกและเซรามิก คือ ควอตซ์, LiNbO_3 , LiTaO_3 ในขณะที่มีผลึกเพียโซอิเล็กทริกจำนวนมากมีค่า k^2 สูง ($k > 30\%$) แต่ไม่ใช่ทั้งหมดที่จะนำมาเป็นตัวกรองความถี่ (filter) ได้ เพราะเงื่อนไขที่มีทั้งหมดเป็นตัวกำหนด โดยเหตุผลหลักของสารทั้งสามนี้ที่มีการผลิตในการพาณิชย์ในตอนนี้คือเรื่องของราคา แต่ในแง่ของสมบัติอื่นๆ แล้ว ควอตซ์มีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิ มีการสูญเสียของคลื่นเสียงต่ำ แต่มีค่า k^2 ต่ำด้วย ทำให้มีความยุ่งยากในการทำเป็นแผงประกอบกัน ส่วน LiNbO_3 มีค่า k^2 สูง แต่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากเกินไป สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ TCF (Temperature Compensation of Frequency) = 0 เป็นผลมาจากโครงสร้างเฉพาะของผลึก ทำให้ช่วยลดผลกระทบจากอุณหภูมิ ระหว่างการขยายตัวกับความยืดหยุ่นในเชิงความยืดหยุ่น (elastic stiffness) เพื่อลดการเกิดคลื่น (elastic wave)

วัสดุที่อยู่ในข่ายความต้องการขณะนี้ นอกเหนือจากวัสดุที่มีอยู่เดิม ควอตซ์, LiNbO_3 , LiTaO_3 แล้ว ยังมี AlPO_4 (berlinite), GaPO_4 , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, LGS (และในตระกูล) ซึ่งต่างมีหน้าตัด TCF=0 แต่ AlPO_4 และ LiTaO_3 ปลูกเป็นผลึกขนาดใหญ่ได้ยาก และราคาสูง $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ละลายได้ในกรดหรือเบสแทบทุกชนิด (และเกิด deliquescent ในอากาศ) [1,2,3] LGS ซึ่งมีสมบัติอยู่

ระหว่างควอตซ์ กับ LiTaO_3 กลับได้รับความสนใจมากขึ้น จากรายงานจำนวนมากที่แสดงว่า LGS และสารในตระกูล เช่น LGN, LGT มีสมบัติที่เหมาะสมมากในการใช้งาน [4-7] คือ

1. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสจนถึงจุดหลอมเหลว
2. มีค่า k^2 ในระดับกลาง (สูงกว่าควอตซ์) แต่ค่าความต้านทาน ESR ต่ำกว่า
3. มี TCF ที่อันดับหนึ่งเป็น 0
4. มีค่า Q สูง ค่าการสูญเสียจากการดูดกลืน (attenuation) และจากการหักเหต่ำ
5. พารามิเตอร์มีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิ เวลา และมีความไวต่อพารามิเตอร์ของการทำงานต่ำ
6. ระดับการกระตุ้นเนื่องจาก BAW ต่ำ โดยอันตรกิริยาของ BAW (Bulk Acoustic Wave) กับ SAW (Surface Acoustic Wave) มีน้อยเมื่อเทียบกับ LiTaO_3
7. เป็นฐานรองที่ไม่เป็นไฟโรอิเล็กทริก

สมบัติดังกล่าวนี้กระตุ้นให้เกิดความสนใจอย่างมาก ที่จะพัฒนาให้เป็นผลทางพาณิชย์ เพราะนอกจากจะมีสมบัติตามความต้องการใช้งานแล้ว ยังหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ง่ายต่อการปลูกผลึกปริมาณมากพอสมควรด้วยวิธี CZ (Czochralski Technique) ที่มีความยุ่งยากน้อยกว่า ซึ่งจะเป็นเหตุผลที่ทำให้มีราคาถูกลงได้ การวิจัย พัฒนา LGS และสารในตระกูลที่มีขึ้นมาก จึงมุ่งไปยังเรื่องหลักๆ คือ

