

การปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณแสงโดยใช้ลิเทียมไนโอเบต



นางสาว ชีรนนท์

สุรเสียงสังข์

นาย สมชาย

ทรงศิริเดช

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...43940
วัน, เดือน, ปี...18 ต.ค. 2545

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

Frequency Converter Using LiNbO_3



Miss Theeranan

Surasiengsung

Mr. Somchai

Songsiridej

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science**

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ โครงการพิเศษ

การปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณแสงโดยใช้เลเซอร์ในโอบิต

โดย

น.ส. ชีรนนท์

สุรเสียงสังข์

นาย สมชาย

ทรงศิริเดช

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ปรีชา

ยุพาพิน

อาจารย์ สาหรัย

คุณิพงษ์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชา

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ยุพาพิน)

ประธานกรรมการ

ภทรีธา กิตติเดชาชาญ

(อาจารย์ ภทรีธา กิตติเดชาชาญ)

กรรมการ

ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์

(อาจารย์ ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์)

กรรมการ

(อาจารย์ สุรศักดิ์ พิพัฒน์ศาสตร์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะ วิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณแสงโดยใช้ลิเทียมไนโอเบต	
โดย	นางสาว ธีรนนท์	สุรเสียงสังข์
	นาย สมชาย	ทรงศิริเดช
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. ปรีชา	ยุพาพิน
	อาจารย์ สาหรัย	คุณิพงษ์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	
ปีการศึกษา	2544	



โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณแสงโดยใช้ลิเทียมไนโอเบตเป็นตัวกลางภายนอก เพื่อทำการมอดูเลตสัญญาณแสงก่อนส่งสัญญาณแสงเข้าไปยังเส้นใยแก้วนำแสง โดยอาศัยหลักการมอดูเลตแสงด้วยวิธีการเฟสมอดูเลต ซึ่งจะทำการปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณแสงได้ประมาณ 1 GHz หรือมากกว่านั้น

Special Project Title	Frequency Converter Using LiNbO ₃	
Name	Miss Theeranan	Surasiengsung
	Mr. Somchai	Songsiridej
Special Project Advisor	Assoc.Prof. Dr. Preecha Yupapin	
	Mrs. Sarai	Kuneepong
Department	Applied Physics	
Academic Year	2001	



Abstract

This special project has a target for studying frequency converter by LiNbO₃ that is an external for modulate light signal before sending light signal into fiber optic by using the principle modulate light signal with phase modulation that frequency converter about 1 GHz or more.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากการสนับสนุน ช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ยูพาพิน ผู้ถ่ายทอดวิชาความรู้ทั้งด้าน วิชาการและให้คำปรึกษาในการทำงานเป็นอย่างดีมาตลอดจนโครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี และอาจารย์ สาหรัย คุณิพงษ์ ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษา ในการโครงการพิเศษนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ อาจารย์ อนุพงศ์ สรงประภา ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องวิเคราะห์ห้อมพีแดนซ์(RF Impedance Analyzer) HP รุ่น 4191A พร้อมทั้งให้คำแนะนำทางด้านการใช้เครื่องมือและคำแนะนำ ด้านอื่นๆ อาจารย์ วิสุทธิ์ อภิพรธรรม หัวหน้าภาควิชา วิศวกรรม วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้ยืมเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (Function Generator) Farnell รุ่น PSG 1000

ขอขอบคุณ คุณสืบตระกูล สุชาติ ที่ให้ยืมผลึกกึ่งตัวนำในโอเบตและให้คำแนะนำปรึกษา ทุกๆ ด้านในการทำโครงการพิเศษนี้ และขอบคุณ คุณอภิชาติ สังข์ทอง เป็นอย่างสูงที่ให้ความ กรุณาทำขั้วอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำเนิด เลี้ยงดู สั่งสอนและสนับสนุน ข้าพเจ้าเป็นอย่างดี เสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้การกำลังใจมาตลอด และบุคคลอีกหลายท่านที่มี ได้กล่าวถึง ซึ่งขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ. ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

น.ส. ชีรนนท์ สุรเสียงสังข์

นาย สมชาย ทรงศิริเดช

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.3 การดำเนินงานโครงการพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการพิเศษ	2
บทที่ 2 หลักการพื้นฐาน	3
2.1 คุณสมบัติของผลึกลิเทียมไนโอเบต	3
2.1.1 สมบัติทางแสงและค่าของความไม่เป็นเชิงเส้นทางแสง	5
2.1.2 การประยุกต์ใช้งานเป็น Q-Switch	6
2.1.3 อุปกรณ์เซอร์เฟสอะคูสติกเวฟ	7
2.1.4 สมบัติทั่วไปของลิเทียมไนโอเบตแบบ เซอร์เฟสอะคูสติกเวฟ เวเฟอร์	8
2.1.5 ฐานรองของท่อนำแสง	8
2.2 สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์	9
2.2.1 ปรากฎการณัฟอกเคลสต์	9
2.3 การมอดูเลตภายนอก	15
2.3.1 มอดูเลตแบบอิเล็กทรอนิกส์	15
2.3.1.1 หลักการมอดูเลตเฟสของแสงด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์	16
2.3.1.2 รีทาร์เดชัน	16
2.3.1.3 หลักการมอดูเลตความเข้มแสงด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์	18
2.3.1.4 หลักการเบี่ยงเบนแสงด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์	20
2.3.2 มอดูเลตแบบอะคูสติก	21
บทที่ 3 การออกแบบระบบการมอดูเลตสัญญาณแสงภายนอกโดยใช้ลิเทียมไนโอเบต	23
3.1 การปลูกผลึกซั้วอิเล็กทรอนิกส์	23
3.1.1 หลักการเตรียมปลูกผลึกซั้วอิเล็กทรอนิกส์โดยระบบระเหยสารด้วยความร้อนในสูญญากาศ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

3.1.2	การปลูกผลึกซ์ว็เล็ก โทรด	24
3.1.3	การวัดความหนาของฟิล์มบางในสูญญากาศ	25
3.2	การมอดูเลตภายนอกโดยใช้ผลึกลิเทียมไนโอเบต	25
3.2.1	การจัดวางอุปกรณ์	26
3.2.2	การคำนวณหาลักษณะเฉพาะของผลึกลิเทียมไนโอเบต ที่ใช้เป็นตัวกลางภายนอก	26
บทที่ 4	การทดสอบการปรับความถี่สัญญาณแสงโดยใช้ลิเทียมไนโอเบต	28
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับความเข้มแสงเอาต์พุต	28
4.1.1	อุปกรณ์การทดสอบ	28
4.1.2	การจัดวางอุปกรณ์	29
4.1.3	วิธีการทดลอง	29
4.1.4	ผลการทดลอง	31
4.2	คำนวณลักษณะเฉพาะของผลึกลิเทียมไนโอเบตที่ใช้เป็นตัวกลางภายนอก	34
4.3	การเปลี่ยนเฟสของลิเทียมไนโอเบต	35
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	38
5.1	สรุปผลการทดลอง	38
5.2	วิจารณ์ผลการทดลอง	39
5.3	แนวทางการพัฒนา	40
5.4	การประยุกต์ใช้งาน	40
ประวัติผู้จัดทำ		41
เอกสารอ้างอิง		42

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ดัชนีหักเหแสงรูปทรงรี	10
รูปที่ 2.2 ลักษณะของดัชนีหักเหแสงรูปวงรีของผลึกชนิด $\bar{4}2$ m การป้อนสนามไฟฟ้า กระทำในทิศทางแกน z เส้นทึบและเส้นไขว้ปลาแสดงกรณีก่อนและหลังการป้อนสนามไฟฟ้า	14
รูปที่ 2.3 แสดงกราฟสวิตชิงของการมอดูเลตภายนอกเปรียบเทียบระหว่างแสงเอาท์พุทกับแรงดัน	15
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์มอดูเลตเฟสของแสงโดยใช้ผลึกชนิด $\bar{4}2$ m	18
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์มอดูเลตความเข้มของแสงด้วยวิธีอิเล็กโตรออปติก	18
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงเอาท์พุทและรีทาร์เดชัน	19
รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของสิ่งประดิษฐ์เบี่ยงเบนแสง (EOD) ด้วยวิธีอิเล็กโตรออปติก	20
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง-เสียง	21
รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณไฟฟ้ากับอะคูสติกและสเปกตรัมของสัญญาณที่จับ	21
รูปที่ 2.10 แสดงการมอดูเลตด้วยอะคูสติก	22
รูปที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายระบบระเหยสารด้วยความร้อนในสูญญากาศ	23
รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมการวางตำแหน่งอุปกรณ์ภายในครอบแก้ว	24
รูปที่ 3.3 การปลูกผลึกซัลไฟด์โพแทสเซียมด้วยวิธีโซล-เจล	24
รูปที่ 3.4 การจัดวางอุปกรณ์การมอดูเลตภายนอก	26
รูปที่ 4.1 แผนภาพวงจรการทดลองการปรับเปลี่ยนความถี่แสงโดยใช้ลิเทียมไนโอเบต	29
รูปที่ 4.2 ออกแบบการปลูกผลึกซัลไฟด์โพแทสเซียมบนผลึกลิเทียมไนโอเบต	29
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุทกับความเข้มแสง	32
รูปที่ 4.4 การจัดวางอุปกรณ์การมอดูเลตภายนอก	33
รูปที่ 4.5 ภาพแสดงทิศทางการยิงแสงเลเซอร์เข้าสู่ผลึกลิเทียมไนโอเบต	33
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเฟสที่เปลี่ยนไป	36
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณจากสเปกตรัมอะนาไลเซอร์	37
รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณจากสเปกตรัมอะนาไลเซอร์เมื่อให้ความถี่ 1 GHz แรงดันเท่ากับ 1.26 โวลต์	37

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของผลึกลิเทียมไนโอเบต	3
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงสมบัติทางแสงและค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของแสง	5
ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของลิเทียมไนโอเบตที่นำมาทำเป็น คิวสวิตช์	6
ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะอุปกรณ์เซอร์เฟสอะคูสติกเวฟ	7
ตารางที่ 2.5 แสดงสมบัติทั่วไปของลิเทียมไนโอเบตแบบ เซอร์เฟสอะคูสติกเวฟ เวเฟอร์	8
ตารางที่ 2.6 แสดงสมบัติของลิเทียมไนโอเบตที่ใช้เป็นฐานรองของท่อนำแสง	8
ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์อเล็กโตรอปติก γ ของผลึกชนิดต่างๆ	12
ตารางที่ 2.8 ลักษณะความสมมาตรต่างๆ ของผลึกและค่าคงตัวต่างๆ ในปรากฏการณ์พอกเคิลส์	13
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการปรับเปลี่ยนความถี่แสงโดยใช้ลิเทียมไนโอเบต	31
ตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนเฟสแสงของลิเทียมไนโอเบต	35

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ วิธีและขั้นตอนการทำโครงการพิเศษ ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย ซึ่งจะกล่าวเรียงตามลำดับเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

เมื่อไม่นานมานี้มีการนำสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ทางด้านการสื่อสารระยะทางไกลผ่านเส้นใยแก้วนำแสงอย่างแพร่หลาย เช่น อุปกรณ์รวมแสง (Integrated Optic Device) ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มักจะต้องมี แบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่กว้างและมีการกระเจิง (Dispersion) ทางแสงน้อยและยังทำงานที่ความเร็วสูงได้ด้วย ซึ่งในปัจจุบันนี้เรานิยมใช้ ลิเทียมไนโอเบต (LiNbO_3) มาใช้กับงานทางด้านนี้ เราสามารถนำลิเทียมไนโอเบตมาใช้เป็น สวิตช์มอดูเลเตอร์ (switch modulator), การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (wavelength-division multiplexer) เป็นต้น

การศึกษากการปรับความถี่ (Frequency converter) เพื่อที่จะนำไปใช้กับงานทางด้านการสื่อสาร ซึ่งทำให้ข้อมูลนั้นส่งไปได้ระยะทางที่ไกลขึ้น เนื่องจากที่ความถี่สูงสัญญาณจะถูกรบกวนได้ยากกว่าสัญญาณที่ความถี่ต่ำ และการปรับความถี่ทางแสงนั้นสามารถกระทำได้โดยอาศัยวิธีการมอดูเลตแสง ซึ่งไม่สามารถที่จะมอดูเลตแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงได้ ดังนั้นเราจึงต้องมอดูเลตที่ภายนอกเส้นใยแก้วนำแสง โดยอาศัยตัวกลางภายนอก ในที่นี้ใช้ ผลึกลิเทียมไนโอเบตมาทำการมอดูเลตสัญญาณเข้าไปในแสงเพื่อทำให้ความถี่นั้นเปลี่ยนแปลงไป

