การศึกษาการสวิตช์ด้วยแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟริงเจนท์ ด้วยวิธีการควบคุมการคัปปลิ้งโหมดโพลาไรซ์ชัน

A STUDY OF OPTICAL SWITCHING USING BIREFRINGENT FIBERS BY POLARIZATION MODE COUPLING CONTROL

ธนะศักดิ์ พิพัฒน์ถิรกุล

THANASAK PIPATANAPITTONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2543

ISBN 974-622-924-9

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการสวิตช์ด้วยแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟริน เจนซ์ด้วยวิธีการควบคุมการคัปปลิงโหมดโพลาไรเซชัน

A STUDY OF OPTICAL SWITCHING USING BIREFRINGENT FIBERS BY POLARIZATION MODE COUPLING CONTROL

T037665

ธนะศักดิ์ พิพัฒนภิวงศ์

THANASAK PIPATANAPIWONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-924-9

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37665
วัน, เดือน, ปี 19 ต.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF OPTICAL SWITCHING USING BIREFRINGENT FIBERS BY POLARIZATION MODE COUPLING CONTROL

THANASAK PIPATANAPIWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2000

ISBN 974-622-924-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2000
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการสวิตช์ด้วยแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ด้วยวิธีการควบคุมการคัปปลิงโหมดโพลาไรเซชัน

A STUDY OF OPTICAL SWITCHING USING BIREFRINGENT FIBERS BY POLARIZATION MODE COUPLING CONTROL

ชื่อนักศึกษา นายธนะศักดิ์ พิพัฒนภิวงศ์

รหัสประจำตัว 41065012

หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วราวุฒิ	เฉลัดดา	
รศ.ดร.ปรีชา	ยุพาพิน	
ผศ.ดร.ฐิตินัย	แก้วแดง	
ผศ.ดร.ทิพรัตน์	วงษ์เจริญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 31 กรกฎาคม 2543 เวลา 13.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง 424 ห้องประชุม-สัมมนา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 15 **เดือน** ..... **พ.ศ.** 2543

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการสวิตช์ด้วยแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ด้วยวิธีการควบคุมการคัปปลิงโหมดโพลาไรเซชัน
นักศึกษา	นายธนะศักดิ์ พิพัฒนภิวงศ์
รหัสประจำตัว	41065012
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน

บทคัดย่อ

การสวิตช์ด้วยแสงเป็นวิธีที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนแปลงการเดินทางของแสง ซึ่งอาจนำไปใช้ประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์กระจายกำลังแสงในระบบสื่อสารหรือสำหรับการวัดและการทดลองต่างๆได้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการสวิตช์ด้วยแสงด้วยการใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ โดยการควบคุมการโพลาไรซ์ของแสงด้วยวิธีการรบกวนด้วยการ กด การให้ความร้อน และการยืดเส้นใยนำแสง เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ที่ใช้มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ ชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชันแบบไฮลีไบร์ฟรินเจนซ์ ชนิดโบว์-ไท และชนิดอี-คอร์ และเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว วิธีการทดสอบเริ่มโดยแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะถูกทำให้เป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นก่อนเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงและระบบทดสอบ ผลจากการศึกษาพบว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท มีคุณสมบัติในการคัปปลิงแสงได้ดีที่สุด โดยที่เมื่อการคัปปลิงที่ใช้แรงขนาด 5 นิวตัน จะทำให้เกิดการรบกวนข้ามช่องของสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ – 0.14 เดซิเบล สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานนั้นได้นำไปใช้ทดลองการสวิตชิ่งแบบความยาวคลื่น ซึ่งเป็นการสวิตชิ่งเพื่อเลือกใช้ข้อมูลระหว่างสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกัน จากการทดลองพบว่าสัญญาณทั้งสองความยาวคลื่นสามารถเกิดการสวิตชิ่งขึ้นได้ เมื่อทำการคัปปลิงด้วยแรงอย่างน้อยขนาด 3 นิวตัน นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสงเอาต์พุตที่ได้จากการทดลอง และพบว่าแนวของโพลาไรเซชันสามารถเปลี่ยนจากแนวที่ตั้งฉากไปสู่แนวระนาบเมื่อเทียบกับแกนอ้างอิงได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study of Optical Switching using Birefringent Fibers by Polarization Mode Coupling Control
Student	Mr. Thanasak Pipatanapiwong
Student ID.	41065012
Degree	Master of Science
Programme	Applied Physics
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Preecha Yupapin

ABSTRACT

Optical switch is used for rerouting the optical signals in optical communication, for instance, distribution networks, measuring equipment and experiments. This research is the study of optical switching characteristics using birefringence fibers with polarization mode control method. The polarization mode coupling techniques using mechanical squeezing, thermal and stretching fibers were demonstrated. Three different birefringence fibers such as Bow-tie, E-core and single mode fiber were investigated. The principle of the system was that light from source was linearly polarized before entering into the birefringent fiber length and optical system. Results obtained have shown that the one using bow-tie fiber induced such a good coupling efficiency. The optical output cross-talk of –0.14 dB was achieved when the applied force of 5 N was employed. The application of this work was used for wavelength routing switching, where two wavelength multiplexed signals were switched when the initial applied force of at least 3 N was used. The output polarization was also clarified by the Stoke method, where results have shown that state of polarization was changed satisfactory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น โดยเนื่องจากได้รับความเมตตากรุณาเป็นอย่างดีจากคณาจารย์ภายในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่าน รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน ผู้ซึ่งค่อยให้คำปรึกษาและแนะนำเนื้อหาทางด้านหลักการและทฤษฎีต่างๆตลอดจนคอยช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในขณะการทำงานวิจัยนี้ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ในที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา ผศ.ดร. ฐิตินัย แก้วแดง และ ผศ.ดร. ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ ซึ่งเป็นผู้ตรวจทานเนื้อหาและให้คำเสนอแนะตลอดจนชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

และขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆทุกคนที่ได้คอยช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆในการทำงานวิจัยนี้ตลอดมา

สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีมาจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธนะศักดิ์ พิพัฒนภิวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VIII

สารบัญรูป IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 การดำเนินงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 3

บทที่ 2 หลักการพื้นฐาน 4

2.1 ธรรมชาติของแสง 4

2.2 โพลาไรเซชัน 8

2.2.1 แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น 11

2.2.2 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม 13

2.2.3 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี 17

2.3 โจนส์เวกเตอร์ 21

2.3.1 โจนส์เวกเตอร์ของแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น 23

2.3.2 โจนส์เวกเตอร์ของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม 26

2.3.3 โจนส์เวกเตอร์ของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี 27

2.4 โจนส์เมตริกซ์ 29

2.4.1 โจนส์เมตริกซ์ของโพลาไรเซอร์ชนิดเชิงเส้น 29

2.4.2 โจนส์เมตริกซ์ของตัวหน่วงเฟส 31

2.4.3 โจนส์เมตริกซ์ของตัวหมุนเฟส 32

2.5 สโตกส์เวกเตอร์ 33

2.6 การควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้น 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.6.1 แหล่งกำเนิดแสง 37
2.6.2 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ 37
2.7 สรุป 38

บทที่ 3 อุปกรณ์สวิตซิ่งแสง 39
3.1 คณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แสงหลายพอร์ต 39
3.2 อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงเชิงกล 41
3.2.1 อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงเชิงกลแบบ 1x1 42
3.2.2 อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงเชิงกลแบบ 1xN 43
3.2.3 อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงเชิงกลแบบ NxM 45
3.3 อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงไม่เชิงกล 46
3.3.1 อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงแบบแสง-ไฟฟ้า 47
3.3.2 อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงแบบแสง-เสียง 47
3.4 สรุป 48

บทที่ 4 อุปกรณ์การวิจัย 49
4.1 อุปกรณ์ทางแสง 49
4.1.1 เลเซอร์ฮีเลียมนีออน 49
4.1.2 เลเซอร์ไดโอด 51
4.1.2.1 การมอดูเลตเลเซอร์ไดโอด 55
4.1.3 โพลาไรเซอร์ 57
4.1.4 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ 59
4.1.4.1 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท 62
4.1.4.2 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์ 63
4.1.4.3 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว 63
4.1.5 ผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ 64
4.2 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ 65
4.2.1 พินโฟโตไดโอด 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.1.1 สัญญาณรบกวนในโฟโตดีเทคเตอร์ 68

4.2.1.2 เวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจรับแสง.....69

4.3 สรุป 70

บทที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 72

5.1 การสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง 72

5.1.1 การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง 75

5.2 การสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง 77

5.2.1 การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง 78

5.3 การสวิตชิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง 79

5.3.1 การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง 80

5.4 การสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น 82

5.4.1 การทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น 85

5.5 การตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชัน 87

5.5.1 การทดลองการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชัน 88

5.6 สรุป 89

บทที่ 6 ผลของการดำเนินงานวิจัย 90

6.1 ผลของการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง 90

6.2 ผลของการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง 94

6.3 ผลของการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง 96

6.4 ผลของการทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น 98

6.5 ผลของการทดลองการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชัน 100

6.6 สรุปผลการทดลอง 103

6.7 ประโยชน์ของการสวิตชิ่งเส้นใยแก้วนำแสง 105

6.7.1 ด้านการสื่อสาร 105

6.7.2 ด้านการตรวจวัด 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 7 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อไป 106

7.1 บทสรุป 106

7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น 108

7.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป 109

เอกสารอ้างอิง 110

ภาคผนวก 112

ภาคผนวก ก. แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียมนีออน 113

ภาคผนวก ข. แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอด 115

ภาคผนวก ค. อุปกรณ์รับแสง 117

ภาคผนวก ง. วงจรรับสัญญาณแสง 119

ภาคผนวก จ. รูปแสดงอุปกรณ์ทดลองเพิ่มเติม 121

ประวัติผู้เขียน 124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงนอร์แมลไลซ์พารามิเตอร์สำหรับแสงโพลาไรซ์หลายๆสถานะ 35

3.1 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกล 41

3.2 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงไม่เชิงกล 46

6.1 แสดงค่าความเข้มแสงต่างๆที่วัดได้และจะนำไปใช้สำหรับคำนวณค่าสโตกส์พารามิเตอร์ในกรณีที่ก่อนทำการคัปปลิง 101

6.2 แสดงค่าความเข้มแสงต่างๆที่วัดได้และจะนำไปใช้สำหรับคำนวณค่าสโตกส์พารามิเตอร์ในกรณีที่ขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดจุดเริ่มสวิตชิ่ง 102

6.3 แสดงค่าความเข้มแสงต่างๆที่วัดได้และจะนำไปใช้สำหรับคำนวณค่าสโตกส์พารามิเตอร์ในกรณีที่ขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดการสวิตชิ่งอย่างสมบูรณ์ 103

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงหน้าคลื่นของแสงแบบวงกลมและแบบระนาบ 6

2.2 แสดงการสะท้อนและหักเหของแสงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน เมื่อ n_1 และ n_2 เป็นค่าดัชนีหักเหโดย $n_2 < n_1$ ซึ่ง θ_1 เป็นมุมตกกระทบและ θ_2 เป็นมุมหักเห 7

2.3 แสดงการหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสงในตัวกลางที่เป็นแก้ว(n_1) และอากาศ(n_2) 8

2.4 แสดงการสั่นของแสงธรรมชาติ ซึ่งมีสนามไฟฟ้า($\bar{E}$) ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก($\bar{H}$) 8

2.5 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นตกกระทบทำมุม θ กับแกนโพลารอยด์ 9

2.6 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีมุมที่เปลี่ยนไป (ก) ตามแกน X (ข)ตามแกน Y (ค) ทำมุม 45° กับแกน X และ (ง) ทำมุม 26° กับแกน X โดยที่ A_x และ A_y เป็นแอมพลิจูดในแนวแกน X และแกน Y ตามลำดับ 12

2.7 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามขวาและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน 90° (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน(ก) (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง และ (ง) แสดงทางเดินของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า 14

2.8 แสดงการหมุนของเวกเตอร์ไฟฟ้าในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา 15

2.9 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน 90° (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน(ก) (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง และ (ง) แสดงทางเดินของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า 17

2.10 แสดงการกำหนดทิศทางของการหมุนสำหรับโพลาไรเซชันชนิดวงรี 18

2.11 แสดงลักษณะทั่วไปของคลื่นโพลาไรซ์ชนิดวงรี 19

2.12 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดต่างกันและเฟสต่างกัน 90° (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน(ก) (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง และ (ง) แสดงทางเดินของเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

สนามไฟฟ้า 21

2.13 แสดงสนามไฟฟ้าของแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีการวางตัวของสนามไฟฟ้าในแนวต่างๆกัน โดยทิศที่แสงเคลื่อนที่ไปในทิศ +Z 23

2.14 แสดงรูปลิสซาจูส์สำหรับการสั่นในแนวแกน X และ Y ที่มีแอมพลิจูดไม่เท่ากัน และมีความต่างเฟส $\Delta\phi = \phi_Y - \phi_X$ ค่าต่างๆ 26

2.15 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีในกรณีที่ $\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$ 28

2.16 แสดงการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้นของแหล่งกำเนิดแสง 37

2.17 แสดงการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้นของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ ด้วยวิธี (ก) การกด (ข) การให้ความร้อน และ (ค) การยืดเส้นใยแก้วนำแสง 38

3.1 แสดงอุปกรณ์แสงหลายพอร์ต 39

3.2 แสดงลักษณะของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกลแบบ 1x1 เมื่อ (ก) อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงที่ใช้การเลื่อนเส้นใยแก้วนำแสง (ข) อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงที่ใช้การเลื่อนแท่งแก้วปริซึม(Prism) และ (ค) อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบอิเล็กโตรเวตติง(Electrowetting)โดยใช้ปรอท(Hg)เป็นตัวเปิด-ปิดทางเดินของแสง 43

3.3 แสดงลักษณะของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกลแบบ 1xN เมื่อ (ก) อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงที่ใช้การเลื่อนเส้นใยแก้วนำแสงที่มีปลอกโลหะนิเกิล(Nickel Sleeve)สวมอยู่ตอนปลาย (ข) อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงที่ใช้การหมุนแผ่นกระจก(Mirror)ด้วยมอเตอร์(Motor)เพื่อเปลี่ยนทางเดินของแสง และ (ค)อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบอิเล็กโตรเวตติง โดยใช้ปรอท(Hg)เป็นตัวเปลี่ยนทางเดินของแสง 44

3.4 แสดงลักษณะของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกลแบบ NxM เมื่อ (ก) อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบใช้เลื่อนเส้นใยแก้วนำแสงที่ยึดติดกับปลอกโลหะที่สามารถเคลื่อนที่ได้(Movable Ferrule) โดยมีเส้นใยแก้วนำแสงที่ยึดติดกับปลอกโลหะที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้(Fixed Ferrule)อยู่อีกทางด้านหนึ่ง และ (ข) อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบใช้เลื่อนแท่งแก้ว(Glass Block)เพื่อเปลี่ยนทางเดินของแสง 46