1. การปลูกผลึกทำให้มีขนาดใหญ่ มีคุณภาพดีและควบคุมได้ เช่น ปัญหาเรื่องของสัดส่วน stoichiometric ที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการปลูกกับก่อนการปลูก การเปลี่ยนสีที่เกี่ยวข้องกับ Rh, Pt และ O_2 , บรรยากาศของการปลูก ทิศทางการปลูก การเกิดจุดตำหนิต่างๆ รวมถึงการเกิดคู่ผลึก (electrical twin) ซึ่งจากเดิม(1993) เข้าใจว่าไม่มีลักษณะดังกล่าว การออกแบบเครื่องมือใหม่เพื่อแก้ไขคุณภาพผลึก เป็นต้น
2. การตรวจสอบสมบัติและค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพิ่มเติมอย่างระมัดระวังมากขึ้น เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง
3. การทดสอบในการใช้งานจริงในอุปกรณ์ SAW ,BAW ซึ่งมีรายงานเป็นจำนวนมาก รวมถึงการพยายามหาน้ำดัดมุมออยเลอร์ (ϕ, θ, ψ) ที่ดีที่สุดที่จะตอบสนองของเงื่อนไขที่ต้องการ เช่น ในกรณีของ [8] กำหนดช่วงขอบเขตของมุมที่ดีที่สุด นอกจากนั้นยังมีแนวทางในการใช้งานอื่นๆ เช่น Surface Transverse Wave (STW) การใช้เป็นเซนเซอร์ที่อุณหภูมิสูง, การศึกษาเป็น Piezoelectric Interfacial Wave (PIW) ซึ่งเป็น SAW อีกรูปแบบหนึ่ง การศึกษาผลจากน้ำหนักของขั้ว และสัมประสิทธิ์การสะท้อนของขั้วที่มีผลต่อความแม่นยำในการออกแบบ รวมทั้งการหาค่าพารามิเตอร์ในโหมด Lateral Field Excitation (LFE) ซึ่งให้ผลดีกว่า Thickness Field Excitation (TFE) โดยการคำนวณ เป็นต้น
4. การหาองค์ประกอบใหม่ เพื่อทดสอบและปรับปรุงสมบัติ เช่น การเติม Al, Ti แต่ที่น่าสนใจคือการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่เป็นไปได้ เพื่อค้นหาสารตัวใหม่ [9-12] พบว่า CNGS

($\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$), CTGS($\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$), SNGS ($\text{Sr}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$) และ STGS ($\text{Sr}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$) มีโครงสร้างภายในเป็นระเบียบทั้งหมด ปลูกได้ด้วยวิธี CZ และใช้ปริมาณ Ga ลดลง 40%

จะเห็นว่าจากการศึกษาวิจัย LGS ที่เป็นมาโดยตลอด มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ผลึกขนาดใหญ่ มีความสมบูรณ์ที่สุด เพื่อตอบสนองความต้องการที่วัสดุในปัจจุบันมีข้อจำกัดมากขึ้น ในอุปกรณ์การสื่อสาร การที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จำนวนหนึ่งเริ่มเข้าสู่ค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นเรื่อยๆ [13-15] เป็นผลจากกระบวนการปลูกผลึกมีความสมบูรณ์ถูกต้องมากขึ้น เมื่อเทียบกับครั้งแรกๆ (แต่ในบางส่วนก็ยังคงมีความแตกต่างกันอยู่ เช่น ค่าความยืดหยุ่นเพราะอุณหภูมิ) ซึ่งส่งผลให้การวิจัยทั้งในทางทฤษฎีซึ่งต้องอาศัยค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว และการทดลองเพื่อหาหน้าตัดผลึกสำหรับ SAW, BAW ย่อมมีความสอดคล้องกันมากขึ้น ยังไม่รวมถึงการวิจัยประยุกต์ใช้งานอย่างอื่น และการวิจัยสารชนิดใหม่ที่อยู่ในรูปโครงสร้างผลึก $\text{A}_3\text{BC}_3\text{D}_2\text{O}_{14}$ เดียวกันกับ LGS