เนื่องจากว่า ผลึกลิเทียมไนโอเบตนี้สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิต่างๆได้ด้วยการใช้แรงดันในการควบคุมน้อยมาก (very low bias voltage) และยังสามารถมอดูเลตแบบความเร็วสูง (high speed modulator) ในระดับกิกะเฮิรตซ์ (GHz) สามารถมอดูเลตได้ทั้งแบบ แอมพลิจูด (Amplitude), เฟส (Phase) และ โพลาไรเซชัน (Polarization) แต่ที่ในที่นี่จะทำการปรับความถี่ของสัญญาณจึงใช้การมอดูเลตแอมพลิจูด (Amplitude modulation) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ามอดูเลตความเข้มแสงในการทำโครงการพิเศษนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- 1) เพื่อศึกษาการปรับความถี่โดยใช้ผลึกลิเทียมไนโอเบตอย่างง่าย
- 2) เพื่อปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคการมอดูเลตความเข้มของแสง โดยใช้ผลึกลิเทียมไนโอเบต
- 3) เพื่อนำไปประยุกต์ในการสื่อสารทางแสงในรูปแบบต่างๆ เช่นการนำผลึกลิเทียมไนโอเบตไปใช้เป็น มัลติเพลกเซอร์ ,สวิตซ์แสง เป็นต้น

1.3 การดำเนินงานโครงการพิเศษ

- 1.3.1 ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับพื้นฐานทางแสง เส้นใยแก้วนำแสง การมอดูเลตสัญญาณแสง และผลึกลิเทียมไนโอเบต
- 1.3.2 ศึกษาวิธีการปรับความถี่โดยใช้ผลึกลิเทียมไนโอเบตเป็นตัวกลางภายนอก เพื่อทำการมอดูเลตสัญญาณแสงก่อนส่งเข้าไปยังเส้นใยแก้วนำแสง
- 1.3.3 ศึกษาและออกแบบอิเล็กโทรด(electrode) ที่จะเคลือบ(coat)ลงบนผลึกลิเทียมไนโอเบต
- 1.3.4 ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์การทดลองเพื่อทำการมอดูเลตภายนอกโดยใช้ผลึกลิเทียมไนโอเบต
- 1.3.5 ศึกษาและทดลองปรับความถี่โดยใช้สัญญาณคลื่นพาห้และความต่างศักย์กระแสตรงให้กับวงจรทดลอง
- 1.3.6 สรุปผลและอภิปรายผลการทดลองได้

1.4 ประโยชน์ที่จะได้จากโครงการพิเศษ

ผลที่ได้จากโครงการพิเศษนี้คือทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของลิเทียมไนโอเบตและเทคนิคการมอดูเลตเฟสแสง และสามารถที่จะนำผลึกลิเทียมไนโอเบตไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการสื่อสารทางแสงแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะช่วยลดขนาดของอุปกรณ์

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน

โครงการพิเศษเรื่องการปรับความถี่โดยใช้ลิเทียมไนโอเบตนี้ เราจำเป็นต้องศึกษาเรื่องคุณสมบัติของผลึกลิเทียมไนโอเบตและการมอดูเลตทางแสงแบบต่างๆ ก่อนเพื่อที่จะเข้าใจกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

2.1 คุณสมบัติของผลึกลิเทียมไนโอเบต

ผลึกลิเทียมไนโอเบตเป็นผลึกที่มีสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น และในการสื่อสารทางแสงปัจจุบันนิยมใช้ผลึกลิเทียมไนโอเบตในการมอดูเลตสัญญาณแสงเข้ากับสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยวิธีต่างๆ เช่น วิธีการมอดูเลตแบบอะคูสติกไดโอดิก หรือ อิเล็กโตรออปติก ซึ่งผลึกลิเทียมไนโอเบตนี้สามารถนำมาใช้เป็น เซอเฟสอะคูสติกเวฟ (Surface Acoustic Wave : SAW), ท่อนำแสง, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไดโอดิกมอดูเลเตอร์ และ คิวสวิตช์ (Q – Switch) และมักจะนำมาใช้งานเป็น อุปกรณ์เพิ่มความถี่แบบทวีคูณ (frequency doublers) สำหรับความยาวคลื่นที่มากกว่า 1 ไมโครเมตร และ ออปติคอลลพารามตริกออสซิลเลเตอร์ (optical parametric oscillators : OPOs) จะมีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของผลึกลิเทียมไนโอเบต

โครงสร้างของผลึก (Crystal Structure)	ทรงสามเหลี่ยม, space group R_{3c} , Point group 3m
แลตทิส พารามิเตอร์ (lattice parameters)	$a=5.148\text{\AA}$, $c=13.863\text{\AA}$
ความหนาแน่น (Density)	4.64 g/cm^3
จุดหลอมเหลว (Melting Point)	$1250 \text{ }^\circ\text{C}$
อุณหภูมิ คิวรี (Curie Temperature)	$1140 \text{ }^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็ง (Hardness)	5 Mohs
ค่าคงที่ ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant)	$\epsilon_{11}/\epsilon_0 = 85;$ $\epsilon_{33}/\epsilon_0 = 29.5$
สัมประสิทธิ์ การดูดกลืน (Absorption Coefficient)	$\sim 0.1\%/cm @1064 \text{ nm}$
เทอร์มอล คอนดักติวิตี (Thermal Conductivity)	$38 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ที่ 25°C
เทอร์มอล เอกแพนชัน โคลเอฟฟิเชียน (Thermal Expansion Coefficient)	$\alpha_1 = \alpha_2 = 2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C},$ $\alpha_3 = 2.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ที่ 25°C
ค่าคงที่ เพียโซอิเล็กทริก สเตรน (Piezoelectric Strain Constant)	$d_{22} = 2.04 \times 10^{-11} \text{ C/N},$ $d_{33} = 19.22 \times 10^{-11} \text{ C/N}$
ค่าคงที่ อีลาสติก สตรีฟเนส (Elastic Stiffness Constant)	$C_{11}^E = 2.04 \times 10^{11} \text{ N/m}^2,$ $C_{33}^E = 2.46 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
อัตราส่วน เอกทินชัน (Extinction ratios)	1000:1 (optical crystal)
ไบร์ฟริงเจนซ์ เกรเดียนท์ (Birefringence gradient)	10^{-5} cm^{-1} (optical crystal)
ความสามารถในการละลาย (solubility)	ไม่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 สมบัติทางแสงและค่าของความไม่เป็นเชิงเส้นทางแสง

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงสมบัติทางแสงและค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของแสง

ช่วงที่แสงส่องผ่าน (Transparency Region)	420 ~ 5200 nm		
สมการ Sellmeier (λ ในหน่วย ไมโครเมตร) (Sellmeier Equations)	$n_o^2 = 4.9048 + 0.11768/(\lambda^2 - 0.0475) - 0.027169\lambda^2$ $n_e^2 = 4.5820 + 0.099169/(\lambda^2 - 0.04443) - 0.02195\lambda^2$		
ออปติคอลล โสมอีนิตี (Optical Homogeneity)	$\Delta n \sim 5 \times 10^{-5} / \text{cm}^2$		
สัมประสิทธิ์ความไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Coefficients)	$d_{33} = 34.4 \text{ pm/V}$ $d_{31} = d_{15} = 5.95 \text{ pm/V}$ $d_{22} = 3.07 \text{ pm/V}$		
สำหรับ ตัวทวีคูณความถี่แบบกำลังสูง (high power frequency doubling (SHG)) ที่ 1300nm	$d_{\text{eff}} = 5.7 \text{ pm/V}$ หรือ $\sim 14.6 \times d_{36}$ (KDP)		
สำหรับ ออปติคอลลพารามตริกออสซิลเลเตอร์ (optical parametric oscillator (OPO)) ที่ 1064 nm	$d_{\text{eff}} = 5.5 \text{ pm/V}$ หรือ $\sim 13.6 \times d_{36}$ (KDP)		
สำหรับ โครงสร้างแบบ ควอไซน์เฟส (quasi-phase-matched structure (QPM))	$d_{\text{eff}} = 17.6 \text{ pm/V}$ หรือ $\sim 14.6 \times d_{36}$ (KDP)		
ดัชนีหักเห (Refractive Indexes)	n_o	n_e	
	2.220	2.146	ที่ 1300 nm
	2.322	2.156	ที่ 1064 nm
	2.286	2.203	ที่ 632.8 nm
สัมประสิทธิ์อิเล็กโตรออปติก (pm/V) (Electro-optic Coefficients)		ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง
	γ_{33}	32	31
	γ_{31}	10	8.6
	γ_{22}	6.8	3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันครั้งคลื่น , ไฟฟ้ากระแสตรง	
สนามไฟฟ้า z, แสง \perp z:	3.03 KV
สนามไฟฟ้า x หรือ y, แสง z:	4.02 KV
ขีดเริ่มของการพังทลาย (Damage Threshold)	$> 250 \text{ KW/cm}^2$ ที่ 1064 nm (10 ns)

2.1.2 การประยุกต์ใช้งานเป็นควิวิตซ์ (Q - Switch)

ผลึกลิเทียมไนโอเบตมักจะนำมาใช้งานเป็นอิเล็คโตรออปติกมอดูเลเตอร์ หรือ Q-switch สำหรับ Nd:YAG, Nd:YLF และ Ti:Sapphire เลเซอร์ใกล้เคียงกับที่ใช้กับเส้นใยแก้วนำแสง และถ้าผลึกลิเทียมไนโอเบตถูกใช้งานเป็น ผลึก Q-Switch จะนำแสงเข้าทางแกน z และให้สนามไฟฟ้าในแกน x , ค่ารีเฟรคทีฟ รีทาร์เดชัน (refractive retardation) จะเป็น $\Gamma = \pi L n_o^3 \gamma_{22} V / \lambda d$.
MgO:LiNbO₃ และ ZnO:LiNbO₃ ผลึกจะมีคุณสมบัติของอิเล็คโตรออปติกของลิเทียมไนโอเบตแต่มีความทนทานสูง สมบัติของลิเทียมไนโอเบตที่นำมาทำเป็น Q-switch เป็นตามตารางดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของลิเทียมไนโอเบตที่นำมาทำเป็น ควิวิตซ์

ไคเมนชัน ทอเลอแรนซ์ (Dimension Tolerance)	X & Y-axis: $\pm 0.1\text{mm}$; Z-axis: $\pm 0.3\text{mm}$
เวฟฟรอนต์ ดิสทอร์ชัน (Wavefront Distortion)	$< \lambda/4$ ที่ 633nm
โอเรียนเตชัน แอควิวเรซี (Orientation Accuracy)	X & Y-axis: $< 10'$; Z-axis: $< 5'$
ความเรียบ (Flatness)	$\lambda/8$ ที่ 632.8nm
ขนาน (Parallelism)	ดีกว่า 20 arc sec.
ตั้งฉาก (Perpendicularity)	5 arc min.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สแกรช/ดิก โคด (Scratch/Dig Code)	10/5 per MIL-O-13830A
แชมเฟอร์ (Chamfer)	< 0.5 mm ที่ $45^\circ \pm 5^\circ$
เคลือบด้วย อาร์กอน (AR-Coating)	R < 0.2% @ 1064 nm
ขั้วอิเล็กโทรด (Electrodes)	ขั้วทองหรือโครเมียมบนระนาบ x
อัตราส่วน เอกทินชัน (Extinction ratios)	> 400:1 @ 633 nm สำหรับ ลำแสงที่โฟกัสเป็น f6mm
เคลียร์ อเพอร์เจอร์ (Clear aperture)	สูงกว่า 90% central diameter
แองเกิล โทเลอแรนซ์ (Angle tolerance)	$\Delta\theta < 0.5^\circ$ $\Delta\phi < 0.5^\circ$

2.1.3 อุปกรณ์เซอร์เฟซอะคูสติกเวฟ (Surface Acoustic Wave (SAW))

ผลึกลิเทียมไนโอเบตนี้ถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์อะคูสติกโอดอปติกแบบเซอร์เฟซอะคูสติกเวฟ (surface acoustic wave (SAW)) เช่น ฟิลเตอร์, ออสซิลเลเตอร์ และ เรโซเนเตอร์ และอัตราไว้นิคทรานสดิวเซอร์ เนื่องจากมีการตอบสนองต่อแรงดันไฟฟ้าได้ดี สูญเสียการส่งผ่านอะคูสติกต่ำ และมีเสถียรภาพในทางกายภาพและทางเคมี สมบัติพื้นฐานของผลึกลิเทียมไนโอเบตที่เป็น SAW เป็นดังตารางนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะอุปกรณ์เซอร์เฟซอะคูสติกเวฟ

เรียงตัวแบบทั่วไป (Typical Orientation)	<ol style="list-style-type: none"> 1) 127.86° Y-cut, 2) 64° Y-cut, 3) 47.5° Y-cut, 4) Y – cut 5) X - cut 6) Z-cut
--	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โบว์ (Bow)	< 20 μm
---------------	--------------------

2.1.4 สมบัติทั่วไปของลิเทียมไนโอเบตแบบ เซอร์เฟสอะคูสติกเวฟ เวเฟอร์

ตารางที่ 2.5 แสดงสมบัติทั่วไปของลิเทียมไนโอเบตแบบ เซอร์เฟสอะคูสติกเวฟ เวเฟอร์

การจัดเรียงตัว (Orientation)	127.86° Y-cut	Y-cut
ความเร็ว ซอว์ (SAW Velocity)	3970 m/s	3485 m/s
อิเล็กโตรแมกเนติกคอลลัมน์ คัปปลิง แฟกเตอร์ (Electromechanical Coupling Factor)	$K_s^2=5.5\%$	$K_s^2=4.3\%$
สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของการหน่วง (Temperature Coeff. of Delay (TCD))	$78 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$95 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความเร็ว (Temperature Coeff. of Velocity (TCV))	$-60 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$-80 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