3.5 แสดงอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบแสง-ไฟฟ้า 47

3.6 แสดงอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบแสง-เสียง 48

4.1 แสดงระดับพลังงานของสารตัวกลางภายในเครื่องฉายแสงเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

และแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงระดับสภาวะพลังงานต่างๆ 50

4.2 แสดงส่วนประกอบของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน ที่ประกอบด้วยแผ่นสะท้อนแสงแบบโค้งทางด้านปลายทั้งสองข้าง(ความโค้งที่แสดงไว้ในรูปนี้วาดให้โค้งมากกว่าที่เป็นจริง) 51

4.3 แสดงการเกิดการปลดปล่อยแสงของเลเซอร์เมื่อ (ก) กระบวนการดูดกลืนโฟตอน (ข) การปลดปล่อยพลังงานโดยธรรมชาติ และ(ค) กระบวนการเร่งการปลดปล่อยพลังงาน 53

4.4 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอด 53

4.5 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไบแอสกับกำลังของแสงที่เปล่งออกมา 55

4.6 แสดงตำแหน่งของการมอดูเลตสัญญาณให้กับเลเซอร์ไดโอดได้สูงสุด 57

4.7 แสดงอุปกรณ์โพลาไรเซอร์ชนิดเชิงเส้น 57

4.8 แสดงลักษณะโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง 59

4.9 แสดงความยาวบีตส์ในเส้นใยแก้วนำแสง (ก) สถานะโพลาไรเซชันเมื่อเทียบกับ ϕ_z (ข) ความเข้มของแสงที่ปรากฏในเส้นใยแก้วนำแสงโดยความเข้มนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงครบรอบในหนึ่งความยาวบีตส์ 60

4.10 แสดงการจัดแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชัน.....62

4.11 แสดงภาพตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 3 ชนิด คือ (ก) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท (ข) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์ และ (ค) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว 64

4.12 แสดงผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ เมื่อ (ก) การรวมแสงโพลาไรซ์ และ (ข) การแยกแสงโพลาไรซ์ 64

4.13 แสดงรูปแบบโครงสร้างของพินโฟโตไดโอดและการไบแอสให้พินโฟโตไดโอด.....66

4.14 แสดงการไหลของอิเล็กตรอนในรอยต่อของพินโฟโตไดโอด 67

4.15 แสดงรูปแบบและการใช้งานของพินโฟโตไดโอดที่ต่อกับวงจรขยายสัญญาณ(AMP).....69

4.16 แสดงการแพร่ของอิเล็กตรอนเมื่อมีแสงมาตกกระทบในพินโฟโตไดโอด 70

5.1 แสดงการเปลี่ยนแนวโพลาไรเซชันและเฟสของโหมดแสงทั้งสองเนื่องจากการกด.....72

5.2 แสดงระบบการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง 75

5.3 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง.....76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.4 แสดงการเปลี่ยนแนวโพลาไรเซชันและเฟสของโหมดแสงทั้งสองเนื่องจากการให้ความร้อน 77

5.5 แสดงระบบการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง.....78

5.6 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง 79

5.7 แสดงการคัปปลิงด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง 80

5.8 แสดงระบบการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง 81

5.9 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง.....81

5.10 แสดงการเปลี่ยนแนวโพลาไรเซชันและเฟสของโหมดแสงทั้งสองความยาวคลื่นเนื่องจากการกดเส้นใยแก้วนำแสง 82

5.11 แสดงระบบการทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น 85

5.12 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น.....86

5.13 แสดงระบบการทดลองการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชัน 88

6.1 แสดงลักษณะของสัญญาณในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 เมื่อ (ก) ก่อนทำการคัปปลิง และ (ข) หลังทำการคัปปลิง 91

6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเข้มแสงของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 3 ชนิด คือ (ก) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท (ข) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์ และ (ค) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว(▲ ช่องสัญญาณที่ 1, ■ ช่องสัญญาณที่ 2) 92

6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเกิดการรบกวนข้ามช่องของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท(▲) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์(■) และเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว(●) 93

6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับค่าอัตราการคัปปลิงของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท(▲) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์(■) และเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว(●) 93

6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มแสงของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท ที่ถูกกดด้วยมวลขนาด (ก) ไม่มีมวลกด (ข) 100 กรัม และ (ค) 400 กรัม(▲ ช่องสัญญาณที่ 1, ■ ช่องสัญญาณที่ 2) 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเข้มแสงของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท ที่ถูกยืดด้วยความถี่ 0-400 เฮิรตซ์ (▲ ช่องสัญญาณที่ 1, ■ ช่องสัญญาณที่ 2) 96

6.7 แสดงลักษณะสัญญาณของช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ที่คัปปลิงด้วยความถี่ 200 เฮิรตซ์ เมื่อ (ก) ก่อนทำการคัปปลิง และ (ข) หลังทำการคัปปลิง 97

6.8 แสดงลักษณะสัญญาณของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2 ในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อ (ก) ก่อนทำการคัปปลิง และ (ข) หลังทำการคัปปลิง.....99

6.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเข้มแสงในช่องสัญญาณที่ 1 (▲) และ ช่องสัญญาณที่ 2 (■) ของ (ก) ความยาวคลื่นที่ 1 และ (ข) ความยาวคลื่นที่ 2 100

ง -1 แสดงวงจรรับสัญญาณแสง.....120

จ – 1 แสดงมวลที่ใช้ในการคัปปลิง 122

จ – 2 แสดงการคัปปลิงด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง 122

จ – 3 แสดงการคัปปลิงด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง 123

จ – 4 แสดงการคัปปลิงด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นได้ทวีบทบาทมากยิ่งขึ้น ทั้งทางด้านการสื่อสาร การแพทย์ และการตรวจวัด เป็นต้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นมีอยู่มากมาย เช่น มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ปราศจากสัญญาณรบกวน(ในย่านคลื่นวิทยุ) และไม่ขึ้นกับสภาพความแปรปรวนของสภาวะดินฟ้าอากาศขณะใช้งาน อีกทั้งยังสามารถส่งสัญญาณได้จำนวนมากทั้งระบบการสื่อสารแบบจุดต่อจุดและระบบการสื่อสารแบบเครือข่ายด้วย ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการสวิตช์สัญญาณด้วยแสงโดยใช้เทคนิคการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันด้วยวิธีการคัปปลิง(Coupling)เส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาอุปกรณ์ทางแสงที่สามารถใช้ในระบบการสื่อสารทางแสงได้ โดยใช้ทำเป็นอุปกรณ์สวิตชิ่ง เนื่องจากปัจจุบันการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงมีความต้องการมากขึ้นเป็นลำดับ ดังนั้นจึงได้มีการนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้เป็นตัวกลางในการสื่อสารสัญญาณด้วยแสง และจากการที่อุปกรณ์สวิตชิ่งอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันยังมีขอบเขตการใช้งานที่จำกัดเมื่อเทียบกับความเร็วในการสื่อสารสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์สวิตช์ด้วยแสงขึ้นมา[1,2] และยังสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงที่ใช้ในระบบการสื่อสารได้อีกด้วย และสำหรับในการศึกษาวิจัยอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงนั้นยังเป็นการศึกษาเพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการทางด้านแบนด์วิดท์(Bandwidth)ของการสื่อสารที่มีความต้องการมากขึ้นเรื่อยๆด้วย โดยงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิธีการควบคุมการคัปปลิงโหมดโพลาไรเซชันและการสวิตชิ่งแสงก็มีอยู่เรื่อยๆมา[3-6] ดังเช่นในปี ค.ศ. 1979 อุลริช(Ulrich) [3] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโดยวิธีการกดลงบนเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อทำให้ค่าไบร์ฟรินเจนซ์(Birefringence)เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะเป็นผลให้สถานะโพลาไรซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการได้ และต่อมาในปี ค.ศ. 1990 ยามาซากิ(Yamazaki) [4] และคณะนักวิจัยของบริษัท NEC ได้ใช้หลักการเดียวกันนี้ในการทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบการสื่อสารทางแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองนั้นได้พบว่าการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ของแสงบนเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวนั้นให้สามารถเป็นไปตามความต้องการนั้นเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก เนื่องจากคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มีความสามารถในการรักษาสถานะโพลาไรซ์ของแสงได้ไม่ดีนักนั่นเอง และ ในปี ค.ศ. 1992 คัตสุยามา(Katsuyama) [5] และ คณะนักวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของบริษัท NTT ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการสวิตชิ่งแสงโดยใช้วิธีการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ของแสง แต่อุปกรณ์ที่ใช้ในการสวิตชิ่งนั้นเป็นอุปกรณ์ทางแสงที่มีความยุ่งยากสลับซับซ้อนมาก

และจากการทำการศึกษางานวิจัยของท่าน ปรีชา ยุพาพิน(P.Yupapin) [6] เกี่ยวกับการใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์มาทำการควบคุมสถานะโพลาไรซ์ของแสงได้ ดังนั้นจากหลักการของงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น พบว่าถ้านำเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์มาทำการคัปปลิงแล้วจะสามารถควบคุมสถานะโพลาไรซ์ของแสงได้ ซึ่งสามารถที่จะนำไปทำเป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งได้และเป็นแนวทางของงานวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการสวิตช์ด้วยแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ด้วยวิธีการควบคุมการคัปปลิงโหมดโพลาไรเซชัน

1.2.2 เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นและเป็นการกระตุ้นให้มีการสร้างและพัฒนาต้นแบบของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสง

1.2.3 เพื่อศึกษาเทคนิคและวิธีการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสง

1.2.4 เพื่อเป็นการนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาระบบการสื่อสารทางแสง

1.3 การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในเรื่องของการศึกษาการสวิตช์ด้วยแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ด้วยวิธีการควบคุมการคัปปลิงโหมดโพลาไรเซชัน เริ่มต้นด้วยการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีเกี่ยวกับอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงและการควบคุมทิศทางของโพลาไรเซชันโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลาง และต่อจากนั้นเริ่มทำการทดลองโดยการทำให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นด้วยวิธีการควบคุมแสงด้วยการส่งผ่านแผ่นโพลาลอยด์(Polaroid) แล้วนำแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง เมื่อทำการคัปปลิงบนเส้นใยแก้วนำแสงจะทำให้โหมดโพลาไรเซชันเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งวิธีการในการคัปปลิงจะใช้วิธีการกด(Squeeze) การให้ความร้อน(Heat) และการยืด(Stretch)เส้นใยแก้วนำแสง ต่อจากนั้นแสงที่ออกมาจากเส้นใยแก้วนำแสงจะผ่านผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์(Polarization Beam Splitter, PBS) โดยถ้าแสงที่ออกมาจากเส้นใยนำแสงเป็นแสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบ แสงโพลาไรซ์นั้นก็จะทะลุผ่าน PBS ออกมาไปยังตัวรับแสงที่ 1 แต่ถ้าแสงที่ออกมาจากเส้นใยนำแสงเป็นแสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉาก แสงโพลาไรซ์นั้นก็จะสะท้อนออกมาทางด้านข้างของ PBS ไปยังตัวรับแสงที่ 2 และต่อจากนั้นก็นำหลักการและทฤษฎีที่ได้ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้กับระบบการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น ซึ่งเป็นการใช้ความยาวคลื่นสองความยาวคลื่นสำหรับแต่ละช่องสัญญาณมาทำการมอดูเลต(Modulate)สัญญาณแล้วทำให้เป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีโหมดโพลาไรเซชันแตกต่างกันแล้วส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อทำการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสงจะทำให้โหมดโพลาไรเซชันของแต่ละความยาวคลื่นสามารถเกิดการสลับแนวของการโพลาไรซ์กันได้ ดังนั้นสัญญาณแสงของแต่ละช่องสัญญาณจึงสามารถสลับช่องสัญญาณกันได้

ซึ่งข้อดีของงานวิจัยนี้คือ เป็นการศึกษาการสวิตชิ่งแสงโดยวิธีการควบคุมการคัปปลิงโหมดโพลาไรเซชันที่ใช้วิธีการอย่างง่ายๆ และใช้อุปกรณ์ที่มีราคาถูก เพื่อเป็นต้นแบบของการพัฒนาอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงราคาถูก

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 ทำให้ทราบถึงหลักการในการสวิตชิ่งด้วยแสง

1.4.2 ทำให้ทราบถึงเทคนิคและวิธีการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสง

1.4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในทางด้านการสื่อสารทางแสง

1.4.4 เป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการพื้นฐาน

ในงานวิจัยนี้สิ่งแรกที่จำเป็นจะต้องทำการศึกษาคือปรากฏการณ์พื้นฐานทางแสงก่อนรวมทั้งคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำงานวิจัย โดยในบทนี้จะประกอบไปด้วยหัวข้อของ ธรรมชาติของแสง โพลาไรเซชัน โจนส์เวกเตอร์(Jones Vector) โจนส์เมตริกซ์(Jones Matrices) สโตกส์เวกเตอร์ (Stokes Vector) และการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้น ซึ่งจะเสนอเรียงตามลำดับดังต่อไปนี้ คือ

2.1 ธรรมชาติของแสง

ในราวกลางศตวรรษที่ 17 ที่ผ่านมานั้น คนโดยทั่วไปได้เชื่อกันว่า แสงประกอบด้วยลำของอนุภาคเล็กๆซึ่งถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง เช่น ดวงอาทิตย์ โดยอนุภาคเล็กๆเหล่านี้จะเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงในแนวเส้นตรง และจะผ่านวัตถุโปร่งแสงไปได้ แต่ถ้าตกกระทบลงบนวัตถุทึบแสงแล้วแสงจะสะท้อนออกมา และเมื่ออนุภาคเล็กๆเหล่านี้กระทบกับดวงตาของเราจะทำให้เราสามารถมองเห็นวัตถุนั้นได้ และสามารถที่จะใช้ทฤษฎีของอนุภาคนี้อธิบายการเดินทางเป็นเส้นตรง การสะท้อนกลับจากผิวเรียบ เช่น กระจกเงา ด้วยมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ และการหักเหเมื่อเคลื่อนผ่านตัวกลางชนิดหนึ่งไปยังตัวกลางอีกชนิดหนึ่ง เช่น จากอากาศไปยังน้ำ เป็นต้น

ในขณะเดียวกันมีนักวิทยาศาสตร์บางคนเกิดความคิดว่า แสงบางทีอาจจะไม่ใช่ประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆเพียงอย่างเดียว แต่อาจจะเป็นคลื่นบางชนิดก็ได้ ในปี ค.ศ. 1670 ฮอยเกนส์ (Huygens) ได้อธิบายให้เห็นว่า กฎการสะท้อนและการหักเหสามารถที่จะอธิบายได้ด้วยทฤษฎีคลื่น และยังสามารถอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้อีกด้วย เช่น การหักเหเชิงซ้อน แต่ในขณะนั้นคนส่วนใหญ่ยังไม่ยอมรับฟังความคิดเห็นนี้ จึงมีข้อขัดแย้งเกิดขึ้นกล่าวคือ ถ้าแสงเคลื่อนที่เป็นคลื่นจริงแล้วก็ย่อมสามารถมองเห็นแสงเคลื่อนที่อ้อมผ่านมุมห้องได้ ทั้งนี้เพราะคลื่นนั้นสามารถเคลื่อนที่อ้อมผ่านวัตถุได้ อย่างไรก็ตามความยาวช่วงคลื่นของคลื่นแสงนั้นสั้นมาก ซึ่งแม้แสงจะสามารถหักเหผ่านสิ่งกีดขวางได้ก็ตามก็ยังไม่สามารถเห็นได้ ผู้ที่สังเกตเห็นปรากฏการณ์อันนี้คือ กริมาลดิ (Grimaldi) ในปี ค.ศ. 1965 และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเลี้ยวเบนของแสง(Diffraction of Light)