แต่ในอีกแง่หนึ่ง ผลึก LGS ซึ่งเป็นผลึกไดอิเล็กตริก [16] เมื่อพิจารณาจาก ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก [15] คือ $\epsilon_{11}^T = \epsilon_{11}^S \approx 19.0$ และ $\epsilon_{33}^T = \epsilon_{33}^S \approx 50.4$ เมื่อเทียบกับเซรามิก จะถือได้ว่าเป็นสารไดอิเล็กตริกที่มีการนำมาใช้ได้ในลักษณะดังนี้ [17,18,19:p225,228-240]

1 ตัวเก็บประจุแบบที่ 1 (class I)(temperature compensating ceramic) โดยมี ϵ_r ระดับกลางในช่วง 15-100 หรือ 6-400 สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ(TC) จาก ± 30 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ ถึง ± 2500 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ แต่โดยทั่วไปกำหนดเป็น ± 30 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ ซึ่งก็มีการประยุกต์ใช้งานแตกต่างกันออกไปหลายทาง

2. ใช้เป็นเซรามิกคลื่นไมโครเวฟ หรือตัวส่งพลังงานไดอิเล็กตริก โดยที่

- 1) $30 < \epsilon_r < 100$ หรือ $20 < \epsilon_r < 90$ ซึ่งเป็นผลการพัฒนาในช่วงหลัง จากเดิมที่ควรมีค่า ϵ_r สูง
- 2) $Q > 100$
- 3) ควรมีค่า TCF = 0 หรือไม่มากเกินไป เพื่อป้องกันการเคลื่อนไหวสลับสน(drift)ของความถี่ ซึ่งเป็นผลจากอุณหภูมิ เช่น สารในระบบเฟสไดอะแกรมของ $\text{ZrO}_2\text{-TiO}_2$, SnO_2 (ZTS) มีแนวเส้นของส่วนผสมที่พบค่า TCF = 0

และในการใช้งานทั้งสองแบบ พบว่ามีกลุ่มของ $\text{BaO-PbO-Nd}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ หรืออยู่ในรูปแบบ $(\text{BaPb})\text{Nd}_2\text{Ti}_5\text{O}_{14}$ มีการนำมาใช้งานทั้งสองแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับ LGS- $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ในรูป $\text{A}_3\text{BC}_3\text{D}_2\text{O}_{14}$ โดยอาศัยองค์ประกอบหรือธาตุที่จะแทนในตำแหน่งต่างๆ ได้ [9-12] จะพบว่าสารประกอบดังกล่าว อยู่ในรูปแบบ $(\text{BaPbNd})\text{NdTi}_3\text{Ti}_2\text{O}_{14}$ เช่นเดียวกับ LGS ดังนั้นโดยเบื้องต้น LGS จึงมีแนวโน้มในการประยุกต์ ใช้งานเป็นไดอิเล็กตริกโรเนเตอร์ได้พอสมควร แต่นอกเหนือจากนั้น ผลึก LGS ยังมี TCF=0 เพียงแต่ยังไม่มีผลสำรวจวิจัยในระบบเซรามิกของ $\text{La}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-SiO}_3$ ซึ่งข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดคือลดความยุ่งยากจากกระบวนการปลูกผลึก ดังนั้นเพื่อเริ่มต้นสู่การศึกษาด้านเซรามิกในงานวิจัยนี้จึงยังต้องมุ่งไปที่ข้อมูลพื้นฐานเฉพาะ LGS ซึ่งเป็นตัวพื้นฐานของ LGN, LGT และสารในตระกูล โดยมีจุดประสงค์เพื่อ

1. หาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อกระบวนการเตรียมเซรามิกแสงกาไซต์
2. ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางไดอิเล็กตริกของเซรามิกแสงกาไซต์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University