2.1.5 ฐานรองของท่อนำแสง

ผลึกลิเทียมไนโอเบตก็นิยมนำมาใช้เป็นฐานรองสำหรับ ท่อนำแสงแบบอิเล็กโตรออปติก ซึ่งมีสมบัติเป็นดังตารางนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงสมบัติของลิเทียมไนโอเบตที่ใช้เป็นฐานรองของท่อนำแสง

โอเรียนเตชัน ทอเรอเรนซ์ (Orientation Tolerance)	< 10'
--	-------

2.2 สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์โทรออปติก (electro-optic devices)

สิ่งประดิษฐ์ที่มอดูเลตแสงด้วยปรากฏการณ์อิเล็กทรอนิกส์โทรออปติก โดยเริ่มแรกจะอธิบายคุณสมบัติพื้นฐานทางแสงบางอย่างของวัสดุ เช่น ดัชนีหักเหของแสง ต่อจากนั้นจะวิเคราะห์ว่าจะสามารถนำคุณสมบัติเหล่านั้นไปใช้ทำการมอดูเลตแสงได้อย่างไร

ปรากฏการณ์ทางแสงไม่เชิงเส้นชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นกับผลึกบางชนิดเมื่อถูกไบอัสด้วยสนามไฟฟ้า คือการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหของแสงโดยที่

1. ถ้าดัชนีหักเหของแสงแปรผันตรงกับสนามไฟฟ้าแบบยกกำลังหนึ่ง

เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์อิเล็กทรอนิกส์โทรออปติกอันดับที่หนึ่ง (first-order of electro-optic effect) หรือปรากฏการณ์พอกเคลส์ (Pockels effect) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในวัสดุที่มีโครงสร้างของผลึกที่ไม่มีความสมมาตร (anisotropy crystal) เช่น ผลึกชนิด KDP, ADP, LiNbO₃, LiTaO₃, GaAs, และ CdTe และอื่นๆอีก

2. ถ้าดัชนีหักเหแสงแปรผันตรงกับสนามไฟฟ้ายกกำลังสอง

เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์อิเล็กทรอนิกส์โทรออปติกอันดับที่สอง (second-order of electro-optic effect) หรือปรากฏการณ์เคอร์ (Kerr effect)

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในผลึกต่างๆไปและเห็นได้ชัด เช่น ผลึกชนิด KTN, SrTiO₃, CS₂ และ Nitrobenzene ฯลฯ เป็นต้น

รายละเอียดเกี่ยวกับปรากฏการณ์อิเล็กทรอนิกส์โทรออปติกอันดับที่สอง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ชนิดไม่เชิงเส้นจะกล่าวถึง ซึ่งจะกล่าวถึงเฉพาะปรากฏการณ์ อิเล็กทรอนิกส์โทรออปติกอันดับที่หนึ่ง

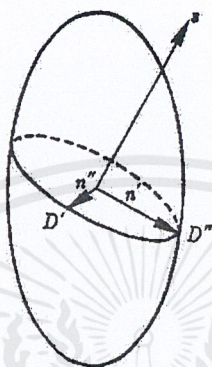
2.2.1 ปรากฏการณ์พอกเคลส์ (Pockels Effect)

ก่อนที่จะกล่าวถึงปรากฏการณ์นี้ เรามองมาทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติทางแสงของวัสดุกันเล็กน้อย โดยทั่วไปในผลึก ค่าดัชนีหักเหแสง (refractive index) จะแตกต่างกันไปตามทิศทางของแสงที่เดินทางในผลึก เราเรียกคุณสมบัติเช่นนี้ว่าเกิดค่าดัชนีหักเหแสงสองแนว (birefringence) จากหลักการในวิชาฟิสิกส์ของแสง สภาพการเปลี่ยนแปลงของดัชนีตามแสงนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยปริภูมิปริมาตรทรงรี (Index ellipsoid) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 สมการทางพีชคณิตที่แสดงรูปปริมาตรทรงรีคือ

$$B_{10}x^2 + B_{20}y^2 + B_{30}z^2 = 1 \quad (2.1)$$

โดยที่ $B_{10} = \frac{1}{n_x^2}, B_{20} = \frac{1}{n_y^2}, B_{30} = \frac{1}{n_z^2}$ และ

n_x, n_y, n_z คือดัชนีหักเหแสงในทิศ x, y, z ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 ดัชนีหักเหแสงรูปทรงรี

ความจริงแล้วสมการที่ (2.1) จะถูกต้องครบถ้วนดีขึ้นถ้ามีพจน์ xy, yz, zx เพิ่มเข้าไปด้วย ดังนั้นต่อไปนี้ตัวเลขห้อย B ถ้าเป็น 1,2,3,4,5,6 จะหมายถึง ค่าต่างๆ ของ B ในพิกัดของ x, y, z, yz, zx และ xy ตามลำดับ

การแบ่งชนิดของผลึกออกตามคุณสมบัติของค่าดัชนีหักเหแสง สามารถจำแนกได้เป็น ผลึกชนิด ไอโซทรอปี (isotropy) ผลึกชนิดยูนิแอกเซียล (uniaxial) และผลึกชนิดไบแอกเซียล (biaxial) โดยมีนิยามดังนี้

- 1) ผลึกชนิด ไอโซทรอปี (isotropy crystal) คือดัชนีหักเหแสงที่มีความสัมพันธ์ว่า

$$n_x = n_y = n_z$$

และทำให้ปริภูมิดัชนีหักเหแสงที่เดิมมีรูปเป็นปริมาตรทรงรี (index ellipsoid) มีรูปกลายเป็นทรงกลม

- 2) ผลึกชนิดยูนิแอกเซียล หรือ ผลึกชนิดแกนเดี่ยว (uniaxial crystal) คือผลึกที่มีดัชนีหักเหแสงที่มีความสัมพันธ์ว่า

$$n_x = n_y \neq n_z$$

- 3) ผลึกชนิดไบแอกเซียล หรือ ผลึกชนิดแกนคู่ (biaxial crystal) คือผลึกที่มีดัชนีหักเหแสงที่มีความสัมพันธ์ว่า

$$n_x \neq n_y \neq n_z$$

ขอให้พิจารณากรณีที่แสงเดินทางในทิศทาง S เข้าไปในผลึกที่ไม่มีศูนย์กลางความสมมาตร (anisotropy crystal) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ระนาบที่วาดผ่านจุดศูนย์กลางปริมาตรทรงรีและตั้งฉากกับเส้น S นี้จึงมีรูปร่างเป็นวงรี และระนาบวงรีที่เกิดขึ้นนี้มีรัศมีแกนยาวเท่ากับ D'' และรัศมีแกนสั้นเท่ากับ D' เราเรียกระนาบที่ผ่านเส้น D' และ S ตลอดจนระนาบที่ผ่าน D'' และ S ว่าระนาบคลื่นโพลาไรซ์ (polarized wave front) นอกจากนี้ในสภาพเช่นนี้ ความยาวของ n' และ n'' นี้คือค่าดัชนีหักเหแสงของระนาบคลื่นโพลาไรซ์ทั้งสองนี้ตามลำดับ

การป้อนสนามไฟฟ้าเข้าสู่ผลึกที่ไม่มีศูนย์กลางความสมมาตร และถ้าทำให้ดัชนีหักเหแสงเปลี่ยนแปลงตามค่าสนามไฟฟ้ายกกำลังหนึ่ง เรียกว่าเกิดปรากฏการณ์พอกเคิลส์ (Pockels effect) ปรากฏการณ์นี้ชี้ให้ทราบว่าสนามไฟฟ้าทำให้รูปร่างของปริมาตรทรงรีเกิดการเปลี่ยนแปลง สมมติว่าปริมาตรทรงรีที่เปลี่ยนแปลงรูปไปแล้วมีสูตรว่า (กรณีผลึกชนิดที่ไม่มีศูนย์กลางสมมาตร)

$$B_1x^2 + B_2y^2 + B_3z^2 + 2B_4yz + 2B_5zx + 2B_6xy = 1 \quad (2.2)$$

สมมติว่า ปริมาณที่ B_1 เปลี่ยนแปลงคือ

$$\Delta B_1 = B_1 - B_{10} = \gamma_{11}E_1 + \gamma_{12}E_2 + \gamma_{13}E_3 \quad (2.3)$$

โดยที่ E_1, E_2, E_3 คือสนามไฟฟ้าที่ป้อนในแกน x, y, z ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์ $\gamma_{11}, \gamma_{12}, \gamma_{13}$ เรียกว่า สัมประสิทธิ์อเล็กโตรออปติกเชิงเส้น (linear electro-optic coefficient)

ส่วนในกรณีที่ B_2 และ B_3 มีการเปลี่ยนแปลงด้วยนั้นก็สามารถแสดงค่าได้ทำนองเดียวกับในสมการที่ 2.3 แต่ในกรณีที่ B_4 เปลี่ยนแปลงนั้นต้องแทนค่าให้ $B_{40} = 0$ และในกรณีที่ B_5 นั้นต้องแทนค่าให้ $B_{50} = 0$ และในกรณีที่ B_6 นั้นก็ต้องแทนค่าให้ $B_{60} = 0$ ดังนั้น B ทั้งหมดเหล่านี้จึงสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta B_1 \\ \Delta B_2 \\ \Delta B_3 \\ \Delta B_4 \\ \Delta B_5 \\ \Delta B_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 - B_{10} \\ B_2 - B_{20} \\ B_3 - B_{30} \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} \\ \gamma_{41} & \gamma_{42} & \gamma_{43} \\ \gamma_{51} & \gamma_{52} & \gamma_{53} \\ \gamma_{61} & \gamma_{62} & \gamma_{63} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

จากเมทริกซ์นี้ทำให้ทราบว่า สัมประสิทธิ์ γ_{ij} ในปรากฏการณ์พอกเคิลส์มีจำนวน 18 ตัว บางตัวก็มีค่าเป็นศูนย์ก็มี บางตัวมีค่าเท่ากันก็มี ในหน่วย MKS นั้น γ มีค่าประมาณ $10^{-11} \sim 10^{-12}$ m/V ตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์ γ ของผลึกบางชนิด

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์อเล็กโตรอปติก γ ของผลึกชนิดต่างๆ โดยที่หน่วยของ γ และความยาวคลื่นคือ 10^{-12} m/V และ nm ตามลำดับ (T หมายถึง สภาพภายใต้แรงเค้นที่คงที่ และ S หมายถึงสภาพภายใต้การบิดที่คงที่)

ผลึกชนิด $\bar{4}3m$				
ผลึก	ดัชนีหักเหแสง	γ_{41}	สภาพ	ความยาวคลื่น(μm)
GaAs	3.27	1.3	T	10.6
CdTe	2.67	6.8	T	10.6
		5.3	S	10.6
CCuCl	1.90	3.2	T	10.6
	1.96	3.6	T	0.633

ผลึกชนิด $\bar{4}2m$						
ผลึก	ดัชนีหักเหแสง		γ_{63}	γ_{41}	สภาพ	ความยาวคลื่น(μm)
	n_o	n_e				
KDP (KH_2PO_4)	1.507	1.467	-10.5	8.6	T	0.633
			8.8		S	
DKDP (KH_2PO_4)	1.51	1.47	26.4	8.8	T	0.633
			24.0		S	
ADP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)	1.522	1.477	-8.5	23.1	T	0.633
			4.1		S	

ผลึกชนิด 3m								
ผลึก	ดัชนีหักเหแสง		γ_{33}	γ_{13}	γ_{22}	γ_{42}	สภาพ	ความยาวคลื่น(μm)
	n_o	n_e						
LiNbO ₃	2.286	2.200	+32.2	+10	6.8		T	0.633
			+30.8	+8.6	3.4	+28	S	
	2.146	2.081	28	6.5	3.1	23	S	
LiTaO ₃	2.175	2.180	30.3	7	1	20	S	0.633
	2.061	2.065	27	4.5	0.3	15	S	3.39

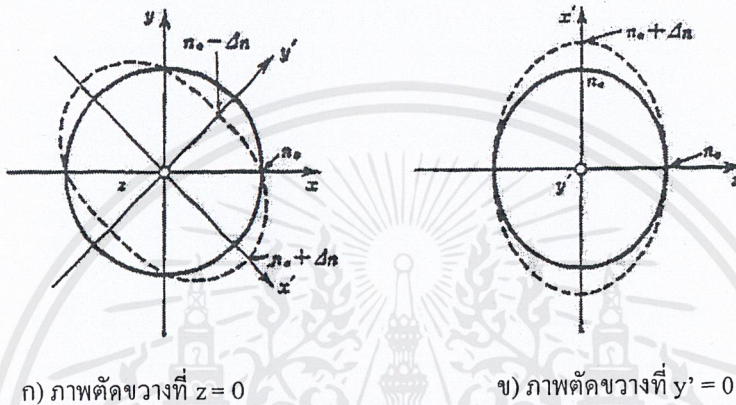
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึกชนิด mm 2								
ผลึก	ดัชนีหักเหแสง	γ_{33}	γ_{13}	γ_{23}	γ_{42}	γ_{51}	สภาพ	ความยาวคลื่น(μm)
$\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$	$n_1 = 2.322$	48	15	13	92	90	T	0.633
	$n_2 = 2.321$	29	7	8	75	88	S	
	$n_3 = 2.218$							