ในปี ค.ศ. 1827 ญัง(Young) และเฟรสเนล(Fresnel) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับเรื่อง การแทรกสอด(Interference) และการวัดความเร็วของคลื่นแสงในของเหลว ซึ่งการทดลองนี้แสดงให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

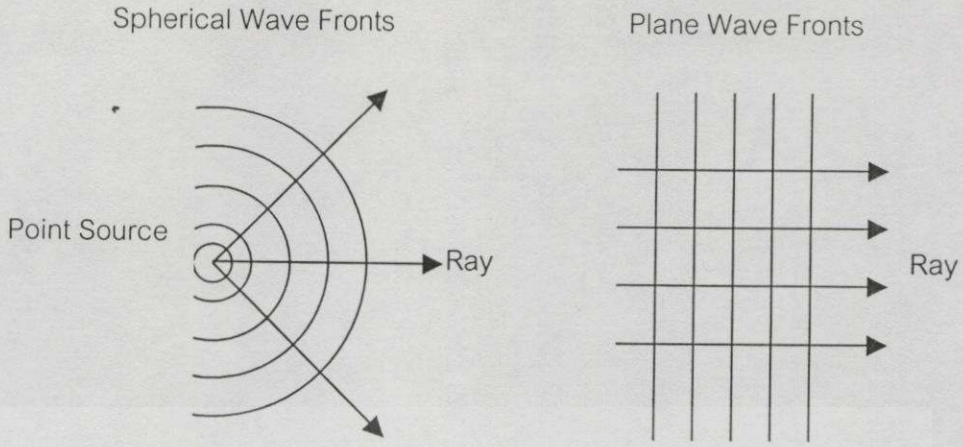
เห็นว่า การใช้ทฤษฎีของอนุภาคเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ ต้องใช้ปรากฏการณ์แทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสงอธิบายด้วย

ในปี ค.ศ. 1873 แมกซ์เวลล์(Maxwell) นักวิทยาศาสตร์ชาวสก๊อต ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าวัตถุที่สามารถสั่น(Oscillate) ได้ จะต้องสามารถแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นสามารถคำนวณได้ประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ซึ่งค่าที่ประมาณได้นี้จะมีค่าเท่ากับความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสงที่วัดได้จริงๆ จากหลักฐานที่ได้นี้จึงสามารถยืนยันได้ชัดว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความยาวช่วงคลื่นสั้นมาก ภายหลังจากการทดลองของแมกซ์เวลล์แล้ว ในปี ค.ศ 1888 เฮิรตซ์(Hertz) ได้ใช้วงจรกำเนิดความถี่สร้างคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก เรียกว่า ไมโครเวฟ(Microwave) และแสดงให้เห็นว่าคลื่นนี้มีคุณสมบัติของคลื่นแสงครบทุกประการ กล่าวคือสามารถสะท้อนได้ หักเหได้ โฟกัสไปรวมกันที่จุดหนึ่งโดยใช้เลนส์ได้ และมีคุณสมบัติโพลาไรซ์เช่นเดียวกับคลื่นแสง ดังนั้นทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ และการทดลองของเฮิรตซ์จึงนำมาสู่ความคิดที่ว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในราวศตวรรษที่ 19 ผู้คนส่วนใหญ่จึงเชื่อกันว่าแสงเป็นคลื่นชนิดหนึ่ง และอย่างไรก็ตามทฤษฎีนี้ยังไม่สามารถที่จะอธิบายถึงปรากฏการณ์ปลดปล่อยอิเล็คตรอนจากผิวของตัวนำ เมื่อมีคลื่นมาตกกระทบผิวของตัวนำนั้นได้

ในปี ค.ศ 1905 ไอสไตน์(Einstein) ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า พลังงานของลำแสงแทนที่จะถูกปล่อยออกมาผ่านบรรยากาศในรูปของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้านั้น แต่กลับรวมกันเป็นกลุ่มก้อนที่เรียกว่า โฟตอน(Photon) โดยโฟตอนแต่ละกลุ่มจะมีความถี่โดยเฉพาะ และมีพลังงานแปรผันตามความถี่ของขบวนการปลดปล่อยเนื่องจากไฟฟ้าพลังแสง(Photoelectric Emission) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการถ่ายเทพลังงานจากโฟตอนไปสู่อิเล็คตรอน และต่อมามิลลิแกน(Millikan) ได้ทำการทดลองซึ่งสามารถสรุปผลที่ได้จากการทดลองได้ว่า พลังงานจลน์ของโฟตอนนั้นเป็นไปตามทฤษฎีของไอสไตน์ทุกประการ

ดังนั้นเมื่อแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อความสะดวกจึงพิจารณาคลื่นแสงด้วยการพิจารณาหน้าคลื่น(Wave Fronts) โดยมีแหล่งกำเนิดของคลื่นแสงเล็กๆ(Point Source) เป็นจุดศูนย์กลางรวมอยู่ที่ต้นกำเนิด ตามรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาด้วยหน้าคลื่นทรงกลม(Spherical Wave Fronts) และจุดที่ห่างจากแหล่งกำเนิดแสงมากๆ รัศมีของหน้าคลื่นทรงกลมก็จะใหญ่มาก ดังนั้นจึงสามารถที่จะมองหน้าคลื่นที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดมากๆนี้ เป็นหน้าคลื่นระนาบ(Plane Wave Fronts) จากแนวความคิดนี้จึงเป็นการสะดวกที่จะมองรังสีของแสงเพราะรังสีจะแสดงการไหลของพลังงานในลำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงหน้าคลื่นของแสงแบบวงกลมและแบบระนาบ

เมื่อพิจารณาการเดินทางของแสงผ่านตัวกลางใดๆ จะพบว่าแสงมีความเร็วที่แตกต่างกันไปเนื่องจากค่าดัชนีหักเหในตัวกลางนั้นแตกต่างกัน ซึ่งค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางสามารถนิยามได้ว่า "เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศและความเร็วของแสงในตัวกลางที่แสงผ่าน" ถ้าให้ n เป็นดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางใดๆจะได้ว่า

$$n = \frac{c}{v} \tag{2.1}$$

เมื่อ c เป็นค่าความเร็วของแสงในสุญญากาศซึ่งมีค่าประมาณ 3 x 10^8 เมตรต่อวินาที และ v เป็นความเร็วของแสงในตัวกลางใดๆ โดยค่า n จะมีค่าเป็น 1 ก็ต่อเมื่อเดินทางผ่านสุญญากาศ มีค่าเป็น 1.33 เมื่อเดินทางผ่านน้ำ มีค่าเป็น 1.5 เมื่อเดินทางผ่านแก้ว และจะมีค่าเป็น 2.42 เมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นเพชร เป็นต้น

เพื่อจะให้เข้าใจแนวคิดของการสะท้อนและการหักเหของแสงได้ง่ายขึ้นจะพิจารณาคุณสมบัติของรังสีของแสง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเดินทางของแสงผ่านตัวกลาง นั้นคือเมื่อรังสีของแสงเดินทางไปตกกระทบตัวกลางที่ต่างกันสองชนิด แสงส่วนหนึ่งจะเกิดการสะท้อนกลับเข้าไปในตัวกลางแรกและจะมีแสงอีกส่วนหนึ่งที่เหลืออยู่จะเกิดการหักเห เข้าไปในตัวกลางที่สองดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งเมื่อกำหนดให้ $n_2 < n_1$ แล้วการหักเหของแสงที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสองตัวกลางนี้เกิดขึ้นเนื่องจากผลต่างของความเร็วแสงในตัวกลางทั้งสอง โดยมีความสัมพันธ์จากรอยต่อของตัวกลางทั้งสองเป็นไปตามกฎของสเนลล์(Snell's law) และกำหนดจาก

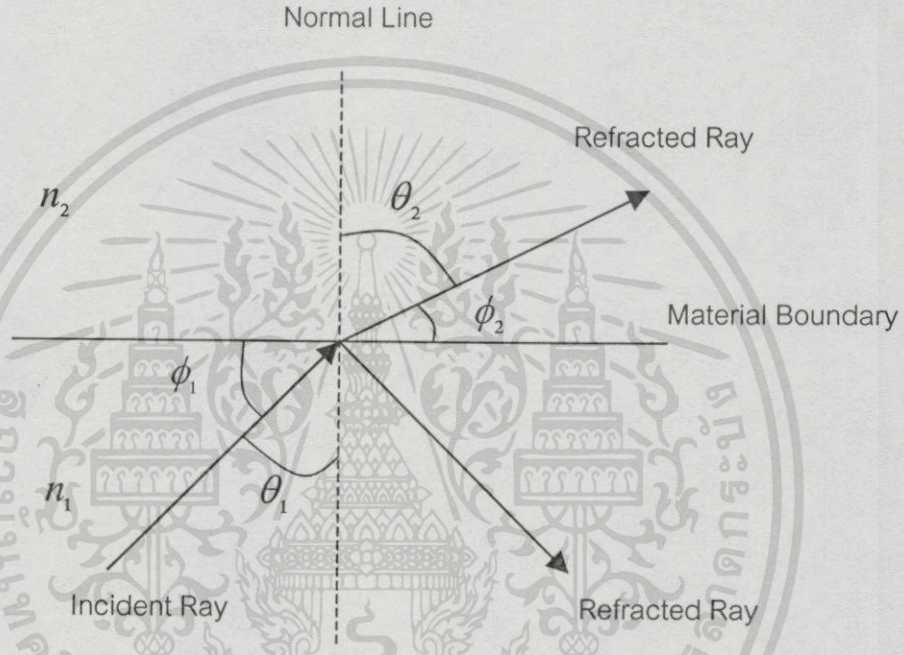
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \tag{2.2}$$

หรือเท่ากับ

$$n_1 \cos\phi_1 = n_2 \cos\phi_2 \tag{2.3}$$

ซึ่งกำหนดมุมดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นแสงที่เดินทางไปตกกระทบกับรอยต่อของตัวกลางทั้งสองซึ่งทำมุม θ_1 จะต้องเท่ากับมุมของแสงที่สะท้อนออกจากตัวกลางทั้งสองนี้



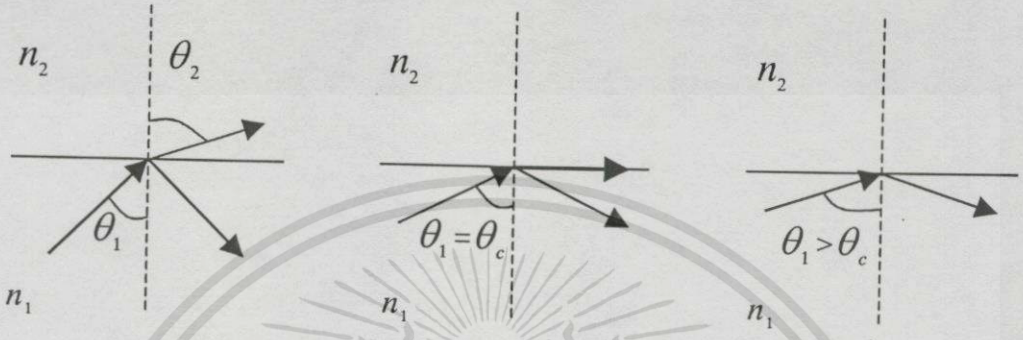
รูปที่ 2.2 แสดงการสะท้อนและหักเหของแสงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน เมื่อ n_1 และ n_2 เป็นค่าดัชนีหักเหโดย $n_2 < n_1$ ซึ่ง θ_1 เป็นมุมตกกระทบและ θ_2 เป็นมุมหักเห

เมื่อพิจารณาในกรณีที่แสงเดินทางผ่านตัวกลางที่ทึบกว่า(มีค่าดัชนีหักเหสูง) ไปยังตัวกลางที่เบาบางกว่า โดยทำมุมเป็น θ_1 เมื่อตกกระทบกับตัวกลางก็จะเกิดการหักเหเป็นมุม θ_2 เมื่อแสงทำมุมเป็นมุมเท่ากับมุมวิกฤตแล้วแสงส่วนหนึ่งจะเดินทางเป็นมุมหักเหขนานกับผิวตัวกลาง ถ้ามุมของแสงที่ตกกระทบยิ่งโตขึ้นก็จะเกิดการสะท้อนกลับหมด(Total Internal Reflection) ของแสงภายในตัวกลางนั้นดังแสดงในรูปที่ 2.3 และเมื่อพิจารณาตัวกลางที่เป็นแก้วกับอากาศดังรูปที่ 2.3 เมื่อแสงผ่านพื้นผิวของแก้วไปตกกระทบกับตัวกลางซึ่งเป็นอากาศ ถ้า θ_2 =90 องศา ดังนั้น $\sin\theta_2$ =1 มุมวิกฤตในตัวกลางที่เป็นแก้วจะมีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \tag{2.4}$$

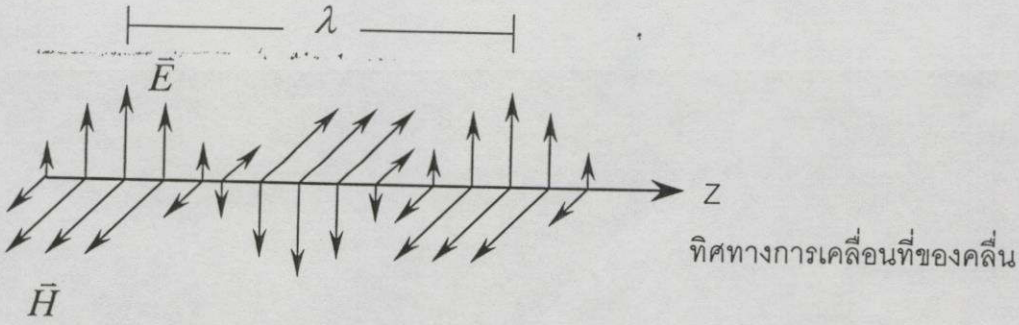
เมื่อ θ_c คือมุมวิกฤต(Critical Angle)



รูปที่ 2.3 แสดงการหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสงในตัวกลางที่เป็นแก้ว(n_1) และอากาศ (n_2)

2.2 โพลาไรเซชัน

ปรากฏการณ์การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนนั้นเกิดขึ้นได้กับคลื่นทุกชนิดทั้งคลื่นตามขวางเช่นคลื่นแสง และคลื่นตามยาวเช่นคลื่นเสียง แต่ในกรณีของโพลาไรเซชันจะเกิดเฉพาะในคลื่นตามขวางเท่านั้นไม่เกิดในคลื่นตามยาว และเป็นที่ทราบกันดีว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีทิศการสั่นของสนามไฟฟ้า($\vec{E}$) ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก($\vec{H}$) และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น