ตารางที่ 2.8 ลักษณะความสมมาตรต่างๆ ของผลึกและค่าคงตัวต่างๆ ในปรากฏการณ์พอกเคสส์

ความสมมาตรของผลึก	ทิศทางการป้อนสนามไฟฟ้า	ทิศทางการเดินทาง	แกน x	แกน y	n_{01}	n_{02}	γ_1	γ_2	หมายเลข
$\bar{4}2\text{ m}$	Z	X	X'	Y'	n_o	n_o	γ_{63}	$-\gamma_{63}$	1
	Z	Y' (หรือ x')	X' (หรือ y')	Z	n_o	n_e	γ_{63}	0	2
3 m	Z	X (หรือ Y)	y (หรือ x)	Z	n_o	n_2	$-\gamma_{13}$	$-\gamma_{33}$	3
	Y	X	x	Y	n_o	n_o	γ_{22}	$-\gamma_{22}$	4
	X	X	x'	Y'	n_o	n_o	$-\gamma_{22}$	γ_{22}	5
$\bar{4}3\text{ m}$	X'	Y'	Z''	X''	n_o	n_o	γ_{41}	$-\gamma_{41}$	6
4 mm	Z	X (หรือ Y)	y (หรือ x)	z	n_o	n_e	$-\gamma_{13}$	$-\gamma_{33}$	7
mm 2	Z	x	y	z	N_1	N_3	$-\gamma_{23}$	$-\gamma_{33}$	8

ในรูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหแสงของรูปปริมาตรทรงรีจากสภาพที่ไม่มีสนามไฟฟ้า (เส้นทึบ) ไปสู่สภาพที่มีสนามไฟฟ้ากระทำกับผลึกในแนวแกน z (เส้นไขว้ปลา) โดยในรูปนี้ แสดงภาพตัดขวางตามระนาบ xy (ก) และระนาบ x'z (ข) รูป (ก) เป็นกรณีที่แสงเดินทางทิศทาง z ทำให้ทิศทางของโพลาริเซชัน (polarization) มี 2 ทิศคือ ทิศทาง x' และ y' และดัชนีหักเหแสงในทิศทางทั้งสองคือ $n_0 - \Delta n$ ตามลำดับ



ก) ภาพตัดขวางที่ $z=0$

ข) ภาพตัดขวางที่ $y'=0$

รูปที่ 2.2 ลักษณะของดัชนีหักเหแสงรูปร่างรีของผลึกชนิด 42 m การป้อนสนามไฟฟ้ากระทำในทิศทางแกน z เส้นทึบและเส้นไขว้ปลาแสดงกรณีก่อนและหลังการป้อนสนามไฟฟ้าตามลำดับ

โดยสรุปแล้ว เราทราบว่าสนามไฟฟ้ามีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางแสงของผลึก ถ้าเราทราบทิศทางของสนามไฟฟ้าและทิศทางการเดินทางของแสง ก็จะทำให้ทราบทิศทางของโพลาริเซชันของแสงในผลึกซึ่งมีสองทิศและตั้งฉากซึ่งกันและกัน และจะทราบค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหแสงในทิศทางโพลาริเซชันทั้งสองว่าเปลี่ยนแปลงตามสนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเท่าไร ตัวอย่างเช่นถ้าให้ทิศทางโพลาริเซชันทั้งสองของแสง ก็จะได้ค่าดัชนีหักเหของแสงในแนวแกน x และ y ว่า

$$n_x = n_{01} + \frac{1}{2} n_{01}^3 \gamma_1 E \quad \text{กรณีแสงโพลาริเซชันในทิศ x} \quad (2.5)$$

$$n_y = n_{02} + \frac{1}{2} n_{02}^3 \gamma_2 E \quad \text{กรณีแสงโพลาริเซชันในทิศ y}$$

โดยที่ E คือ สนามไฟฟ้าที่ป้อน

n_{01}, n_{02} คือ ดัชนีหักเหแสงตอนที่ยังไม่มีสนามไฟฟ้า

γ_1, γ_2 คือ สัมประสิทธิ์อเล็กโตรออปติกเชิงเส้น

2.3 การมอดูเลตแสงภายนอก (external modulation)

การมอดูเลตแสงภายนอกถ้าแบ่งตามอุปกรณ์ที่ใช้ในหารมอดูเลตแล้วแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ อะคูสโตออปติก (acousto-optic) และ อิเล็กโตรออปติก (electro-optic)

2.3.1 มอดูเลตแบบอิเล็กโตรออปติก

ส่วนใหญ่เมื่อเรากล่าวถึง การมอดูเลตแบบอิเล็กโตรออปติก ก็มักจะกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันอินพุตกับระดับของแสงที่เอาท์พุทที่ความถี่ต่ำซึ่งแสดงในรูปของกราฟสวิตชิง (switching curve) ดังรูปที่ 2.3 เป็นการคิดความเข้มแสง I กับแรงดันอินพุต V จากรูปที่ 2.3 เราจะเห็นว่า ความเข้มแสงอินพุต I_0 และค่าความเข้มแสงเอาท์พุทที่มากที่สุด I_{max} ดังนั้นค่าการทะลุผ่านของมอดูเลเตอร์ก็จะแสดงเป็นอัตราส่วน I_{max}/I_0 และค่า ความสูญเสียแบบอินเสิร์ตชัน (insertion loss) จะเป็น

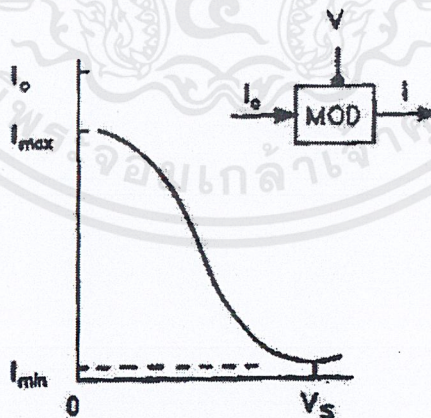
$$loss(dB) = 10 \log_{10} (I_{max} / I_0) \quad (2.6)$$

ถ้าความเข้มแสงเอาท์พุทที่สูงสุดเป็น I_{max} และค่าความเข้มแสงเอาท์พุทที่ต่ำสุดเป็น I_{min} เราจะได้อัตราส่วนของเอกทินชัน (extinction ratio: ER) ของมอดูเลเตอร์เป็น

$$ER = I_{min} / I_{max}$$

หรือ

$$ER(dB) = -10 \log_{10} (I_{min} / I_{max}) \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟสวิตชิงของการมอดูเลตภายนอกเปรียบเทียบระหว่างแสงเอาท์พุทกับแรงดัน

2.3.1.1 หลักการมอดูเลตเฟสของแสงด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์

เป็นการป้อนสนามไฟฟ้าเข้าสู่ผลึกชนิดอิเล็กโตรออปติกจะทำให้ค่าดัชนีหักเหแสงเปลี่ยนแปลง ได้มีการค้นพบว่าถ้าทิศทางโพลาไรเซชันของแสงอินพุตที่เดินทางเข้าสู่ผลึกตรงกับทิศทางของการโพลาไรเซชัน (x หรือ y) ของแสงที่เดินทางอยู่ในผลึก จะทำให้สามารถเปลี่ยนเฟสของแสงได้ นั่นคือ สามารถมอดูเลตเฟสของแสงเอาต์พุตได้ แต่ถ้าทิศทางของโพลาไรเซชันของแสงอินพุตที่เดินทางเข้าสู่ผลึกไม่ตรงกับทิศทางของโพลาไรเซชันที่เดินทางอยู่ในผลึก จะทำให้ทิศทางของโพลาไรเซชันของแสงเอาต์พุตถูกหมุนไป และแม้ว่าแสงอินพุตจะเป็นแสงชนิดโพลาไรซ์เชิงเส้นก็ตาม จะทำให้แสงเอาต์พุตกลายเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงวงรี (ellipsoid polarized light)

ถ้าแสงอินพุตมีทิศทางของโพลาไรเซชันตรงกับทิศ x ค่าคงตัวเฟส β_x (phase constant) จะมีค่าเท่ากับ

$$\beta_x = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot n_x \quad (2.8)$$

โดยที่ λ_0 : ความยาวคลื่นของแสงในสุญญากาศ

ถ้าให้ผลึกมีความยาวเท่ากับ 1 จะทำให้เฟสของแสงเอาต์พุตแตกต่างไปจากเฟสของแสงอินพุต ซึ่งเรียกว่า การเลื่อนของเฟส (phase shift) การเลื่อนของเฟสมีค่าเท่ากับ

$$-\varphi = \beta_x l = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot n_x \cdot l \quad (2.9)$$

และสนามไฟฟ้าที่ป้อนมีค่า

$$E = E_m \cos \omega_m t \quad (2.10)$$

ทำให้สมการที่ 2.9 กลายเป็น

$$-\varphi = \varphi_0 + \varphi_m \cos \omega_m t \quad (2.11)$$

โดยที่
$$\varphi_0 = (2\pi / \lambda_0) n_{01} l \quad (2.12)$$

และ
$$\varphi_m = (\pi / \lambda_0) n_{01}^3 \gamma_1 E_m l \quad (2.13)$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่าเฟสของแสงสามารถเปลี่ยนค่าด้วยสนามไฟฟ้า นั่นคือ การมอดูเลตเฟสของแสงสามารถทำได้ด้วยการป้อนสนามไฟฟ้าเข้าสู่ผลึก

2.3.1.2 รีটারด์ชัน (retardation)

หมายถึงค่าความแตกต่างของเฟสของแสงที่มีทิศทางโพลาไรเซชันในแกน x กับเฟสของแสงที่มีทิศทางโพลาไรเซชันในทิศทางแกน y เมื่อแสงเดินทางผ่านผลึกที่มีความยาว 1 ค่าคงตัวเฟสของแสงที่โพลาไรซ์ในทิศทาง x และ y คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \beta_x &= (2\pi / \lambda_0) n_x \\ \beta_y &= (2\pi / \lambda_0) n_y \end{aligned} \quad (2.14)$$

จะได้ค่ารีทาร์ดชัน $\Delta\phi$ ว่ามีค่าเท่ากับ

$$\Delta\phi = \Delta\phi_n + \Delta\phi_m = (2\pi / \lambda_0)(n_{01} - n_{02}) \cdot l + (\pi / \lambda_0)(n_{01}^3 \gamma_1 - n_{02}^3 \gamma_2) E \cdot l \quad (2.15)$$

พจน์ $\Delta\phi_n$ ในสมการที่ 2.15 เป็นค่าคงตัวที่ไม่ขึ้นกับสนามไฟฟ้าและเกิดจากการที่ n_{01} มีค่าไม่เท่ากับ n_{02} ค่าของ n_{01} และ n_{02} นี้เป็นค่าเฉพาะตัวของผลึก ดังนั้นพจน์ $\Delta\phi_n$ จึงเป็นพจน์ที่เกิดจากการมีค่าดัชนีหักเหสองแนวที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (natural birefringence)

พจน์ $\Delta\phi_m$ ในสมการที่ 2.15 แปรผันตรงกับ E และเป็นส่วนที่ทำให้เฟสของแสงเปลี่ยนแปลงไปด้วยสนามไฟฟ้านั่นเอง ดังนั้นพจน์ $\Delta\phi_m$ นี้จึงเป็นพจน์ที่เกิดจากการมีค่าดัชนีหักเหสองแนวที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้า (induced birefringence)

ในรูปที่ 2.4 แสดงภาพเครื่องมืออคูเลตเฟสของแสงโดยใช้ผลึกชนิด 42 m ในรูป (ก) ทิศทางของสนามไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกับทิศทางของแสงอินพุต เรียกว่าเป็นการมอดูเลตเฟสของแสงแบบโหมดตามยาว (longitudinal mode) จะได้

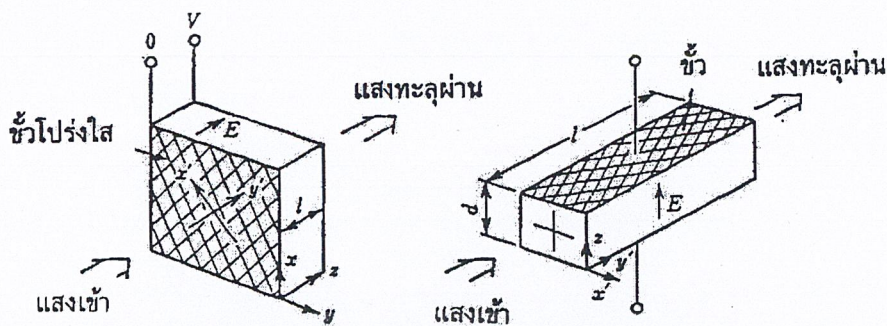
$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 \gamma_{63} E \cdot l = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_0^3 \gamma_{63} V \quad (2.16)$$

ในตัวอย่างผลึกชนิด 42 m นี้ เนื่องจากค่าของ $n_{01} = n_{02} = n_0$ ดังนั้นจึงไม่มีพจน์ของดัชนีหักเหแสงสองแนวธรรมชาติ ในสมการที่ 2.16 นี้ชี้ให้เห็นว่า $\Delta\phi$ แปรผันตรงกับ E และ l และเนื่องจาก $E \cdot l = V$ ดังนั้นในการมอดูเลตเฟสแบบโหมดตามยาวนี้ จึงทำให้ค่ารีทาร์ดชันขึ้นกับแรงดันไฟฟ้าเท่านั้น โดยที่ไม่ขึ้นกับความยาวของผลึกเลย

แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้รีทาร์ดชันมีค่าเท่ากับ π เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าครึ่งคลื่น (half-wave voltage) นิยมใช้สัญลักษณ์ว่า $V_{\lambda/2}$ ตัวอย่างในกรณีผลึกลิเทียมไนโอเบตจากสมการที่ 9 แรงดันไฟฟ้าครึ่งคลื่นมีค่าเท่ากับ

$$V_{\lambda/2} = \lambda_0 / (2n_0^3 \gamma_{63}) \quad (2.17)$$

ส่วนในรูปที่ 2.4 ข) ทิศทางของสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับทิศทางของแสงอินพุต จึงเรียกว่าเป็นการมอดูเลตเฟสของแสงแบบตามขวาง (transverse mode) ในกรณีนี้รีทาร์ดชันจะขึ้นกับ d และ l ด้วย โดยถ้ายังทำให้อัตราส่วนของ l/d มีค่ามากก็จะยิ่งทำให้รีทาร์ดชันมีค่ามาก

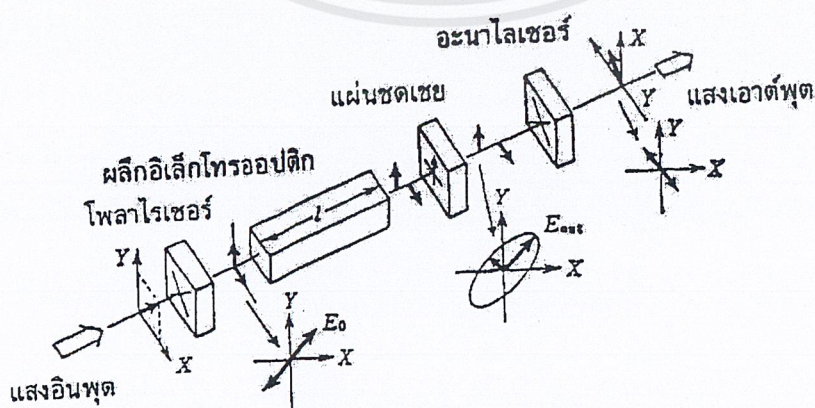


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์มอดูเลตเฟสของแสงโดยใช้ผลึกชนิด $\bar{4}2m$

2.3.1.3 หลักการมอดูเลตความเข้มแสงด้วยวิธีอเล็กโตรอปติก

เราสามารถใช้อุปกรณ์พอกเคลสสำหรับการมอดูเลตเฟสของแสงได้ แต่เราไม่สามารถใช้อุปกรณ์พอกเคลสในการมอดูเลตเฟสของแสงได้โดยตรงกล่าวคือ ถ้าต้องการใช้อุปกรณ์พอกเคลสในการมอดูเลตความเข้มแสง เราต้องใช้วิธีทางอ้อม โดยจะใช้การมอดูเลตเฟสของแสงเพื่อให้มีผลต่อการมอดูเลตความเข้มแสง

ตัวอย่างวิธีหนึ่งได้แก่ การใช้ฮาล์ฟมิเรอร์ (half mirror) และกระจกเงา ทำการแยกแสงออกเป็นสองทาง แล้วทำการเปลี่ยนเฟสของแสงแต่ละเส้นด้วยสิ่งประดิษฐ์พอกเคลส ต่อจากนั้นจึงอาศัยการแทรกสอดของแสงเช่น ด้วยวิธี มาช (Mach) หรือด้วยวิธี ไมเคลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ (Michelson Interferometer) เพื่อให้แสงสองเส้น ซึ่งมีเฟสต่างกันให้มารวมกันอีกครั้ง แสงที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะมีความเข้มมากหรือน้อยเพียงไรขึ้นกับความแตกต่างของเฟสของแสงทั้งสองที่สอดแทรกกัน ดังนั้นด้วยวิธีนี้ทำให้แสงเอาต์พุตมีความเข้มเปลี่ยนไปจากแสงอินพุต แต่การใช้วิธีนี้จะทำให้ระบบมีความยุ่งยากและใช้อุปกรณ์จำนวนมาก



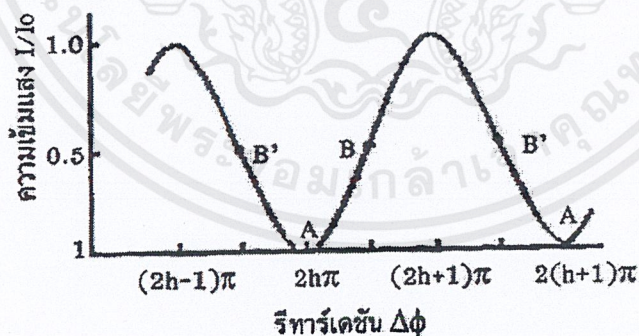
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์มอดูเลตความเข้มของแสงด้วยวิธีอเล็กโตรอปติก

การใช้อุปกรณ์ทางแสงตามที่แสดงในรูปที่ 2.5 จะเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ค่อนข้างง่ายและใช้อุปกรณ์น้อย ในรูปนี้ที่ด้านแสงอินพุตจะมีแผ่นโพลาไรเซอร์(polarizer) วางไว้หนึ่งแผ่น โดยจัดให้ทิศทางโพลาไรเซชันนั้นทำมุมกับแกน x และ แกน y เป็นมุม 45° ในสภาพเช่นนี้ แสงที่มีทิศทางโพลาไรเซชันทิศทางเดียวกับทิศทางของแผ่นโพลาไรเซอร์ไปได้ และเมื่อแสงวิ่งเข้าสู่ผลึกพอกเคลสต์จะถูกทำการเปลี่ยนเฟสและกลายเป็นแสงชนิดโพลาไรซ์เชิงวงรี (ellipsoid polarized light) เฟสของแสงจะถูกเปลี่ยนไปเล็กน้อยเพียงไรนั้นสามารถควบคุมได้ด้วยสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ผลึกพอกเคลสต์ ต่อจากนั้นแสงที่ออกจากผลึกพอกเคลสต์จะถูกตรวจสอบอีกครั้งด้วยแผ่นอะนาไลเซอร์ (analyzer) โดยที่ทิศทางของโพลาไรเซชันของแผ่นอะนาไลเซอร์มักจะถูกจัดวางให้ตั้งฉากกับทิศทางของแผ่นโพลาไรเซอร์

ถ้ารีทาร์เดชันมีค่าเท่ากับศูนย์ กล่าวคือถ้าเฟสและทิศทางของโพลาไรเซชันของแสงเหมือนของแสงอินพุต แสงจะไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นอะนาไลเซอร์ได้เลย ทำให้ความเข้มของแสงเอาต์พุตเป็นศูนย์

แต่ถ้ารีทาร์เดชันเท่ากับ π กล่าวคือเฟสของแสงเปลี่ยนไป 90° และทิศทางของโพลาไรเซชันของแสงหมุนไป 90° ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับของแผ่นอะนาไลเซอร์ แสงจึงเดินทางทะลุผ่านแผ่นอะนาไลเซอร์ได้มากที่สุด ความเข้มของแสงเอาต์พุตจึงมากที่สุด

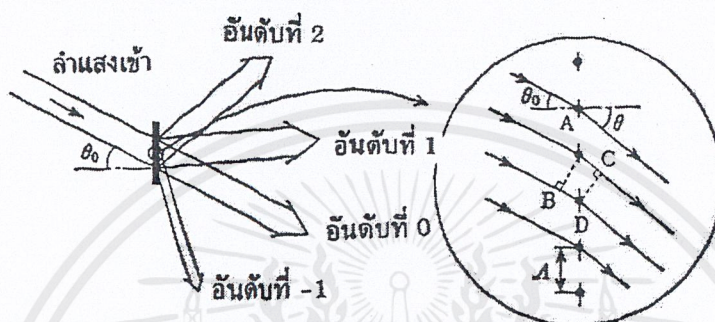
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงเอาต์พุตและมุมของรีทาร์เดชันซึ่งจะพบว่าคาบของการเปลี่ยนแปลงคือ 2π



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงเอาต์พุตและรีทาร์เดชัน

2.3.1.4 หลักการเบี่ยงเบนแสงด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์โทรออปติก

การป้อนสนามไฟฟ้าเข้าสู่ผลึกชนิดพอกเคลสต์สามารถทำให้ดัชนีหักเหแสงเปลี่ยนแปลง หลักการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำให้ทิศทางของแสงที่วิ่งในผลึกและที่วิ่งออกจากผลึก เบี่ยงเบนไป (deflection) ไปจากทิศทางของแสงเอาท์พุทได้ เราเรียกสิ่งประดิษฐ์เบี่ยงเบนแสงที่ ทำงานด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์โทรออปติก (Electro-Optic Deflector : EOD)



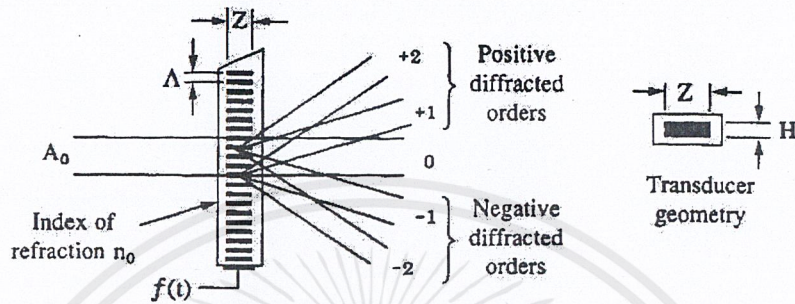
รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของสิ่งประดิษฐ์เบี่ยงเบนแสง (EOD) ด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์โทรออปติก

ในรูปที่ 2.7 EOD ประกอบด้วยปริซึมที่ทำจากผลึกที่มีสัมประสิทธิ์ของพอกเคลสต์ค่าสูงๆ เช่นผลึก DKDP และ LiTaO_3 เมื่อมีสนามไฟฟ้าป้อนเข้าผลึกในทิศทางตั้งฉากกับทิศของโพลาริเซชันของแสงอินพุต (ในรูปตั้งฉากกับระนาบ z ของผลึก) จะทำให้ดัชนีหักเหแสงของผลึกในทิศทางโพลาริเซชันของแสงเปลี่ยนแปลง จึงทำให้มุมของแสงเอาท์พุทเบี่ยงเบนเป็นมุม θ ตามค่าของสนามไฟฟ้า ถ้าต้องการให้มุมเบี่ยงเบน θ มีค่ามากๆ อาจทำได้โดยการจัดวางให้มีปริซึมหลายๆตัวประกบกัน

อุปกรณ์ EOD นี้สามารถเบี่ยงเบนแสงได้รวดเร็วแต่มุมเบี่ยงเบนมีค่าน้อย จึงมีการใช้งานน้อยกว่าวิธีการเบี่ยงเบนด้วยคลื่นเหนือเสียง (Acousto-Optic Deflector : AOD)

2.3.2 มอดูเลตแบบอะคูสโตออปติก

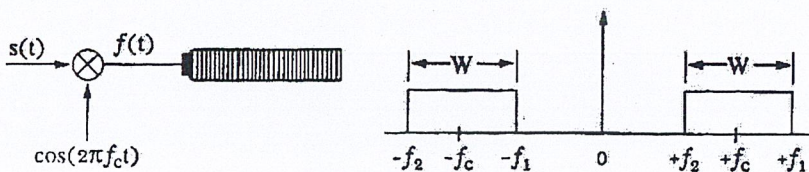
แหล่งกำเนิดแสง-เสียง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหของวัสดุเช่น น้ำ แก้ว หรือคริสตอลซึ่งติดอยู่กับเพียโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์ (piezoelectric transducer) ดังรูปที่ 2.8



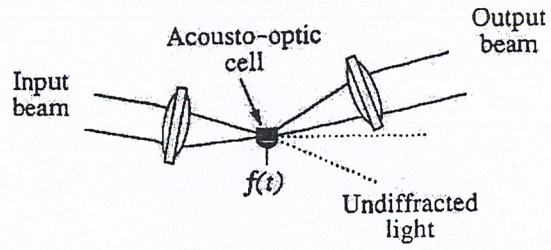
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง-เสียง

อุปกรณ์ตัวนี้จะถูกขับด้วยสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งต่อกับทรานสดิวเซอร์ และทรานสดิวเซอร์นี้จะทำให้เกิดคลื่นเสียงขึ้นบนวัสดุ คลื่นเหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของตัวกลาง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหผลลัพท์ที่เกิดขึ้นคือแสงที่ผ่านอุปกรณ์ขึ้นนี้จะถูกมอดูเลตทางเฟสเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางเดินของแสงนั่นเอง โดยที่ตอนปลายของอุปกรณ์ขึ้นนี้จะถูกตัดให้เกิดมุมขึ้นเพื่อลดการสะท้อนของคลื่น เมื่ออะคูสโตออปติกถูกมอดูเลตจะเกิดเป็นคลื่นอะคูสติกขึ้นทำให้แสงที่เคลื่อนที่เกิดการเลี้ยวเบนขึ้น