รูปที่ 2.4 แสดงการสั่นของแสงธรรมชาติ ซึ่งมีสนามไฟฟ้า($\vec{E}$) ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก($\vec{H}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 2.4 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\bar{E}(z,t) = E_{0Y} \sin[(2\pi z/\lambda) - 2\pi\nu t + \phi_0] \qquad (2.5)$$

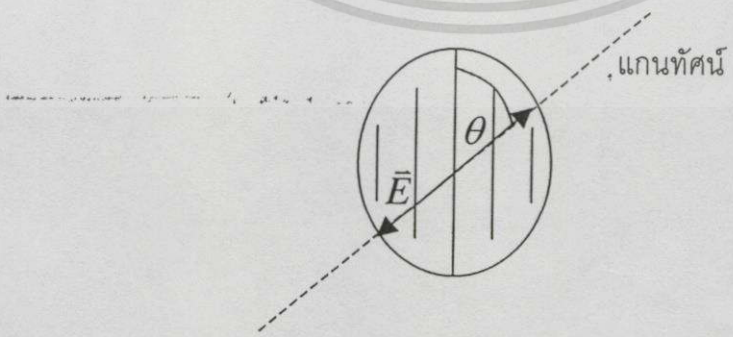
เมื่อแสงเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน +Z และเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นมีทิศทางของสนามไฟฟ้าตามแกน Y เมื่อ ν เป็นความถี่ของคลื่นแสง λ เป็นความยาวคลื่น E_{0Y} เป็นแอมพลิจูดสูงสุด และ ϕ_0 เป็นค่าคงที่ของเฟส โดยมีความถี่เชิงมุมที่ได้คือ $\omega = 2\pi\nu$ และมีเลขคลื่น(Wave Number) $k = 2\pi/\lambda$ แล้วสมการที่ (2.5) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\bar{E}(z,t) = E_{0Y} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \qquad (2.6)$$

ในสนามแม่เหล็กของแสงจะสั่นเหมือนกับสนามไฟฟ้าแต่เวกเตอร์สนามแม่เหล็ก $\vec{H}$ จะทำมุมตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าในทิศทางตามแกน X ซึ่งสนามแม่เหล็กมีค่าเป็น

$$\bar{H}(z,t) = H_{0X} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \qquad (2.7)$$

แสงโดยทั่วไปเป็นแสงไม่โพลาไรซ์นั่นคือสนามไฟฟ้ามีการสั่นในหลายๆระนาบในเวลาเดียวกัน ถ้าแสงไม่โพลาไรซ์เคลื่อนผ่านแผ่นโพลารอยด์(Polaroid) โดยมีทิศทางของสนามไฟฟ้าขนานกับแกนโพลารอยด์ และมีลักษณะพิเศษคือยอมให้โพลาไรซ์ในทิศทางที่ขนานกับแกนโพลารอยด์ผ่านและจะดูดกลืนโพลาไรซ์ที่ตั้งฉากกับแกน ถ้ามีแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นตกกระทบทำมุม θ กับแกนของโพลารอยด์ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นตกกระทบทำมุม θ กับแกนโพลารอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามไฟฟ้าส่วนที่ขนานกับแกนของแผ่นโพลารอยด์คือ $E.\cos\theta$ จะสามารถผ่านแผ่นโพลารอยด์ออกมาได้และเนื่องจากความเข้มของแสงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับแอมพลิจูดยกกำลังสอง จะได้ความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ผ่านออกมาจากแผ่นโพลารอยด์ดังสมการที่ (2.8) หรือสามารถเรียกว่า กฎของมาลุส(Malus' law) ได้ดังนี้

$$I = I_0 \cos^2\theta \tag{2.8}$$

เมื่อ I_0 เป็นความเข้มแสงที่ตกกระทบมากที่สุดที่เข้ามายังแผ่นโพลารอยด์

แผ่นโพลาลอยด์ใช้ทำเป็นโพลาไรเซอร์(Polarizer) หรือตัวทำแสงโพลาไรซ์โดยทำแสงที่ผ่านแผ่นโพลารอยด์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้โพลาไรเซอร์อีกแผ่นหนึ่งวางซ้อนกันและทำหน้าที่เป็นตัววิเคราะห์(Analyzer) เพื่อทำหน้าที่ในการจัดมุมของการโพลาไรซ์ของแสงที่ผ่าน โดยถ้าวางแกนของโพลาไรเซอร์ทั้งสองแผ่นตั้งฉากกัน(90 องศา) จะไม่มีแสงสองผ่านออกมา แต่ถ้าหมุนตัววิเคราะห์ให้ทำมุม θ กับตัวทำแสงโพลาไรซ์ โดยให้ความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ออกจากตัวทำแสงโพลาไรซ์ไปยังตัววิเคราะห์เป็น I_0 ความเข้มแสงที่ได้ออกมาจากตัววิเคราะห์จะเป็นไปตามกฎของมาลุส และ ถ้าหมุนตัววิเคราะห์ไปเป็นมุมต่างๆแล้วหาความเข้มสูงสุด (I_{max}) และความเข้มต่ำสุด(I_{min}) แล้วสามารถพิจารณาในเทอมของอัตราส่วนระหว่างความเข้มแสงสูงสุดและความเข้มแสงต่ำสุดที่ส่งผ่านออกมาหรือเป็นการวัดคุณภาพของลำแสงโพลาไรซ์ ER (Extinction Ratio)

$$ER = 10\log(I_{max}/I_{min}) \tag{2.9}$$

ถ้าความแตกต่างระหว่าง I_{max} และ I_{min} มีค่ามาก จะทำให้ค่า ER มาก นั่นคือคุณภาพของลำแสงโพลาไรซ์ที่ได้จะดี

จากหลักการพื้นฐานของคลื่นแสงธรรมชาตินี้ จะพิจารณาเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการโพลาไรเซชันของแสง ซึ่งในการจำแนกชนิดของโพลาไรเซชันนั้นจะพิจารณาความสัมพันธ์ทางเฟส (ϕ_0) ของทิศทาง X และ Y และเปรียบเทียบขนาดระหว่าง E_x และ E_y ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของแสงโพลาไรเซชันได้ดังนี้คือ แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น(Linearly Polarized Light) แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม(Circularly Polarized Light) และแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี(Elliptically Polarized Light) โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น

ในที่นี้จะพิจารณาว่าแสงเป็นส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าเท่านั้น เนื่องจากโพลาไรเซชันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับเฉพาะคลื่นตามขวางเท่านั้น ดังนั้นจากการที่คลื่นเคลื่อนที่ไปตามแกน Z จะสามารถแสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีทิศทางตามแกน X ได้ดังนี้

$$\vec{E}_x = E_{0x}\sin[kz - \omega t + \phi_0]\hat{i} \qquad (2.10)$$

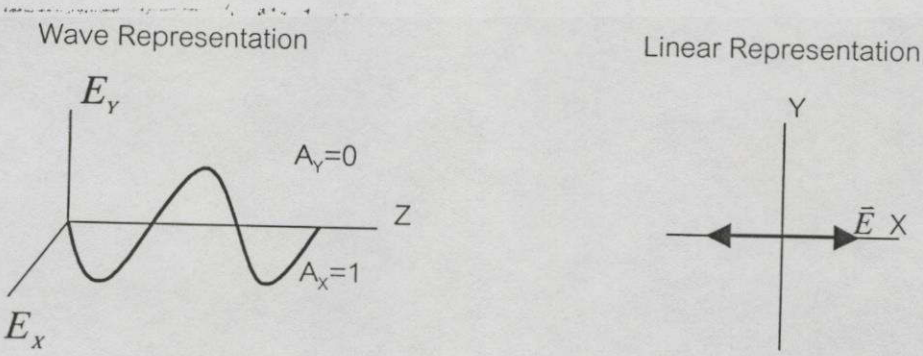
เมื่อ E_{0x} เป็นแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า และ $\hat{i}$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแกน X และในทำนองเดียวกันแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีทิศทางตามแกน Y สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\vec{E}_y = E_{0y}\sin[kz - \omega t + \phi_0]\hat{j} \qquad (2.11)$$

เมื่อ $\hat{j}$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแกน Y สนามไฟฟ้าของแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นสามารถกระทำในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่และสามารถแสดงในรูปของผลรวมของเวกเตอร์ $\vec{E}_x$ และ $\vec{E}_y$ ได้เป็น

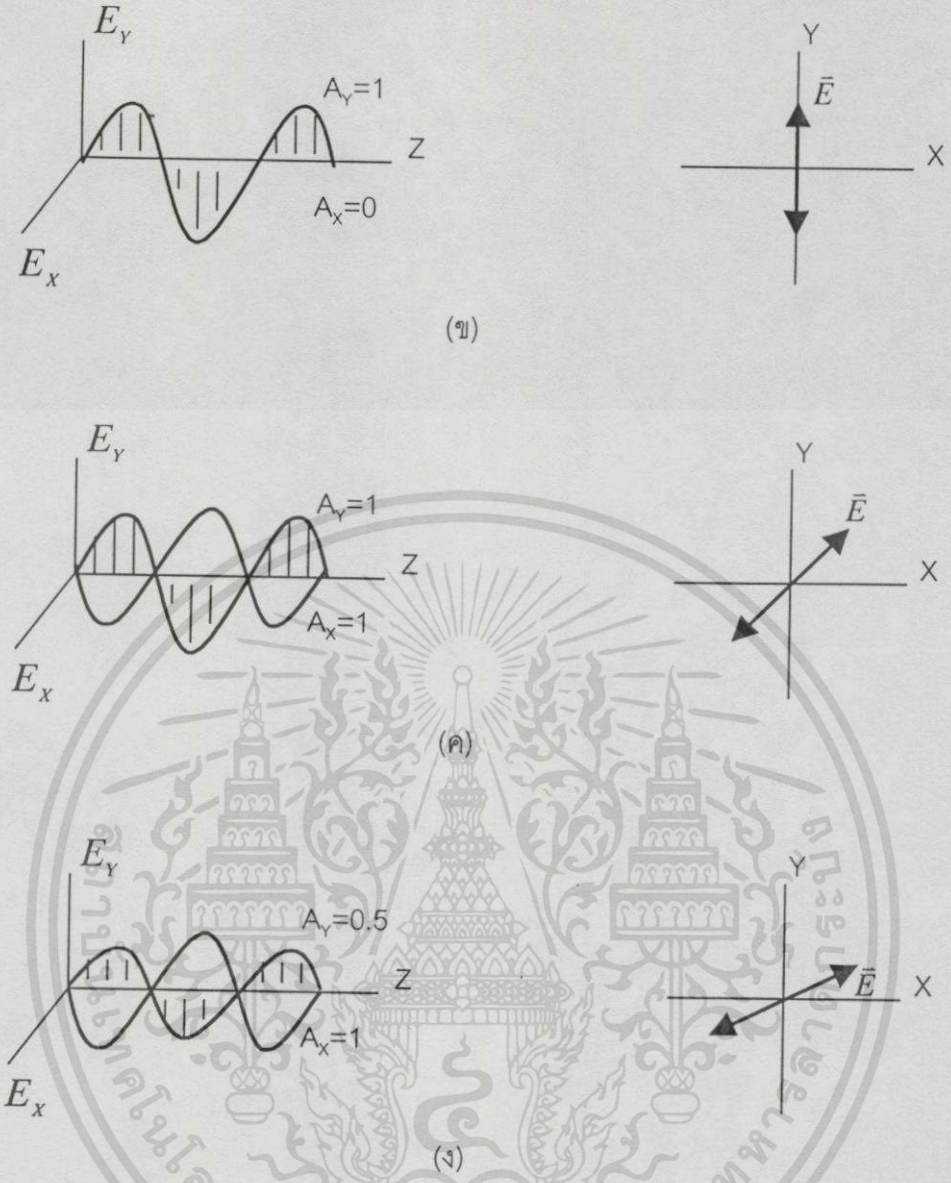
$$\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{E}_x + \vec{E}_y \\ &= \{E_{0x}\hat{i} + E_{0y}\hat{j}\}\sin[kz - \omega t + \phi_0]\end{aligned} \qquad (2.12)$$

แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีแกนโพลาไรเซชันทำมุมใดๆกับทิศทางในระนาบ XY สามารถแสดงได้โดยส่วนประกอบทั้งสองตามแกน X และ Y ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งความสัมพันธ์ของขนาดส่วนประกอบทั้งสองจะเป็นตัวกำหนดการทำมุมกับแกนโพลาไรเซชัน



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีมุมที่เปลี่ยนไป (ก) ตามแกน X (ข)ตามแกน Y (ค) ทำมุม 45° กับแกน X และ (ง) ทำมุม 26° กับแกน X โดยที่ A_X และ A_Y เป็นแอมพลิจูดในแนวแกน X และแกน Y ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามในส่วนประกอบของทั้งสองแกนจะต้องมีค่าความถี่เชิงมุม ω เหมือนกัน และมีค่าของเฟส ϕ_0 เหมือนกันหรือต่างกันเท่ากับ π และต่อไปจะพิจารณาผลของการต่างกันของเฟสจากส่วนประกอบทั้งสองในกรณีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม

ในกรณีที่แอมพลิจูดของคลื่นในส่วนประกอบของแกนซึ่งตั้งฉากกันนั้นเท่ากัน กล่าวคือ $E_{0X} = E_{0Y} = E_0$ และมีความต่างเฟส $\Delta\phi = \pm\frac{\pi}{2}$ จะได้ว่า

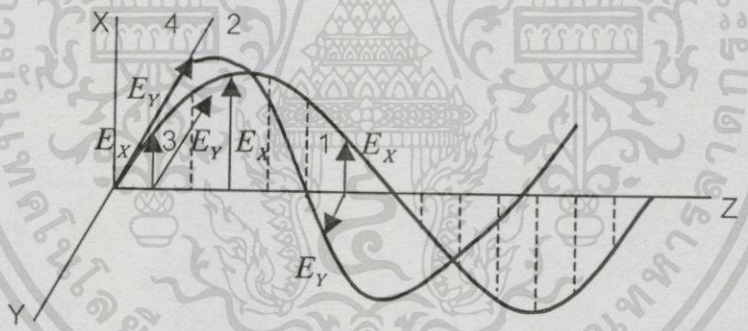
$$\vec{E}_x(z,t) = \hat{i}E_0\cos(kz - \omega t) \tag{2.13}$$

และ

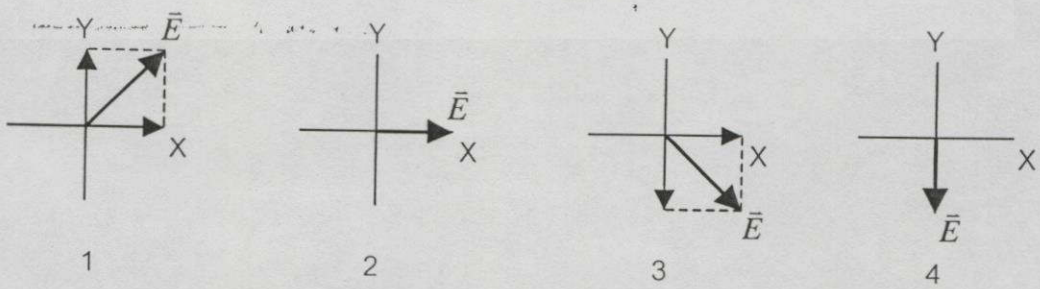
$$\vec{E}_Y(z,t) = \hat{j}E_0\sin(kz - \omega t) \tag{2.14}$$

ซึ่งมีสมการคลื่นรวมเป็นดังนี้

$$\vec{E} = E_0[\hat{i}\cos(kz - \omega t) + \hat{j}\sin(kz - \omega t)] \tag{2.15}$$

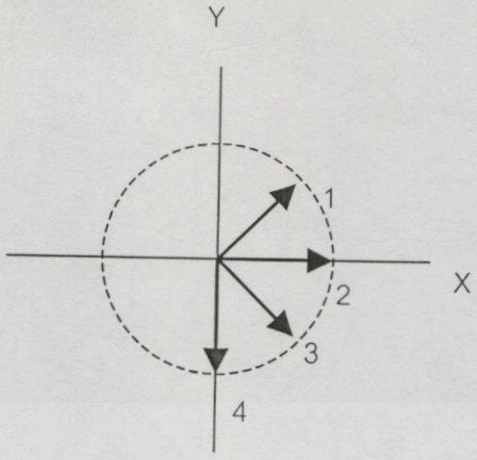


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.7 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามขวาและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน 90° (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน(ก) (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง และ (ง) แสดงทางเดินของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดของ $\vec{E}$ คือ $(\vec{E}.\vec{E})^{1/2} = E_0$ เป็นค่าคงที่ แต่ทิศของ $\vec{E}$ เปลี่ยนไปตามเวลาโดยไม่อยู่ในระนาบใดระนาบหนึ่งดังเช่นในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8 จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งใดๆ z_0 บนแกน เมื่อ $t = 0$ $\vec{E}$ จะอยู่บนแกนที่กำหนดไว้ซึ่งเป็นแกนอ้างอิง(Reference) ดังนั้น

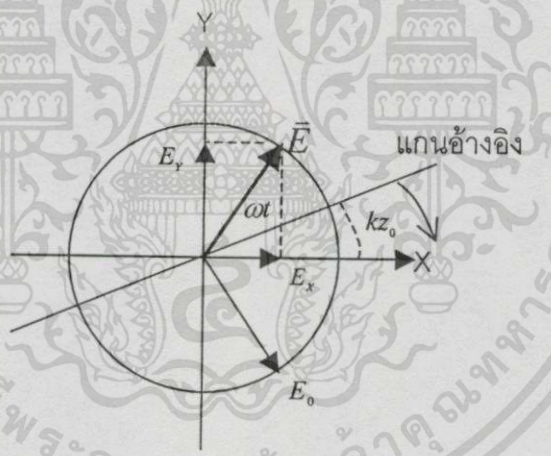
$$\vec{E}_x = \hat{i}E_0 \cos(kz_0) \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$\vec{E}_Y = \hat{j}E_0 \sin(kz_0) \tag{2.17}$$

ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง $t = kz_0/\omega$ จะได้ว่า $\vec{E}_X = \hat{i}E_0$, $\vec{E}_Y = 0$ และ $\vec{E}$ อยู่ในแกน X คลื่นรวม $\vec{E}$ จึงหมุนตามเข็มนาฬิกาด้วยความถี่เชิงมุม ω โดยมีทิศสวนทางกับทิศการเคลื่อนที่ของแสงตรงไปยังตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดแสง หรืออาจจะกล่าวได้ว่า $\vec{E}_Y$ นำ $\vec{E}_X$ อยู่ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน ซึ่งหมายความว่า $\vec{E}_Y$ จะมีค่าสูงสุดก่อนที่ $\vec{E}_X$ จะมีค่าสูงสุดล่วงหน้าไปก่อนถึง 1 ใน 4 ของแต่ละรอบ จึงเห็นได้ว่าสนามไฟฟ้าหมุนเป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกา และเวคเตอร์ $\vec{E}$ จะหมุนไปครบรอบ โดยแสงจะพุ่งไปข้างหน้าเท่ากับความยาวหนึ่งช่วงคลื่น ซึ่งจะเรียกแสงที่มีลักษณะสถานะโพลาไรเซชันแบบนี้ว่า แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา(Right Circularly Polarization : RCP) โดยมีเฟส $\phi = +\frac{\pi}{2}$



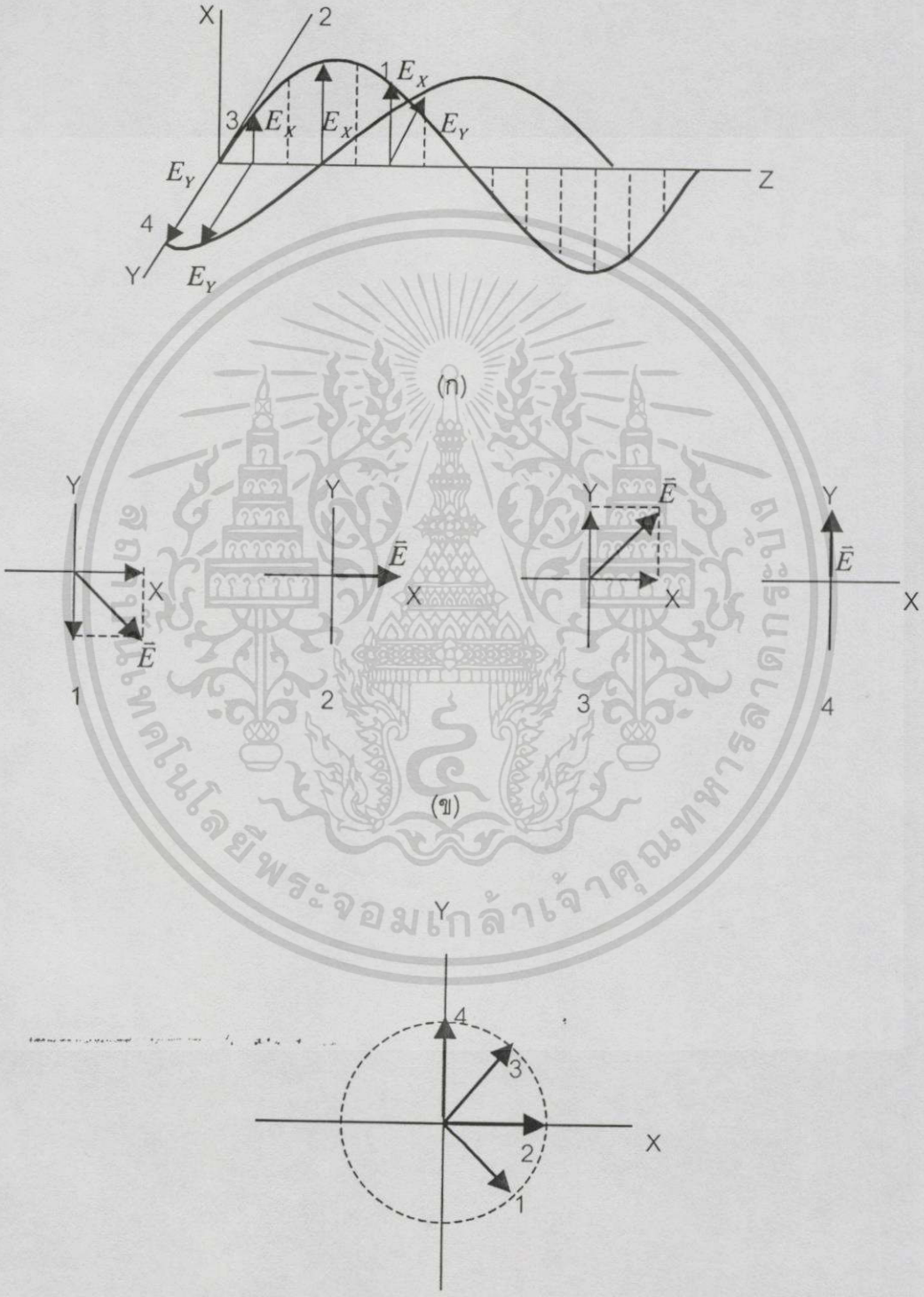
รูปที่ 2.8 แสดงการหมุนของเวกเตอร์ไฟฟ้าในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา

และในกรณีที่ตรงกันข้าม $\phi = -\frac{\pi}{2}$ จะได้ว่า

$$\vec{E} = E_0[\hat{i}\cos(kz - \omega t) - \hat{j}\sin(kz - \omega t)] \tag{2.18}$$

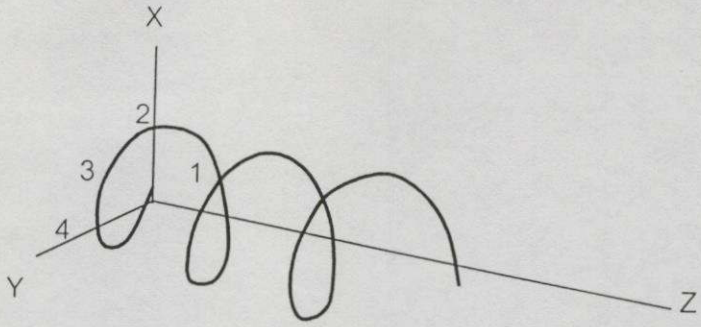
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดไม่ได้ต่างไปจากกรณีข้างต้น แต่ $\vec{E}$ จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาจึงเรียกว่าเป็นแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามซ้าย(Left Circularly Polarization : LCP) ซึ่ง $\vec{E}_Y$ จะตามหลัง $\vec{E}_x$ ไปเป็น 1 ใน 4 ของแต่ละรอบ ทำให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาดังแสดงในรูปที่ 2.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



(ง)

รูปที่ 2.9 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน 90° (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน(ก) (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง และ (ง) แสดงทางเดินของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า

พิจารณาโดยทั่วๆไปจะพบว่าสภาวะโพลาไรเซชันชนิดวงกลมทั้งสองแบบนี้จะเป็นไปได้เมื่อเฟส ϕ มีค่าต่างๆกันตามลำดับดังต่อไปนี้

เมื่อ $\phi = +\frac{\pi}{2} + 2m\pi$ โดยที่ $m = 0, \pm1, \pm2, \ldots$ คือชนิดวงกลมตามขวา

เมื่อ $\phi = -\frac{\pi}{2} + 2m\pi$ โดยที่ $m = 0, \pm1, \pm2, \ldots$ คือชนิดวงกลมตามซ้าย

ถ้านำแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมทั้งสองแบบนี้ซึ่งมีแอมพลิจูดเท่ากันมารวมกันก็จะกลายเป็นแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นไป

2.2.3 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี

จากการพิจารณาที่ผ่านมารวมกันในส่วนประกอบของแสงโพลาไรซ์ที่มีส่วนประกอบของเฟสเหมือนกันหรือต่างกัน π นั้น แสงโพลาไรซ์จะเป็นชนิดเชิงเส้น ในกรณีที่เฟสต่างกัน $\frac{\pi}{2}$ หรือ $-\frac{\pi}{2}$ และมีแอมพลิจูดเท่ากันจะเป็นส่วนประกอบของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม แต่ถ้าส่วนประกอบในการรวมกันนั้นทำให้ไม่เท่ากันจะเป็นกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี

พิจารณาเมื่อ $E_{0X} \neq E_{0Y}$ และ $\phi = \pm\frac{\pi}{2}$ จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37665

$$\bar{E}_x = E_{0x}\cos(kz-\omega t)\hat{i} \tag{2.19}$$

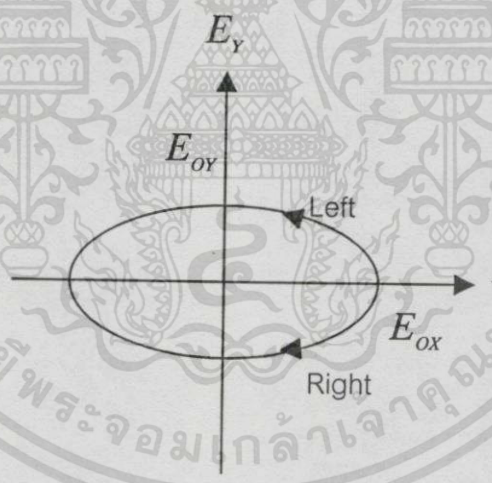
และ

$$\bar{E}_Y = E_{0Y}\cos(kz-\omega t+\phi)\hat{j} \tag{2.20}$$

หรือเขียนใหม่ได้ว่า

$$\frac{E_X^2}{E_{0X}^2}+\frac{E_Y^2}{E_{0Y}^2}=\cos^2(kz-\omega t)+\cos^2(kz-\omega t+\phi)=1 \tag{2.21}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์นี้คือสมการวงรีที่มีแกนหลักเป็น $2E_{0X}$ และ $2E_{0Y}$ ตามแนวแกน X กับแนวแกน Y ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.10 โดยเมื่อ $\phi = +\frac{\pi}{2}$ สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนที่เป็นวงรีตามขวา แต่ถ้า $\phi = -\frac{\pi}{2}$ สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนที่เป็นวงรีตามซ้าย



รูปที่ 2.10 แสดงการกำหนดทิศทางของการหมุนสำหรับโพลาไรเซชันชนิดวงรี

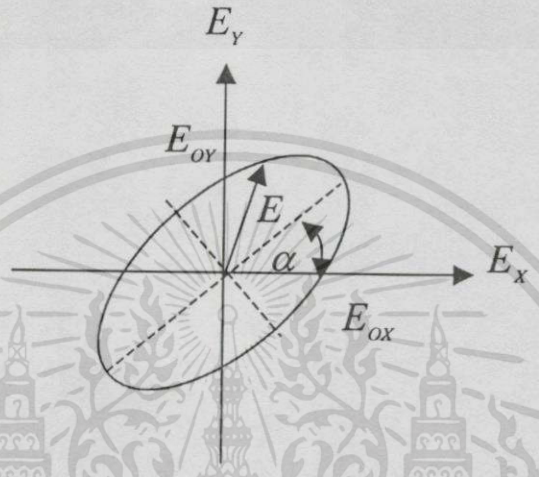
ในกรณีทั่วๆไปสมการของวงรีจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\left(\frac{E_X}{E_{OX}}\right)^2+\left(\frac{E_Y}{E_{OY}}\right)^2-2\left(\frac{E_X}{E_{OX}}\right)\left(\frac{E_Y}{E_{OY}}\right)\cos\phi=\sin^2\phi \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่แกนหลัก(Major Axis) จะทำมุม α กับแกน X ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\tan 2\alpha = \frac{2E_{OX}E_{OY}\cos\phi}{E_{OX}^2 - E_{OY}^2} \tag{2.23}$$



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะทั่วไปของคลื่นโพลาไรซ์ชนิดวงรี