หลักการประมวลสัญญาณด้วยอะคูสโตออปติกมีดังนี้ คือสัญญาณที่ถูกประมวลผลจะมีความถี่ V_c และ $s(t)$ เป็นสัญลักษณ์พื้นฐานที่มีความถี่สูงอยู่ในช่วง $\frac{W}{2}$ สัญญาณทั้งสองจะถูกผสมกันดังรูปที่ 2.9 ซึ่งสัญญาณที่ใช้ในการมอดูเลต $f(t)$ จะมีความกว้าง $W = V_2 - V_1$ โดยความถี่ที่ศูนย์กลางมีค่า $\pm V_c$ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณไฟฟ้ากับอะคูสติกและสเปกตรัมของสัญญาณที่ขับ



รูปที่ 2.10 แสดงการมอดูเลตด้วยอะคูสโตออปติก



บทที่ 3

การออกแบบระบบการมอดูเลตสัญญาณแสงภายนอกโดยใช้ลิเทียมไนโอเบต

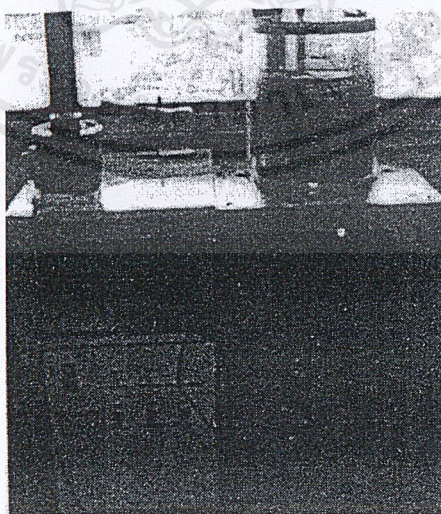
การออกแบบระบบการปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณแสงโดยใช้ลิเทียมไนโอเบตเป็นตัวกลางภายนอกเพื่อทำการมอดูเลตสัญญาณแสงก่อนส่งสัญญาณแสงไปยังเส้นใยแก้วนำแสง โดยอาศัยหลักการมอดูเลตสัญญาณแสงด้วยวิธีการเฟสมอดูเลต มีขั้นตอนการออกแบบระบบดังนี้

3.1 การปลูกผลึกซั้วอิเล็กโทรดบนลิเทียมไนโอเบต

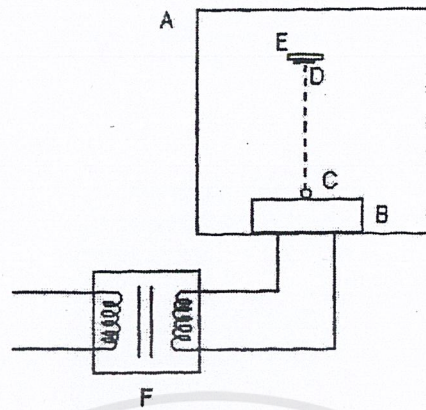
ลิเทียมไนโอเบตจะไม่โคปด้วยไททาเนียม(Ti)เพื่อใช้เป็นเวฟไกด์(waveguide) แต่จะใช้ความหนาของผลึกลิเทียมไนโอเบตเป็นเวฟไกด์(waveguide)แทน และจะปลูกผลึกซั้วอิเล็กโทรด(electrodes)ด้วยทอง(Au) ซึ่งจะอยู่ด้านบนบนสุดของแผ่นผลึกลิเทียมไนโอเบต โดยจะออกแบบวิธีการปลูกผลึกซั้วอิเล็กโทรดเป็นแบบการระเหยสารด้วยความร้อน(Thermal evaporation) ซึ่งมีวิธีการทำดังนี้

3.1.1 หลักการเตรียมปลูกผลึกซั้วอิเล็กโทรดโดยระบบระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ

การเตรียมฟิล์มบางโดยเทคนิคระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ แสดงภาพถ่ายของระบบ และการวางตำแหน่งอุปกรณ์ภายในกรอบแก้ว ดังรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายระบบระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ

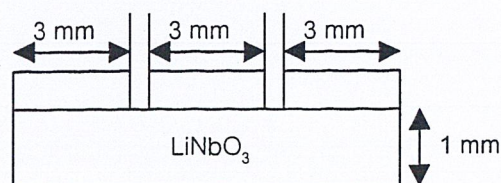


รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมการวางตำแหน่งอุปกรณ์ภายในครอบแก้ว

- เมื่อ
- A คือ ครอบแก้วสุญญากาศ
 - B คือ เบ้าหลอมสาร
 - C คือ สारที่ใช้เตรียมฟิล์มบาง
 - D คือ ฟิล์มบาง
 - E คือ แผ่นรองรับ
 - F คือ หม้อแปลงโวลต์ต่ำกระแสสูง

3.1.2 การปลูกผลึกซ์อเล็กโทรด

- 3.1.2.1 ดูดอากาศภายในครอบแก้วสุญญากาศ โดยปั๊มไอฟุ้งกระจาย ทำหน้าที่ลดความดันภายในครอบแก้วปั๊มกลโรตารี จะดึงอากาศออกจากปั๊มไอฟุ้งกระจายซึ่งสามารถทำให้ความดันภายในระบบลดลงต่ำสุดถึง 10-5 มิลลิบาร์
- 3.1.2.2 ให้ความร้อนแก่ทองคำบริสุทธิ์(99.999%)ซึ่งวางอยู่ในเบ้าหลอมสาร (Crucible) โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแก่เบ้าหลอมสาร
- 3.1.2.3 ควบคุมกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงโดยวาริแอก
- 3.1.2.4 ไอระเหยของทองจะขึ้นไปเกาะติดแผ่นรองรับ(ลิเทียมไนโอเบต) แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การปลูกผลึกซ์อเล็กโทรดด้วยทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การวัดความหนาฟิล์มบางในสูญญากาศ

3.1.3.1 หลักการ ใช้คริสตอล (x-tal) ความถี่ 4 MHz เป็นตัวมอนิเตอร์ (Monitor) อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อไอของสารที่ระเหยขึ้นไปจับคริสตอลเป็นแผ่นฟิล์มบาง ทำให้ความถี่เปลี่ยนไป (Δf) ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะมีความสัมพันธ์กับความหนาของฟิล์มบาง

3.1.3.2 ทฤษฎี การหา sensitivity ของคริสตอลในการทดลองสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Sensitivity} \left(\frac{\Delta f}{\Delta m_{x-tal}} \right) = \frac{\Delta f \cdot A_s}{m \cdot A_x} = k$$

เมื่อ A_s เป็นพื้นที่หน้าตัดที่สารระเหยไปเกาะติดแผ่นรองรับ
 A_x เป็นพื้นที่หน้าตัดที่สารระเหยไปเกาะติดคริสตอล
 Δf เป็นความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป
 m มวลของสารระเหยที่เกาะติดแผ่นรองรับ
 ρ ความหนาแน่นของสาร
 และ k มีหน่วยเป็น Hz/ μ g

ค่าความหนาฟิล์มบาง (t) สามารถหาได้จากสมการ

$$t = \frac{1}{\rho} \frac{m}{A}$$

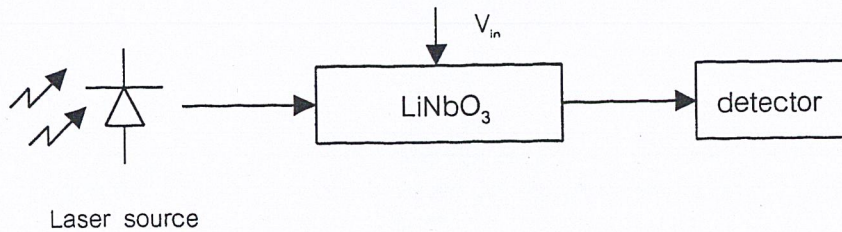
$$= \frac{1}{\rho k A} \Delta f$$

$$t = K \Delta f$$

เมื่อ $K = \frac{1}{\rho k A}$

3.2 การมอดูเลตภายนอกโดยใช้ผลึกลิเทียมไนโอเบต

รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพการจัดวางอุปกรณ์การมอดูเลตผลึกลิเทียมไนโอเบต ซึ่งจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ชนิดฮีเลียม นีออน เลเซอร์ (Helium neon gas laser / 633 nm / 4 mW) ผลึกลิเทียมไนโอเบต และตัวตรวจรับ (detector) ชนิด Miles Griot โดยที่แสงจากแหล่งกำเนิดจะถูกเข้าไปรวมอยู่ในผลึกลิเทียมไนโอเบต จากนั้นสัญญาณแสงที่ถูกมอดูเลตโดยผลึกลิเทียมไนโอเบตจะไปตกกระทบที่ตัวตรวจรับ



รูปที่ 3.4 การจัดวางอุปกรณ์การมอดูเลตภายนอก

3.2.1 การจัดวางอุปกรณ์

การจัดวางอุปกรณ์การมอดูเลตภายนอกที่ใช้ดังรูปจะมีการจัดวางระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์กับผลึกมีขนาด 7.5 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างผลึกกับตัวตรวจรับมีขนาด 10.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.5

3.2.2 การคำนวณหาลักษณะเฉพาะของผลึกลิเทียมไนโอเบตที่ใช้เป็นตัวกลางภายนอก

3.2.2.1 ค่าการทะลุผ่านของการมอดูเลเตอร์ (I_T) คำนวณจากความสัมพันธ์ดังสมการ

$$I_T = I_{\max} / I_0 \quad (3.1)$$

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มแสงอินพุต

I_{\max} คือ ความเข้มแสงเอาต์พุตสูงสุด

3.2.2.2 ค่าความสูญเสียแบบอินเสิร์ตชัน (Insertion loss) ดังสมการ

$$\text{loss}(dB) = 10 \log_{10} (I_{\max} / I_0) \quad (3.2)$$

3.2.2.3 อัตราส่วนของเอคทีนชัน (Extension Ratio : ER) ดังสมการ

$$ER = I_{\min} / I_{\max} \quad (3.3)$$

หรือ

$$ER(dB) = 10 \log_{10} (I_{\min} / I_{\max}) \quad (3.4)$$

เมื่อ I_{\min} คือ ความเข้มแสงเอาต์พุตต่ำสุด

3.2.2.4 ประสิทธิภาพของกำลัง RF ที่ส่งผ่านไปตามทางเดินแสงในหน่วยอิเล็กทรอนิกส์

เดซิเบล(dBE) ดังสมการ

$$M(f) = 20 \log_{10} [V_{out}(f) / V_{out}(f_0)] \quad (3.5)$$

เมื่อ $V_{out}(f_0)$ คือ แอมพลิจูดของเอาต์พุตของตัวรับสัญญาณที่ความถี่เริ่มต้น(f_0)

$V_{out}(f)$ คือ แอมพลิจูดของเอาต์พุตของตัวรับสัญญาณที่ความถี่ (f)



บทที่ 4

การทดสอบการปรับความถี่สัญญาณแสงโดยใช้ลิเทียมไนโอเบต

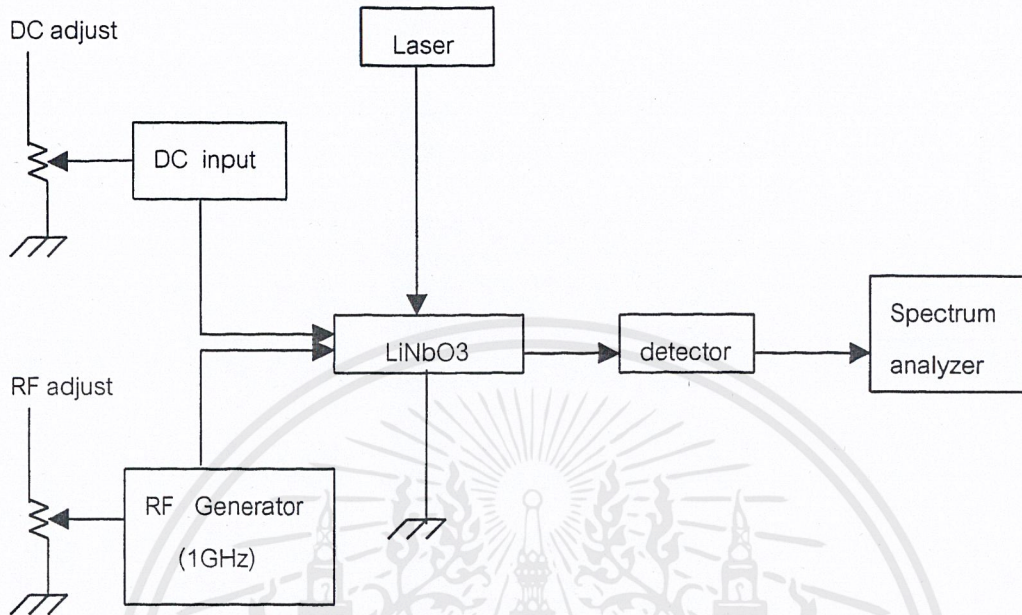
ผลึกลิเทียมไนโอเบตที่ทำการปลูกผลึกซั้วอิเล็กโทรดแล้วจะนำมาเป็นตัวกลางภายนอกเพื่อทำการมอดูเลตสัญญาณแสงนั้น จะมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุต(V_{in})กับความเข้มแสงเอาต์พุต