ซึ่งแกนหลักจะเป็นแกนเดียวกับแกน X โดยที่ α =0 เมื่อเฟสสัมพัทธ์มีค่าดังต่อไปนี้

$$\phi = \pm\frac{\pi}{2}, \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2}, \ldots\ldots$$

และจะได้ว่า

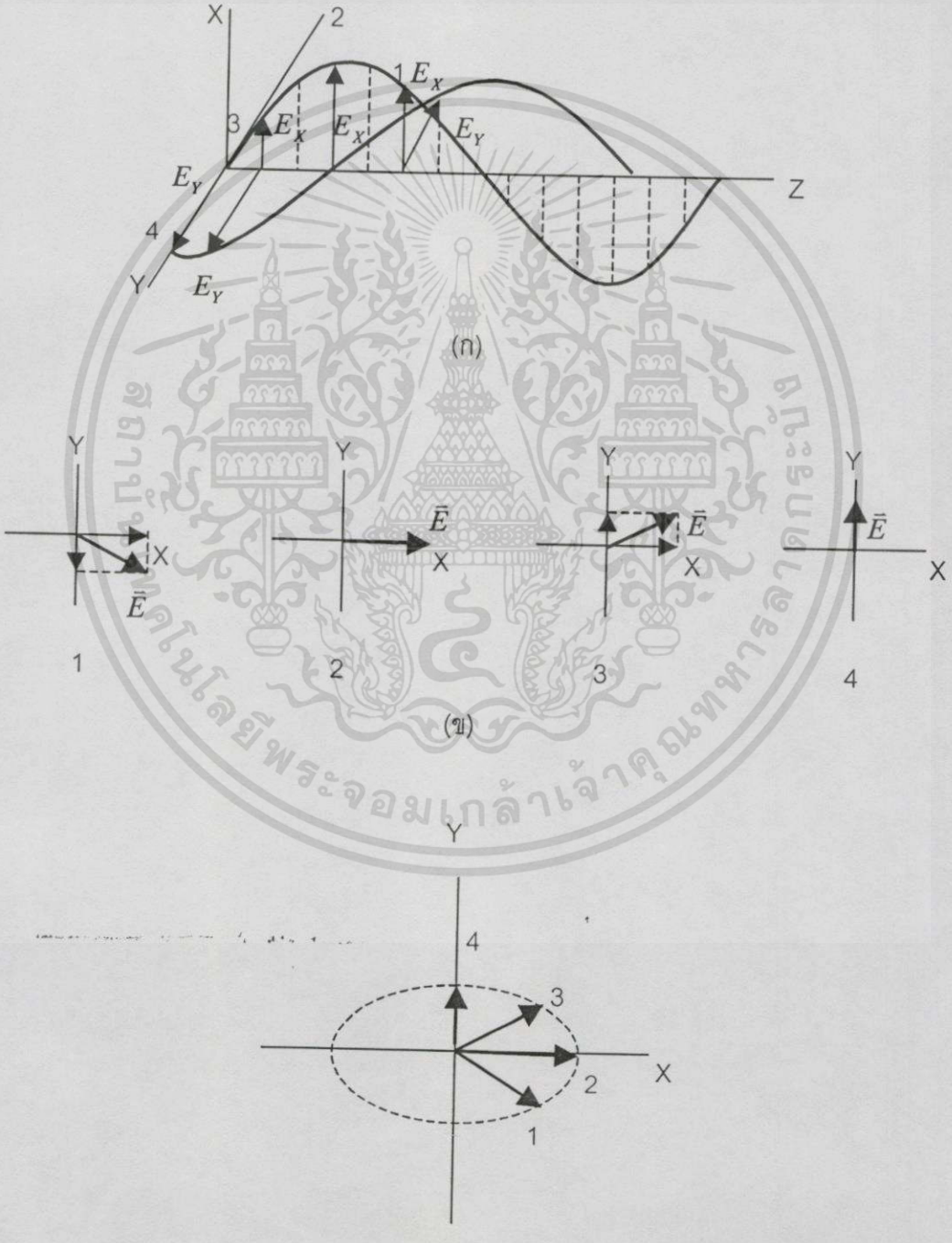
$$\frac{E_X^2}{E_{OX}^2} + \frac{E_Y^2}{E_{OY}^2} = 1, \tag{2.24}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าตรงกับที่ได้ทำการพิจารณาแล้วในความสัมพันธ์ ตามสมการ (2.21) และในกรณีที่ $E_{OX} = E_{OY}$ จะได้ว่า $E_X^2 + E_Y^2 = A_X^2$ เป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบของโพลาไรซ์ชนิดวงกลมนั่นเอง และถ้าเฟสสัมพัทธ์ ϕ มีค่าเป็นจำนวนเท่าของ π จะได้ว่าสมการ (2.22) จะกลายเป็น

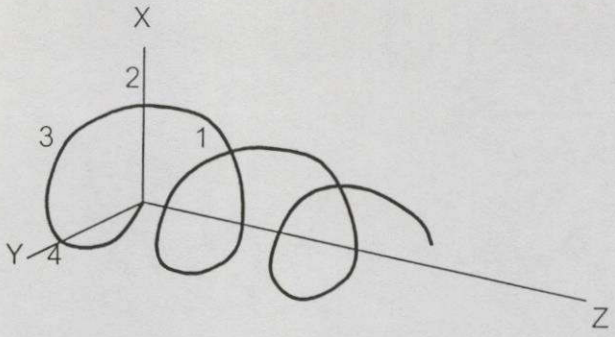
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_Y = \pm \frac{E_{OY}}{E_{OX}} E_X \qquad (2.25)$$

ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของโพลาไรเซชันเชิงเส้นที่มีความชันเป็น $\pm \frac{E_{OY}}{E_{OX}}$ และในรูปที่ 2.12 นี้ จะเป็นการแสดงลักษณะของคลื่นแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีตามซ้าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

รูปที่ 2.12 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดต่างกันและเฟสต่างกัน 90° (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน(ก) (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง และ (ง) แสดงทางเดินของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า

2.3 โจนส์เวกเตอร์

สำหรับการอธิบายแสงโพลาไรซ์ชนิดต่างๆสามารถอธิบายในเชิงคณิตศาสตร์ได้ โดยมี R.C. Jones ได้พัฒนาเทคนิคทางเมตริกซ์ขึ้น สำหรับอธิบายเกี่ยวกับโพลาไรซ์โดยใช้เมตริกซ์หลัก (Column Matrix) ที่มี 2 เอเลเมนต์(elements) ซึ่งเรียกว่า โจนส์เวกเตอร์(Jones Vector) แทนแสงโพลาไรซ์ชนิดต่างๆและใช้ 2x2 เมตริกซ์ ที่เรียกว่า โจนส์เมตริกซ์(Jones Matrix) แทนขบวนการในการทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์ ซึ่งก่อนที่จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของโจนส์แคลคูลัส(Jones Calculus) นั้นจะพิจารณาเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีองค์ประกอบในแนวแกน X และ Y และมีทิศการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z ดังนี้

$$\bar{E}_x = A_x \sin[kz - \omega t + \phi_0]\hat{i} \tag{2.26}$$

$$\bar{E}_y = A_y \sin[kz - \omega t + \phi_0]\hat{j} \tag{2.27}$$

ในกรณีนี้ใช้ A_x และ A_y แทน E_{ox} และ E_{oy} จากที่ผ่านมา เมื่อแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นทำมุมในทิศทางเฉพาะนั้น การรวมกันของส่วนประกอบทั้งสอง(สมมติให้เฟสเหมือนกัน)คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{E}_X + \vec{E}_Y \\ &= A_X \sin(kz - \omega t + \phi)\hat{i} + A_Y \sin(kz - \omega t + \phi)\hat{j}\end{aligned} \quad (2.28)$$

กรณีทั่วไปของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีนั้นเฟสในองค์ประกอบของแกน X และ Y นั้น จะไม่เหมือนกัน ดังนั้นเฟสที่ให้เฉพาะคือ ϕ_X และ ϕ_Y ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\vec{E} = A_X \sin(kz - \omega t + \phi_X)\hat{i} + A_Y \sin(kz - \omega t + \phi_Y)\hat{j} \quad (2.29)$$

เวกเตอร์สนามไฟฟ้าในเวลาใดๆ ที่ได้จากจุดบนแกน X เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์สมการ (2.29) จะเขียนในรูปจำนวนเชิงซ้อนได้ดังนี้

$$\vec{E} = A_X e^{i(kz-\omega t+\phi_X)}\hat{i} + A_Y e^{i(kz-\omega t+\phi_Y)}\hat{j} \quad (2.30)$$

โดยสมการที่ (2.30) สามารถเขียนในรูปของคอลัมเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\vec{E} = \begin{bmatrix}\vec{E}_X \\ \vec{E}_Y\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}A_X e^{i(kz-\omega t+\phi_X)} \\ A_Y e^{i(kz-\omega t+\phi_Y)}\end{bmatrix} \quad (2.31)$$

และเมื่อทำการแยกตัวประกอบออกมาจะได้เป็น

$$\vec{E} = e^{i(kz-\omega t)}\begin{bmatrix}A_X e^{i\phi_X} \\ A_Y e^{i\phi_Y}\end{bmatrix} \quad (2.32)$$

ซึ่งถ้าเราตัดเทอมของเวลาออกไปเวกเตอร์ในสมการที่ (2.32) ก็คือ โจนส์เวกเตอร์ (หรือ Maxwell Column) ในการคำนวณหาค่าความเข้มของแสงที่ใช้ในการทดลองนั้น โจนส์เวกเตอร์จะมีประโยชน์มากสำหรับการหาความเข้มแสง ในกรณีนี้ความเข้มของแสง I หาได้จาก

$$I = e^{-i\omega t}e^{i\omega t}\begin{bmatrix}A_X e^{-i\phi_X} & A_Y e^{-i\phi_Y}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}A_X e^{i\phi_X} \\ A_Y e^{i\phi_Y}\end{bmatrix} \quad (2.33)$$

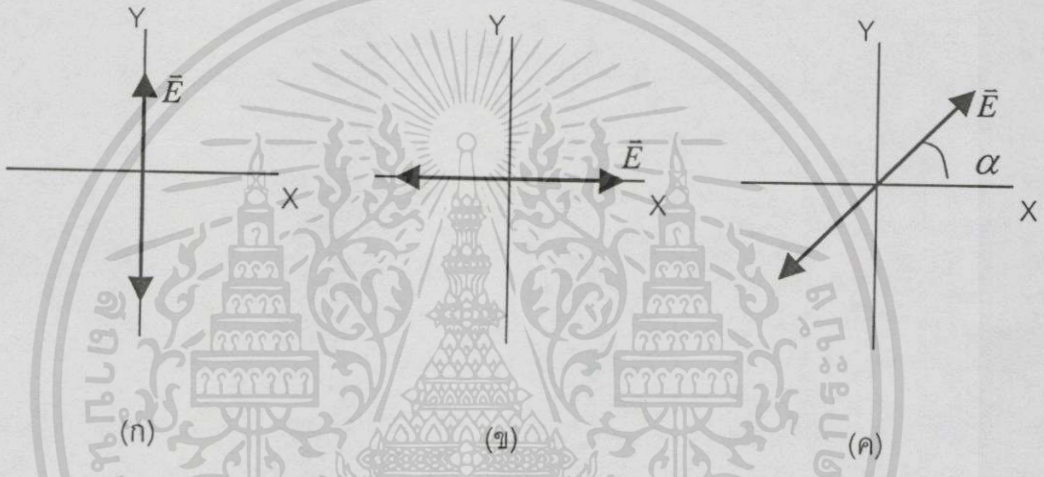
ซึ่งจะเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = A_X^2 + A_Y^2 \tag{2.34}$$

2.3.1 โจนส์เวกเตอร์ของแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น

สำหรับการพิจารณารูปแบบของโจนส์เวกเตอร์ที่ใช้แทนสถานะของแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นนั้นสามารถพิจารณาประกอบกับรูปที่ 2.13 ซึ่งในรูปนี้แสงเคลื่อนที่ในทิศ +Z (ทิศทางพุ่งออกจากกระดาษ) โดยในรูป (ก) เป็นการแสดงแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวดิ่ง ในกรณีนี้จะไม่มีแอมพลิจูดในแนวแกน X หรือ $E_{OX} = 0$ และแอมพลิจูดในแนวแกน Y มีค่าเท่ากับ A หรือ $E_{OY} = A$



รูปที่ 2.13 แสดงสนามไฟฟ้าของแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีการวางตัวของสนามไฟฟ้าในแนวต่างๆ กัน โดยทิศที่แสงเคลื่อนที่ไปในทิศ +Z

เพื่อความสะดวกจึงกำหนดให้ $\phi_Y = 0$ จะได้โจนส์เวกเตอร์สำหรับแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวดิ่งเป็น

$$\bar{E} = \begin{bmatrix} 0 \\ A \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.35}$$

และเราอาจจะกำหนดให้ A มีค่าเป็น 1 และได้ได้โจนส์เวกเตอร์สำหรับแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวดิ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.36}$$

ซึ่งเวกเตอร์ที่ได้นี้ก็คือรูปแบบนอร์แมลไลซ์(Normalized) ของเวกเตอร์เดิมนั้นเอง สำหรับเวกเตอร์ $\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ ใดๆ จะเขียนในรูปแบบของนอร์แมลไลซ์ได้ก็ต่อเมื่อ $|a^2| + |b^2| = 1$ หรืออาจจะสามารถเรียกได้อีกแบบว่านอร์แมลไลซ์เวกเตอร์หรือเวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากับ 1 ซึ่งในรูปที่ 2.13 (ข) นั้น $E_{OY} = 0$ และ $E_{OX} = A$ ถ้าให้ $\phi_x = 0$ จะได้โจนส์เวกเตอร์สำหรับแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวนอนเป็น

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} A \\ 0 \end{bmatrix} = A\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.37}$$