4.1.1 อุปกรณ์การทดสอบ

1. เลเซอร์ ชนิดฮีเลียม นีออน เลเซอร์ (Helium neon gas laser $\lambda = 633$ nm 4 mW)
2. แหล่งจ่ายไฟ (± 12 โวลต์)
3. แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ (RF Generator) (Farnell รุ่น PSG 1000)
4. ตัวตรวจรับสัญญาณ(detector) ชนิด PIN (Melles Griot รุ่น 13 DAH)
5. สเปกตรัมอานาไลเซอร์ (Spectrum Analyzer) (HP 8560E)
6. ผลึกลิเทียมไนโอเบตชนิด Y-cut ที่ปลูกผลึกซั้วอิเล็กโทรดด้วยทอง(Au)
7. โวลต์มิเตอร์(Volt meter)

4.1.2 การจัดวางอุปกรณ์

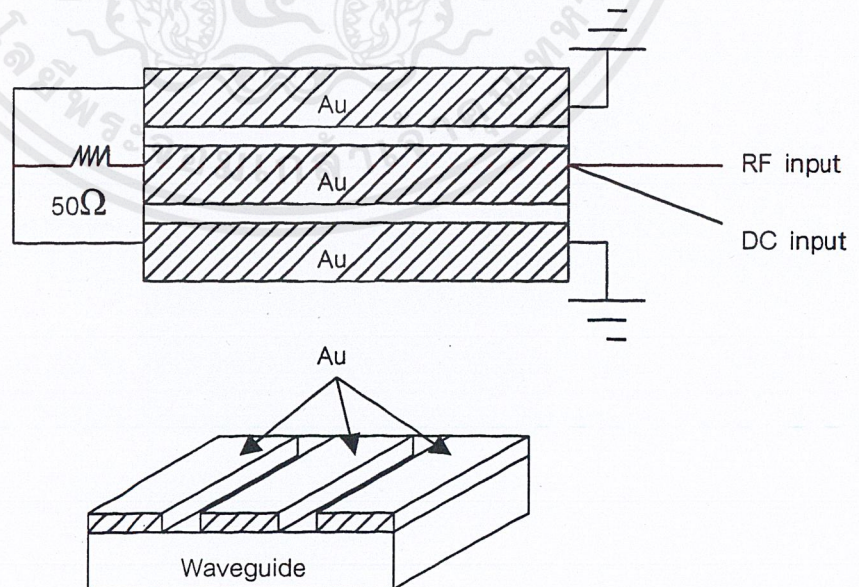


รูปที่ 4.1 แผนภาพวงจรการทดลองการปรับเปลี่ยนความถี่แสงโดยใช้ลิเทียมไนโอเบต

4.1.3 วิธีการทดลอง

1. ออกแบบการปลูกผลึกซั้วอิเล็กโทรดลงบนผลึกลิเทียมไนโอเบตดัง

รูปที่ 4.2 และนำผลึกลิเทียมไนโอเบตมาต่อวงจรดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.2 ออกแบบการปลูกผลึกซั้วอิเล็กโทรดลงบนผลึกลิเทียมไนโอเบต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ (RF Generator) ที่ 200 MHz และ dBm = 10
3. ปรับแรงดันกระแสตรง ที่จ่ายให้กับผลึกลิเทียมไนโอเบตไปที่ 1.2 โวลต์
4. สังเกตผลเอาต์พุตที่ สเปกตรัมอานาไลเซอร์ (Spectrum Analyzer) ว่ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่หรือไม่
5. ทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4 แต่เปลี่ยนแรงดันอินพุตเพิ่มขึ้นทีละ 0.2 โวลต์ จนถึง 5 โวลต์ ตามลำดับ และสังเกตการเปลี่ยนแปลง
6. ปรับแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ (RF Generator) ไปที่ความถี่ 400 MHz แล้วทำซ้ำข้อ 5
7. ทำซ้ำข้อ 6 แต่เปลี่ยนความถี่ RF generator ไปที่ 600 MHz , 800 MHz , 1 GHz ตามลำดับ
8. เมื่อพบการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ สเปกตรัมอานาไลเซอร์ (Spectrum Analyzer) แล้วบันทึกค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลง ค่า dBm และ V_{out} ที่ได้จากการวัดลงในตาราง
9. คำนวณค่า I_{out} จากสมการ

$$dBm = 10 \log \frac{I_0}{I_{in}}$$
 โดยที่ $I_{in} = \frac{P}{4\pi R^2}$; P คือ กำลังของเลเซอร์
10. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับความเข้มแสงเอาต์พุต ดัง รูปกราฟที่ 1
11. คำนวณลักษณะเฉพาะของผลึกลิเทียมไนโอเบตในสมการที่ 3.1-3.6
12. คำนวณการเปลี่ยนแปลงเฟสของลิเทียมไนโอเบตที่แรงดัน 1.26 ถึง 5 โวลต์ลงในตารางที่ 4.2

$$\varphi_m = (2\pi / \lambda_0) n_0^3 \gamma_{22} E l$$
 โดยที่ $E = V/d$
13. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเฟสที่เปลี่ยน ดังรูปกราฟที่ 4.2
14. สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1.4 ผลการทดลอง

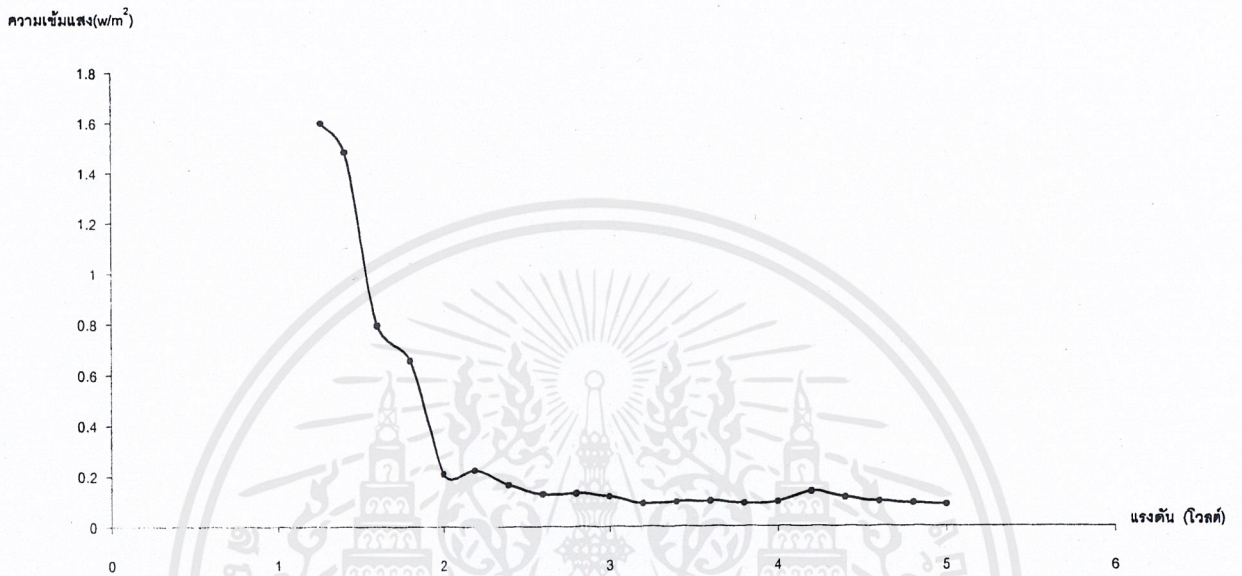
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการปรับเปลี่ยนความถี่แสงโดยใช้ลิเทียมไนโอเบต ในกรณีที่กำลังกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ (RF Generator) ที่ 1 GHz จะได้ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงมีค่า 874.75 MHz คำนวณ I_{out} จากสมการ

$$dBm = 10 \log \frac{I_0}{I_{in}} \quad \text{โดยที่} \quad I_{in} = \frac{P}{4\pi R^2}; P \text{ คือ กำลังของเลเซอร์}$$

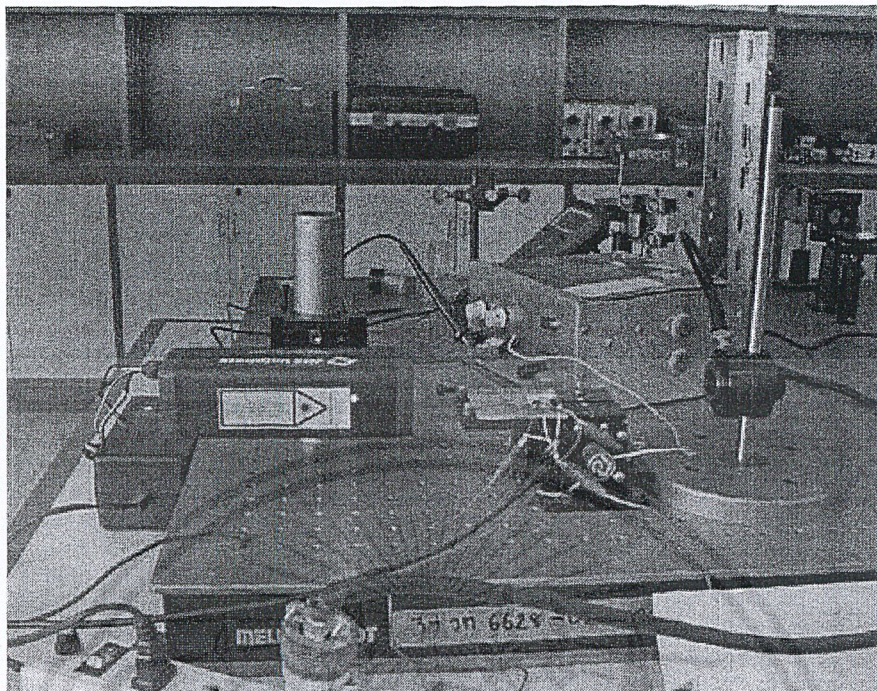
เมื่อกำลังของเลเซอร์เป็น 0.69 มิลลิวัตต์ จะได้ ความเข้มแสงอินพุต (I_{in}) เป็น 1.52×10^{-3} วัตต์ต่อตารางเมตร

V_{in}	dBm	$V_{out} (\mu V)$	$I_{out} \times 10^{-13}$
1.26	-69.78	18.32	1.5989
1.4	-70.11	19.45	1.4819
1.6	-72.82	18.04	0.7940
1.8	-73.64	19.78	0.6570
2.0	-78.63	19.93	0.2084
2.2	-78.33	19.54	0.2232
2.4	-79.63	20.32	0.1655
2.6	-80.83	21.11	0.1255
2.8	-80.67	21.93	0.1303
3.0	-81.12	20.32	0.1174
3.2	-82.33	23.32	0.0888
3.4	-82.00	22.80	0.0959
3.6	-81.83	21.11	0.0997
3.8	-82.33	22.80	0.0888
4.0	-82.03	22.80	0.0953
4.2	-80.50	20.70	0.1354
4.4	-81.33	19.54	0.1119
4.6	-82.00	19.87	0.0959
4.8	-82.33	23.23	0.0888
5.0	-82.52	23.69	0.0851

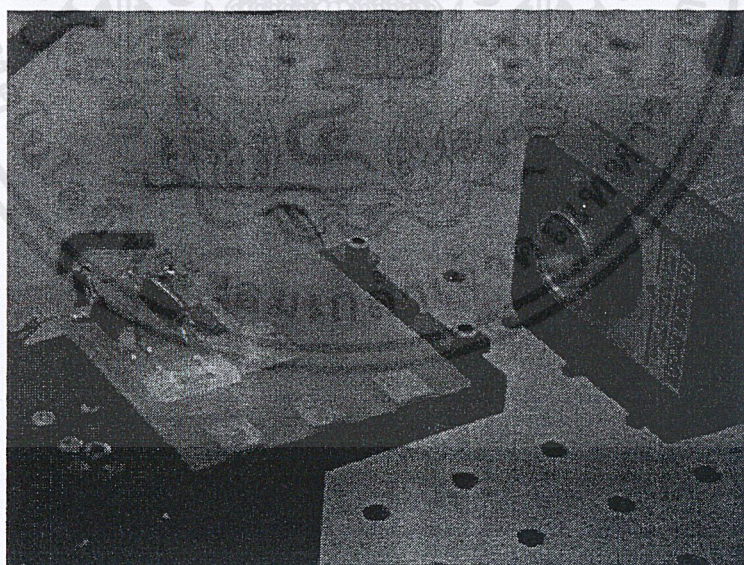
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับความเข้มแสง



รูปที่ 4.4 การจัดวางอุปกรณ์การมอดูเลตภายนอก



รูปที่ 4.5 ภาพแสดงทิศทางการยิงแสงเลเซอร์เข้าสู่ผลึกลิเทียมไนโอเบต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กำหนดลักษณะเฉพาะของผลึกลิเทียมไนโอเบตที่ใช้เป็นตัวกลางภายนอก

4.2.1 ค่าการทะลุผ่านของการมอดูเลต(I_T)

$$\begin{aligned} I_T &= I_{\max} / I_0 \\ &= 1.0519 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

4.2.2 ค่าความสูญเสียแบบอินเสิร์ตชัน(Insertion loss)

$$\begin{aligned} \text{loss}(dB) &= 10 \log(I_{\max} / I_0) \\ &= -99.7802 \end{aligned}$$