สำหรับรูปที่ 2.13 (ค) นั้นเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีแนวการสั่นของสนามไฟฟ้าอยู่ในทิศที่ทำมุม α กับแนวแกน X ซึ่งมีองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกน X และ Y อยู่ด้วยกันและถ้า $\alpha = \frac{\pi}{2}$ หรือ 0 แสงนี้ก็จะเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวดิ่งหรือแนวนอน ตามลำดับ แต่องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกน X และ Y ในกรณีนี้จะต้องมีเฟสที่ตรงกัน ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงกำหนดให้ ϕ_x และ ϕ_y มีค่าเป็น 0 และถ้าให้สนามไฟฟ้ามีแอมพลิจูดเป็น A จะได้องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกน X และ Y มีค่าดังนี้

$$E_{OX} = A\cos\alpha \tag{2.38}$$

และ

$$E_{OY} = A\sin\alpha \tag{2.39}$$

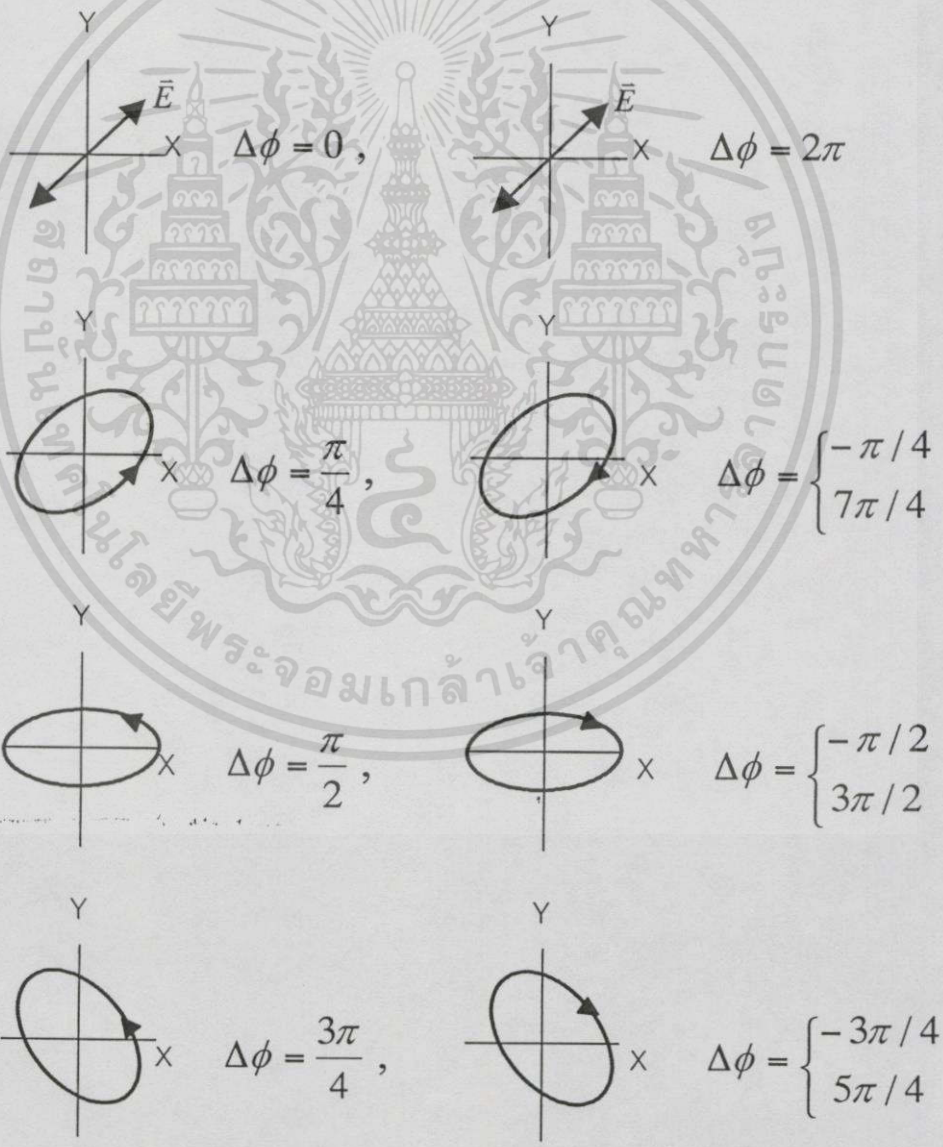
ดังนั้นโจนส์เวกเตอร์สำหรับแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีแนวการสั่นของสนามไฟฟ้าอยู่ในทิศที่ทำมุม α กับแนวแกน X คือ

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} A\cos\alpha \\ A\sin\alpha \end{bmatrix} = A\begin{bmatrix} \cos\alpha \\ \sin\alpha \end{bmatrix} \tag{2.40}$$

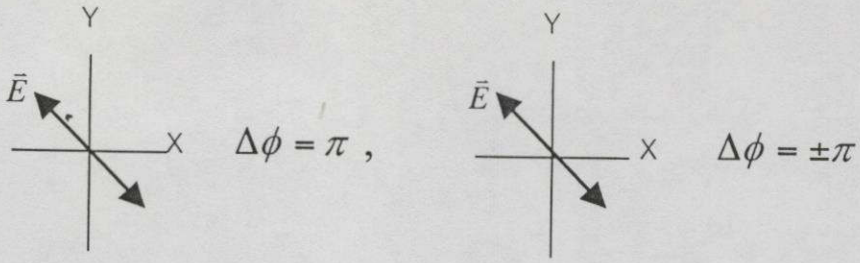
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับนอร์แมลไลซ์ของโจนส์เวกเตอร์ในกรณีนี้ค่า A =1

ในการพิจารณาการสั่นของสนามไฟฟ้าว่าประกอบด้วยการสั่นในแนวแกน X และ Y ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ซึ่งมีหลักการเดียวกับการหารูปลิสซาจูส์(Lissajous Figures) นั้นเอง รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของรูปลิสซาจูส์ สำหรับในกรณีที่ E_{ox} กับ E_{oy} ซึ่งมีความต่างเฟส $\Delta\phi = \phi_y - \phi_x$ ค่าต่างๆกัน และ E_{ox} ไม่เท่ากับ E_{oy} ในบางกรณีการกวาดของสนามไฟฟ้าอาจจะมีลักษณะเหมือนกัน แต่ต่างกันที่ทิศทางการกวาด เช่นกรณีของ $\Delta\phi$ เป็น $\frac{\pi}{2}$ กับ $\frac{3\pi}{2}$ เป็นต้น สำหรับกรณี $\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$ กับ $\frac{3\pi}{2}$ นั้นถ้า E_{ox} เท่ากับ E_{oy} จะได้รูปวงกลมแทนการได้รูปวงรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงรูปลิสซาจูส์สำหรับการสั่นในแนวแกน X และ Y ที่มีแอมพลิจูดไม่เท่ากัน และมีความต่างเฟส $\Delta\phi = \phi_Y - \phi_X$ ค่าต่างๆ

2.3.2 โจนส์เวกเตอร์ของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม

สำหรับการหาโจนส์เวกเตอร์ที่แสดงสถานะทางโพลาไรซ์ชนิดวงกลมนั้น สามารถสรุปได้ว่าในกรณีสนามไฟฟ้าในแนวแกน X และ Y มีการสั่นด้วยขนาดแอมพลิจูดที่เท่ากันคือ $E_{OX} = E_{OY} = A$ และมีเฟสที่ต่างกันเท่ากับ $\frac{\pi}{2}$ โดยสนามไฟฟ้าในแนวแกน X นำสนามไฟฟ้าในแนวแกน Y เป็น $\phi_Y - \phi_X = \frac{\pi}{2}$ จะได้สนามไฟฟ้ารวมกวาดเป็นแนวของวงกลม การกวาดของสนามไฟฟ้าเช่นนี้จะได้แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมแบบตามขวา ซึ่งสามารถนำข้อมูลนี้ไปเขียนโจนส์เวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} E_{OX} e^{i\phi_X} \\ E_{OY} e^{i\phi_Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Ae^{0} \\ Ae^{i\frac{\pi}{2}} \end{bmatrix} = A\begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} \qquad (2.41)$$

เนื่องจาก $1^2 + |(i)^2| = 2$ ดังนั้นรูปแบบนอร์แมลไลซ์ของโจนส์เวกเตอร์สำหรับได้แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมแบบตามขวา คือ

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} \qquad (2.42)$$

และในทำนองเดียวกันถ้า E_Y นำ E_X อยู่ $\frac{\pi}{2}$ และ $E_{OX} = E_{OY}$ เราจะได้สนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมเป็นวงกลมตามซ้าย และมีโจนส์เวกเตอร์ที่หาได้จากสมการ (2.41) โดยแทน $\frac{\pi}{2}$ ด้วย $-\frac{\pi}{2}$ ซึ่งจะได้ผลเป็น

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\-i\end{bmatrix} \tag{2.43}$$

2.3.3 โจนส์เวกเตอร์ของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี

ถ้าพิจารณากรณีที่สนามไฟฟ้าในแนวแกน X และ Y ยังคงมีเฟสที่ต่างกัน $\frac{\pi}{2}$ เช่นเดิม แต่มีแอมพลิจูดต่างกันเป็น $E_{OX} = A$ และ $E_{OY} = B$ เราจะได้จากสมการที่ (2.41) ว่า

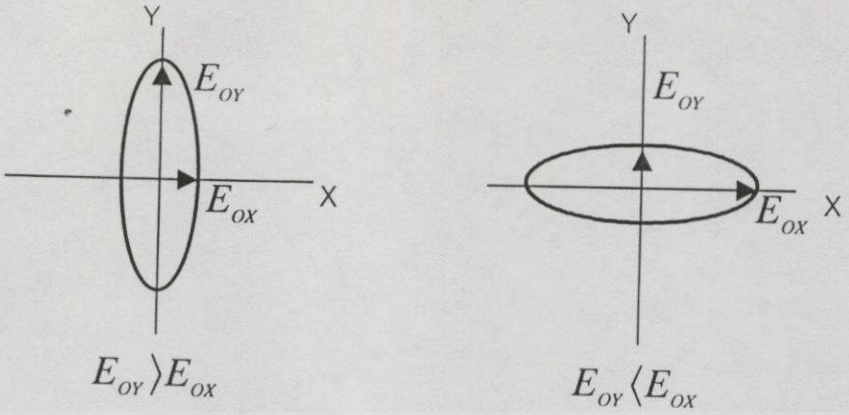
$\begin{bmatrix}A\\+iB\end{bmatrix}$ แทนการกวาดในแบบตามขวา

$\begin{bmatrix}A\\-iB\end{bmatrix}$ แทนการกวาดในแบบตามซ้าย

ซึ่งการกวาดนี้จะให้ผลเป็นวงรีดังแสดงในรูปที่ 2.14 และสำหรับกรณีที่ $\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$ หรือ $\frac{3\pi}{2}$ วงรีที่ได้จะมีแกนหลักอยู่ในแนวแกน X หรือ Y โดยจะขึ้นอยู่กับค่า E_{OX} มากกว่าหรือน้อยกว่าค่า E_{OY} ดังแสดงในรูปที่ 2.15 และนอกจากนี้การกวาดจะเป็นแบบตามซ้ายหรือตามขวานั้นจะขึ้นอยู่กับค่า E_X กับ E_Y ว่าเป็นอย่างไร ถ้า E_X นำ E_Y จะได้การกวาดเป็นแบบตามขวา และถ้า E_Y นำ E_X จะได้การกวาดเป็นแบบตามซ้าย จากการพิจารณานี้จะสามารถสรุปได้ว่าโจนส์เวกเตอร์ที่มีองค์ประกอบทั้งสองที่ไม่เท่ากัน โดยตัวหนึ่งเป็นเลขจินตภาพนั้นจะแทนแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีและมีนอร์แมลไลซ์เป็น

$$\frac{1}{\sqrt{A^2+B^2}}\begin{bmatrix}A\\\pm iB\end{bmatrix} \tag{2.44}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีในกรณีที่ $\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$

ในกรณีที่แสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีมีแกนหลักทำมุมกับแกน X หรือ Y นั้นจะเกิดขึ้นเมื่อสนามไฟฟ้าในแนวแกน X และ Y มีเฟสต่างกันเป็นค่าที่ไม่ใช่ $m\pi$ และ $(m+1/2)\pi$ โดยที่ m มีค่า 0,1,2,..... เมื่อพิจารณากรณีที่ E_x นำ E_y ด้วยค่า $\phi_y - \phi_x = \varepsilon$ โดยกำหนดให้ $\phi_x = 0$ และ $\phi_y = \varepsilon$ โดยที่ $E_{OX} = A$ และ $E_{OY} = b$ จะได้โจนส์เวกเตอร์เป็น

$$\bar{E} = \begin{bmatrix} E_{OX}e^{i\phi_x} \\ E_{OY}e^{i\phi_y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ be^{i\varepsilon} \end{bmatrix} \tag{2.45}$$

เมื่อใช้สูตรของออยเลอร์(Euler's Formula) จะได้ว่า

$$be^{i\varepsilon} = b(\cos\varepsilon + i\sin\varepsilon) = B + iC \tag{2.46}$$

ซึ่ง $B = b\cos\varepsilon, C = b\sin\varepsilon$ ดังนั้น

$$\bar{E} = \begin{bmatrix} A \\ B + iC \end{bmatrix} \tag{2.47}$$

และนอร์แมลไลซ์ของ $\bar{E}$ จะมีค่าเป็น

$$\frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \begin{bmatrix} A \\ B + iC \end{bmatrix} \tag{2.48}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสมการที่ (2.48) จะสามารถใช้ได้กับทุกกรณีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่อย่างไรก็ตาม โจนส์เวกเตอร์จะไม่สามารถใช้แทนแสงที่ไม่เป็นโพลาไรซ์ได้ แต่จะใช้แทนเฉพาะแสงที่เป็นโพลาไรซ์เท่านั้น ประโยชน์ของโจนส์เวกเตอร์อันหนึ่งที่เห็นได้ชัดก็คือ การนำมาใช้อธิบายการรวมกันของคลื่นแสงที่มีโพลาไรเซชันชนิดที่แตกต่างกันว่าจะได้แสงที่มีโพลาไรเซชันชนิดใดออกมา เช่น แสดงการรวมกันของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมแบบตามซ้ายและตามขวาที่มีแอมพลิจูดเท่ากันว่าจะได้ผลลัพธ์เป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีสนามไฟฟ้าในแนวราบและมีแอมพลิจูดเป็น 2 ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} 1 \\ +i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+1 \\ i-i \end{bmatrix} = 2\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.49}$$

2.4 โจนส์เมตริกซ์

อุปกรณ์ทางแสงหลายชนิดที่ทำให้แสงที่ผ่านไปเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะทางโพลาไรเซชัน อุปกรณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า โพลาไรเซอร์(Polarizer) ซึ่งสามารถนำ โจนส์เมตริกซ์(Jones Matrix) มาอธิบายโพลาไรเซอร์ชนิดต่างๆได้ดังนี้

2.4.1 โจนส์เมตริกซ์ของโพลาไรเซอร์ชนิดเชิงเส้น

โจนส์เมตริกซ์ของโพลาไรเซอร์ชนิดเชิงเส้น(Linearly Polarized) สามารถพิจารณากรณีของโพลาไรเซอร์ชนิดเชิงเส้นที่มีแกนส่งผ่าน(Transmission Axis,TA)อยู่ในแนวดิ่ง ซึ่งถ้าให้เมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$$

แทนการกระทำของโพลาไรเซอร์ต่อแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นในแนวดิ่ง จะได้แสงโพลาไรซ์ที่ผ่านออกมาเป็นแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นในแนวดิ่งเช่นเดิม ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการของเมตริกซ์ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.50}$$

หรือสามารถเขียนได้ว่า

$$a(0) + b(1) = 0 \tag{2.51}$$

และ

$$c(0) + d(1) = 1 \tag{2.52}$$

ซึ่งจะได้ว่า $b = 0$ และ $d = 1$

ต่อไปพิจารณาว่า ถ้าแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวราบผ่านโพลาไรเซอร์นี้ จะไม่มีแสงผ่านออกมาได้เลย หรือเขียนเป็นสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.53}$$