4.2.3 อัตราส่วนของแอกทินชัน(Extensio Ratio : ER)

$$\begin{aligned} ER &= I_{\min} / I_{\max} \\ &= 0.0532 \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned} ER(dB) &= -10 \log(I_{\min} / I_{\max}) \\ &= 12.7408 \end{aligned}$$

4.3 การเปลี่ยนเฟสของลิเทียมไนโอเบต

เมื่อยิงแสงความยาวคลื่น $0.633 \mu\text{m}$ เข้าสู่ผลึกลิเทียมไนโอเบตในทิศ X และแรงดัน $1.26 - 5$ โวลต์ในทิศ Y ผลึกลิเทียมไนโอเบตหนา 1 mm ยาว 1 cm และ n_o มีค่า 2.286 , γ_{22} มีค่า $3.4 \times 10^{-12} \text{ m/v}$ จะมีการเปลี่ยนเฟสดังสมการ

$$\begin{aligned}\varphi_m &= (\pi / \lambda_o) n_o^3 \gamma_{22} E l \\ &= (\pi / \lambda_o) n_o^3 \gamma_{22} (l / d) V\end{aligned}$$

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนเฟสแสงของลิเทียมไนโอเบต

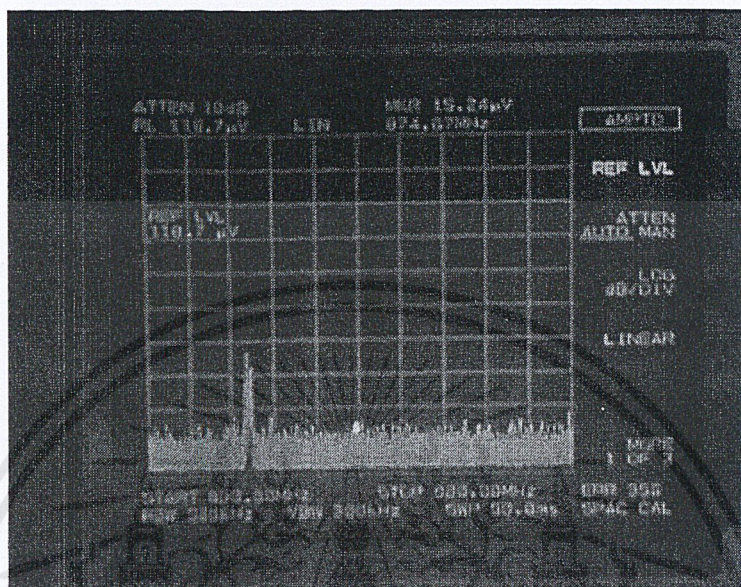
แรงดัน (โวลต์)	เฟสที่เปลี่ยน (เรเดียน)
1.26	0.0025
1.40	0.0028
1.6	0.0032
1.8	0.0036
2.0	0.0040
2.2	0.0044
2.4	0.0048
2.6	0.0052
2.8	0.0056
3.0	0.0060
3.4	0.0069
3.6	0.0073
3.8	0.0077
4.0	0.0081
4.2	0.0085
4.4	0.0089
4.6	0.0093
4.8	0.0097
5.0	0.0101



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเฟสที่เปลี่ยนไป

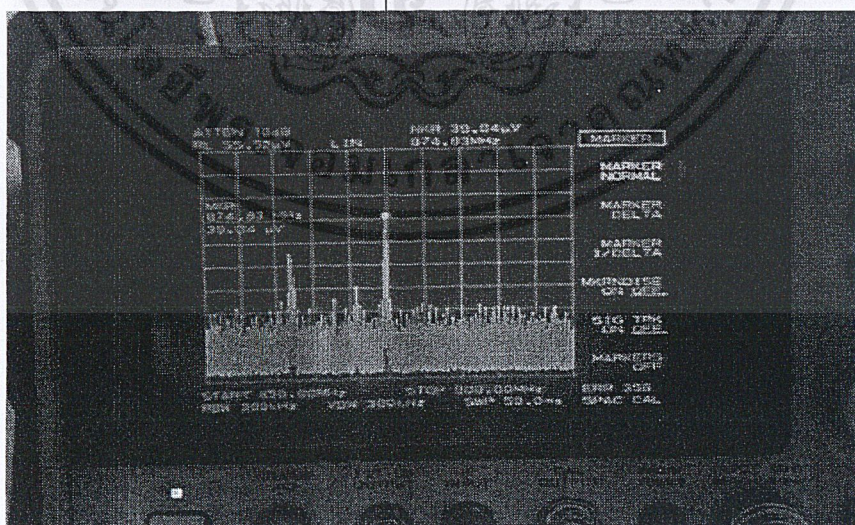
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพแสดงผลการทดลอง



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณจากสเปกตรัมอะนาไลเซอร์

สัญญาณที่วัดได้จากตัวรับสัญญาณ



รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณจากสเปกตรัมอะนาไลเซอร์เมื่อให้ความถี่ 1 GHz แรงดันเท่ากับ 1.26 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองนี้เราได้เลือกที่จะทำการออกแบบการเคลื่อนขั้วอิเล็กทรอนิกส์ให้มีลักษณะนี้ เนื่องมาจากการเคลื่อนในลักษณะนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแนวโพลาไรซ์ในผลึก ทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟสซึ่งจะทำให้ความถี่เปลี่ยน และได้ทำการต่อตัวต้านทาน 50 โอห์มกับผลึกลิเทียมไนโอเบตเพื่อทำให้เกิดการแมตช์ซิง อิมพีแดนซ์ (Matching impedance) เพื่อป้องกันการสะท้อนของสัญญาณ และจากการทดลองยิงแสงเลเซอร์เข้าสู่ผลึกลิเทียมไนโอเบตนี้จะเห็นว่าที่ความถี่ต่างๆ ผลึกจะไม่มี การตอบสนอง แต่จะมีความถี่ของสัญญาณที่ได้จากเครื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ไปปรากฏที่เครื่อง สเปกตรัม อะนาไลเซอร์ (Spectrum analyzer) แทน ซึ่งสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณรบกวนที่มาจากเครื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ

เมื่อความถี่ของเครื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ มีค่าสูงๆ(ในการทดลอง 1 GHz) ผลึกลิเทียมไนโอเบตจะมีการตอบสนอง โดยจะมีความถี่อีกความถี่หนึ่งปรากฏพร้อมกับความถี่ที่ได้จากการเครื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ และความถี่ที่ได้นี้จะมิต่ำกว่าความถี่ที่ได้จากเครื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ (ในการทดลองได้ความถี่มีค่า 874.75 MHz) เมื่อทำการเพิ่มไฟแรงดันกระแสตรง จะทำให้ได้ค่า เอ๊าท์พุท (dBm) ลดลง และการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณแสงที่ใส่ในลิเทียมไนโอเบต มาจากค่าสนามไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปแก่ลิเทียมไนโอเบต จะเห็นว่าเมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะทำให้เฟสเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามสมการ $\varphi_m = (\pi / \lambda_0) n_{01}^3 \gamma_1 E_m l$

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้จะพบว่าเมื่อทำการใส่ความถี่ต่างๆจากเครื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ จะมีความถี่ปรากฏที่เครื่องสเปกตรัม อะนาไลเซอร์ (Spectrum Analyzer) ซึ่งความถี่ที่ปรากฏนี้เป็นความถี่ที่ได้จากเครื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากระบบไม่มีการป้องกันการแพร่ของคลื่น และความถี่ที่ได้จากผลึกลิเทียมไนโอเบตจะมีค่าน้อยกว่าความถี่ที่ได้จากเครื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ เพราะเนื่องจากว่าสัญญาณความถี่ที่ใส่เข้าไปนั้นจะทำการสั้น โมเลกุลภายในผลึกลิเทียมไนโอเบต เพราะฉะนั้นอัตราการสั้นของโมเลกุลในผลึกอาจจะไม่เท่ากับความถี่ที่ป้อนเข้าไปก็ได้ และยังมีผลเนื่องจากการสูญเสีย(Loss)ของสัญญาณที่เดินทางมาตามสายสัญญาณ ซึ่งสายสัญญาณ ที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดยาวเกินไปและไม่มีการป้องกันการสูญเสีย(Loss)ของสัญญาณ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เช่น ตัวรับสัญญาณ(Detector) มีประสิทธิภาพจำกัด แม้ว่าจะเป็นแบบความเร็วสูง (High Speed) และเครื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ นี้สามารถให้ความถี่มากที่สุด 1.2 GHz ซึ่งไม่สามารถที่จะใช้ค่าความถี่ได้สูงกว่านี้อีก

ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีในการผลิตตัวของลิเทียมไนโอเบตในการทดลองอาจจะไม่ได้มาตรฐานสำหรับการเปลี่ยนแนวโพลาไรซ์ เนื่องจากการทำขั้วอิเล็กโทรดในการทดลองนี้ใช้วิธี เทอร์มอล อีวาปอเรชัน (Thermal Evaporation) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย และราคาถูก แต่ก็ให้ผลลัพธ์ ที่ไม่ค่อยดีนัก

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. จัดระบบให้มีการป้องกันการแพร่ของคลื่นความถี่สูง(Shield)
2. สายสัญญาณควรจะมีขนาดสั้นและมีการป้องกันการสูญหายของสัญญาณ
3. อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและเครื่องแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ควรมีประสิทธิภาพที่สูง
4. ใช้ผลึกลิเทียมมอดูเลต(LM)ซึ่งมีประสิทธิภาพมาตรฐาน แต่จะมีราคาสูงมาก
5. พัฒนาการออกแบบขั้วอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ทำการเปลี่ยนโพลาริเซชันของผลึกได้ดีขึ้น

5.4 การประยุกต์ใช้งาน

มีการนำผลึกลิเทียมไนโอเบตไปประยุกต์ใช้งานทางการสื่อสาร โดยจะนำไปใช้ในการปรับย่านความถี่ของคลื่นโทรศัพท์มือถือ ซึ่งย่านความถี่โทรศัพท์มือถือที่ใช้จะอยู่ในช่วง 470 MHz ,800 MHz ,900 MHz ,1800 MHz ,1900 MHz, 2GHz ซึ่งจะใช้เป็นเซลล์ไซต์ (Cell cite) โดยที่ผลึกลิเทียมไนโอเบตจะรับสัญญาณแสงและทำการมอดูเลตเพื่ออัปลิงค์ (Uplink) สัญญาณแล้วแปลงเป็นคลื่นไมโครเวฟส่งไปตามเสาอากาศ

ประวัติผู้เขียน

น.ส. ชีรนนท์ สุรเสียงสังข์ เกิดวันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2522 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนไพฑูริคศึกษาและโรงเรียนเบญจมินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับเตรียมอุดมศึกษาที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า และเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา ณ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายสมชาย ทรงศิริเดช เกิดวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2523 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในระดับประถมศึกษา และมัธยมศึกษา จากโรงเรียน อัสสัมชัญ และเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา ณ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

1. รศ.ดร. ปรีชา ชูพาพิน, วิศวกรรมโยธาแก่นำแสง, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, หน้า 53-68, พ.ศ. 2544.
2. คู่มือ เครื่องาม, สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ : ฟิสิกส์ เทคโนโลยีและการทำงาน เล่ม 1, หน้า 711 – 756, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2542.
3. คู่มือ เครื่องาม, สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ : ฟิสิกส์ เทคโนโลยีและการทำงาน เล่ม 2, หน้า 284 – 289, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2542.
4. Dutton, H.J., Understanding Optical Communications, หน้า 731 – 736, Prentice Hall, 1998.
5. Powers, J., An Introduction to Fiber optic systems, 2nd ed. หน้า 11 – 70, McGraw-Hill, 1999.
6. Kaminow, I., และ Koch, T., Optical Fiber Telecommunication IIIB, หน้า 377-415, Academic Press, 1997.
7. Kaminow, I. และ Miller, S., Optical Fiber Telecommunication II, หน้า 362-367, Academic Press, 1990.
8. Wooten, Ed L., K. M. Kissa, Alfredo Yi-Yan, E. J. Murphy, D. A. Lafaw, P. F. Hallemeier, D. Maack, D. V. Attanasio, D.J. Fritz, G. J. McBrien, และ D. E. Bossi, A Review of Lithium Niobate Modulator for Fiber-Optic Communications Systems. IEEE J. Quantum Electron. vol.6(1).(2000) : 69-80
9. Voges, E. และ A. Neyer, Integrated-Optic Devices on LiNbO₃ for Optical Communication. IEEE J. Quantum Electron., 1987.
10. Howerton, M.M., R.P. Moeller, A.S. Greenblatt, และ R. Krahenbuhl., Fully Packaged, Broad-Band LinbO₃ Modulator with Low Drive Voltage. IEEE Photon Tech. vol.12(7). (2000) : 792-794.
11. Pohlmann, T., A. Neyer. และ E. Voges, Polarization Independent Ti:LiNbO₃ Switches and Filters., IEEE J. Quantum Electron. vol.27(3).(1991) : 602-607.
12. Kawano, K., T. Kitoh, H. Jumonji, T. Nozawa, M. Yanagibashi, และ T. Suzuki., Spectral-Domain Analysis of Coplanar Waveguide Traveling-Wave Electrodes and their

Applications to Ti:LiNbO₃ Mach-Zehnder Optical Modulators., IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.39 (9). (1991) : 1595-1601.