หรือสามารถเขียนได้ว่า

$$a(1) + b(0) = 0 \tag{2.54}$$

และ

$$c(1) + d(0) = 0 \tag{2.55}$$

ซึ่งจะได้ว่า $a = 0$ และ $c = 0$

ดังนั้นจะได้เมตริกซ์ที่แทนโพลาไรเซอร์เชิงเส้นที่มี TA ในแนวดิ่งมีค่าเป็น

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.56}$$

และสำหรับเมตริกซ์ที่แทนโพลาไรเซอร์เชิงเส้นที่มี TA ในแนวราบสามารถหาได้แบบเดียวกับกรณีที่ TA อยู่ในแนวดิ่ง และมีผลคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{2.57}$$

สำหรับกรณีที่ TA ทำมุม θ ใดๆกับแนวราบจะสามารถหาโจนส์เมตริกซ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix} \tag{2.58}$$

หรือสามารถเขียนได้ว่า

$$a\cos\theta + b\sin\theta = \cos\theta = (\cos^2\theta + \sin^2\theta)\cos\theta \tag{2.59}$$

และ

$$c\cos\theta + d\sin\theta = \sin\theta = (\cos^2\theta + \sin^2\theta)\sin\theta \tag{2.60}$$

ซึ่งจะได้ว่า $a = \cos^2\theta$,$b = \sin\theta\cos\theta$,$c = \sin\theta\cos\theta$ และ $d = \sin^2\theta$

ดังนั้นโจนส์เมตริกซ์ของโพลาไรเซอร์เชิงเส้นในกรณีที่ TA ทำมุม θ ใดๆกับแนวราบจะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$M = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin\theta\cos\theta \\ \sin\theta\cos\theta & \sin^2\theta \end{bmatrix} \tag{2.61}$$

2.4.2 โจนส์เมตริกซ์ของตัวหน่วงเฟส

ในกรณีของตัวหน่วงเฟสนั้น เราต้องการหาเมตริกซ์ที่ทำให้มีการเปลี่ยนสนามไฟฟ้าเดิม $E_{ox}e^{i\phi_x}$ ไปเป็น $E_{ox}e^{i(\phi_x+\varepsilon_x)}$ และ $E_{oy}e^{i\phi_y}$ ไปเป็น $E_{oy}e^{i(\phi_y+\varepsilon_y)}$ เมื่อ ε_x และ ε_y คือเฟสในแนวแกน X และ Y ที่เพิ่มขึ้นเมื่อแสงผ่านตัวหน่วงเฟส และสามารถเขียนสมการเมตริกซ์ได้ว่า

$$\begin{bmatrix} e^{i\varepsilon_x} & 0 \\ 0 & e^{i\varepsilon_y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{ox}e^{i\phi_x} \\ E_{oy}e^{i\phi_y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{ox}e^{i(\phi_x+\varepsilon_x)} \\ E_{oy}e^{i(\phi_y+\varepsilon_y)} \end{bmatrix} \tag{2.62}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นโจนส์เมตริกซ์ของตัวหน่วงเฟสจึงเขียนได้เป็น

$$M = \begin{bmatrix} e^{i\varepsilon_X} & 0 \\ 0 & e^{i\varepsilon_Y} \end{bmatrix} \tag{2.63}$$

2.4.3 โจนส์เมตริกซ์ของตัวหมุนเฟส

ในกรณีของตัวหมุนเฟสนั้น ถ้ากำหนดให้แนวของสนามไฟฟ้าหมุนไปเป็นมุม β แสดงว่าแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีสนามไฟฟ้าในแนวทำมุม θ กับแนวราบ เมื่อผ่านตัวหมุนเฟสจะทำให้สนามไฟฟ้าอยู่ในแนว $(\theta + \beta)$ แทน ซึ่งอธิบายเป็นสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta+\beta) \\ \sin(\theta+\beta) \end{bmatrix} \tag{2.64}$$

หรือสามารถเขียนได้ว่า

$$a\cos\theta + b\sin\theta = \cos(\theta+\beta) = \cos\theta\cos\beta - \sin\theta\sin\beta \tag{2.65}$$

และ

$$c\cos\theta + d\sin\theta = \sin(\theta+\beta) = \sin\theta\cos\beta + \cos\theta\sin\beta \tag{2.66}$$

ซึ่งจะได้ว่า $a = \cos\beta$, $b = -\sin\beta$, $c = \sin\beta$ และ $d = \cos\beta$

ดังนั้นโจนส์เมตริกซ์ของตัวหมุนเฟสจะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$M = \begin{bmatrix} \cos\beta & -\sin\beta \\ \sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix} \tag{2.67}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าโจนส์เมตริกซ์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น จะเป็นประโยชน์มากเมื่อใช้ในการพิจารณาผลของโพลาไรเซอร์ที่มีต่อแสง ตลอดจนสามารถใช้ศึกษาการทำให้เกิดแสงโพลาไรซ์ชนิดต่างๆด้วยอุปกรณ์ทางแสงเหล่านี้ได้ง่ายขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สโตกส์เวกเตอร์

สโตกส์เวกเตอร์จะมีความคล้ายคลึงกับโจนส์เวกเตอร์ในการแทนสถานะโพลาไรซ์และอุปกรณ์ทางแสงด้วยเมตริกซ์ แต่ความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์ทั้งสองเห็นได้ชัดเจนจากขนาดของเมตริกซ์ที่ใช้ ในขณะที่โจนส์เวกเตอร์แทนสถานะโพลาไรซ์ของแสงด้วยเมตริกซ์ขนาด 2x1 โดยสมาชิกแต่ละตัวอยู่ในรูปของสนามไฟฟ้าซึ่งจะประกอบด้วยแอมพลิจูดและเฟสของโจนส์เวกเตอร์โดยในแต่ละแนวแกนหลัก สโตกส์เวกเตอร์แทนสถานะโพลาไรซ์ของแสงด้วยเมตริกซ์ขนาด 4x1 ซึ่งสมาชิกทั้งสี่ตัวสามารถแทนได้ด้วยสัญลักษณ์ S_0 S_1 S_2 และ S_3 โดยอยู่ในรูปของความเข้มแสงทั้งสิ้น เมื่อ S_0 เป็นความเข้มของแสงทั้งหมด(Total Intensity) ในขณะที่ S_1 S_2 และ S_3 เป็นความเข้มของแสงที่เกี่ยวข้องกับสถานะโพลาไรซ์ของแสงที่กำลังทำการวิเคราะห์ ดังนั้นจะเห็นว่าสโตกส์พารามิเตอร์นั้นเหมาะสมและสะดวกรวดเร็วในกรณีที่ต้องการทราบลักษณะเอาต์พุตที่ได้จากระบบการทดลอง เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้แสดงสถานะโพลาไรซ์ของแสงนั้นสามารถวัดได้โดยตรงด้วยวิธีการวัดความเข้มแสงที่จะทำการตรวจสอบ ซึ่งในส่วนของการตรวจสอบสถานะโพลาไรซ์ของแสงเพื่อยืนยันผลในการทดลองนั้นได้นำวิธีการนี้มาใช้ด้วย

โดยทั่วไปสโตกส์พารามิเตอร์สามารถเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์ในแนวตั้งได้ดังนี้

$$S = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \tag{2.68}$$

โดยที่แต่ละพารามิเตอร์มีนิยามดังนี้

S_0 คือ $I_0 + I_{90}$

พารามิเตอร์นี้หมายถึงความเข้มรวมของแสงโพลาไรซ์ที่ทำการวิเคราะห์

S_1 คือ $I_0 - I_{90}$

พารามิเตอร์นี้หมายถึงผลต่างระหว่างความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ทำการวิเคราะห์เมื่อทำการวัดที่มุม 0 และ 90 องศาเทียบกับแกนอ้างอิง ในกรณีที่ผลต่างมีค่ามากกว่าศูนย์แสดงว่าแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลาไรซ์ดังกล่าวมีแนวโน้มเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีแกนหลักขนานกับแกนอ้างอิง กรณีที่ผลต่างมีค่าน้อยกว่าศูนย์แสดงว่าแสงโพลาไรซ์มีแนวโน้มเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีแกนหลักตั้งฉากกับแกนอ้างอิง

$$S_2 \text{ คือ } I_{45} - I_{-45}$$

พารามิเตอร์นี้หมายถึงผลต่างระหว่างความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ทำการวิเคราะห์เมื่อทำการวัดที่มุม 45 และ -45 องศาเทียบกับแกนอ้างอิง ในกรณีที่ผลต่างมีค่ามากกว่าศูนย์แสดงว่าแสงโพลาไรซ์ดังกล่าวมีแนวโน้มเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีแกนหลักทำมุม 45 องศากับแกนอ้างอิง กรณีที่ผลต่างมีค่าน้อยกว่าศูนย์แสดงว่าแสงโพลาไรซ์มีแนวโน้มเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีแกนหลักทำมุม –45 องศากับแกนอ้างอิง

$$S_3 \text{ คือ } I_{RCP} - I_{LCP}$$

พารามิเตอร์นี้หมายถึงผลต่างระหว่างความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ทำการวิเคราะห์เมื่อทำการวัดความเข้มของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา(I_{RCP}) และตามซ้าย(I_{LCP}) ในกรณีที่ผลต่างมีค่ามากกว่าศูนย์แสดงว่าแสงโพลาไรซ์ดังกล่าวมีแนวโน้มเป็นแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา กรณีที่ผลต่างมีค่าน้อยกว่าศูนย์แสดงว่าแสงโพลาไรซ์มีแนวโน้มเป็นแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามซ้าย

สโตกส์เวกเตอร์นี้สามารถแทนได้ทั้งแสงที่เป็นแสงโพลาไรซ์และแสงที่ไม่เป็นแสงโพลาไรซ์หรือแสงโพลาไรซ์บางส่วน เพราะว่าแสงที่ไม่เป็นแสงโพลาไรซ์สามารถแสดงเป็นเวกเตอร์สนามไฟฟ้าได้ที่เวลาใดๆ ดังนั้นคาบเวลาของโพลาไรเซชันทั้งหมดสามารถแสดงเป็นค่าเฉลี่ยออกมาเหมือนกับแสงที่ไม่เป็นแสงโพลาไรซ์ ซึ่งค่าสโตกส์เวกเตอร์จะแสดงเป็นค่าเฉลี่ยของส่วนประกอบในรูปของเวกเตอร์ดังนี้

$$\begin{aligned} S_0 &= \langle I \rangle = \langle E_{OX}^2 + E_{OY}^2 \rangle \\ S_1 &= \langle I_0 - I_{90} \rangle = \langle E_{OX}^2 + E_{OY}^2 \rangle \\ S_2 &= \langle I_{45} - I_{-45} \rangle = \langle 2E_{OX}E_{OY} \cos\Delta \rangle \\ S_3 &= \langle I_{RCP} - I_{LCP} \rangle = \langle 2E_{OX}E_{OY} \sin\Delta \rangle \end{aligned} \qquad (2.69)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากในเครื่องหมาย $\langle\ \rangle$ จะแสดงเป็นค่าเฉลี่ยในคาบเวลาของขนาดความเข้มแสงทั้งหมด เมื่อแสงไม่เป็นแสงโพลาไรซ์ในรูปของนอร์แมลไลซ์ เทอมของ S_1 S_2 และ S_3 จะหายไปหรือมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อแสงเป็นแสงโพลาไรซ์บางส่วนจะได้ $0 < S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 < 1$ ถ้าแสงเป็นแสงโพลาไรซ์สมบูรณ์นั้นเทอมของ $S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 = 1$

ตารางที่ 2.1 แสดงนอร์แมลไลซ์พารามิเตอร์สำหรับแสงโพลาไรซ์หลายๆสถานะ

สถานะของแสงโพลาไรซ์	Normalized Stokes Parameter
Horizontally Linear Polarization	$\begin{bmatrix}1\\1\\0\\0\end{bmatrix}$
Vertically Linear Polarization	$\begin{bmatrix}1\\-1\\0\\0\end{bmatrix}$
45° Linear Polarization	$\begin{bmatrix}1\\0\\1\\0\end{bmatrix}$
135° Linear Polarization	$\begin{bmatrix}1\\0\\-1\\0\end{bmatrix}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ)

สถานะของแสงโพลาไรซ์	Normalized Stokes Parameter
Right Circular Polarization	$\begin{bmatrix}1\\0\\0\\1\end{bmatrix}$
Left Circular Polarization	$\begin{bmatrix}1\\0\\0\\-1\end{bmatrix}$

ในกรณีที่ทำให้สโตกส์เวกเตอร์เป็นนอร์แมลไลซ์นั้นจะหาได้จากการทำให้ความเข้มของแสงรวมทั้งหมดเป็นหนึ่ง($S_0 = 1$) ซึ่งทำได้โดยการนำความเข้มของแสงรวมทั้งหมดไปหารค่าความเข้มแสงที่ S_0 S_1 S_2 และ S_3 ค่าที่ได้ออกมานี้จะเป็นค่านอร์แมลไลซ์ที่แสดงสถานะของแสงโพลาไรซ์ต่างๆ ดังแสดงได้ในตารางที่ 2.1

สำหรับข้อดีของสโตกส์เวกเตอร์นั้นคือ จะสามารถวัดได้ง่ายเนื่องจากใช้การวัดค่าความเข้มของแสง โดยต่างจากโจนส์เวกเตอร์ที่แสดงเป็นสนามไฟฟ้าซึ่งจะยากต่อการวัดค่าสนามไฟฟ้านั้น ดังนั้นสโตกส์เวกเตอร์จึงเป็นที่นิยมมากในการใช้ตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสงเอาต์พุตในระบบการทดลอง และในงานวิจัยนี้ได้ใช้สโตกส์เวกเตอร์เป็นวิธีการในการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสงเอาต์พุตด้วย

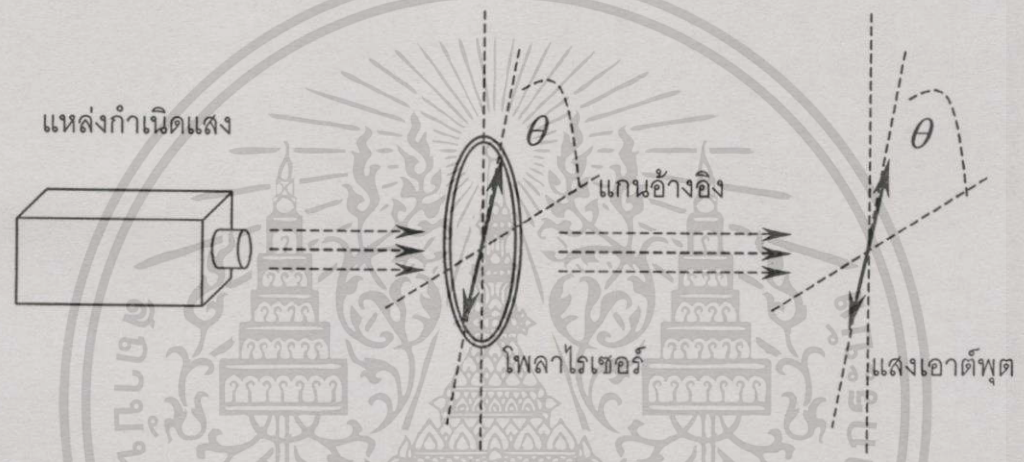
2.6 การควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้น

สำหรับการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้นในงานวิจัยนี้จะมีอยู่ด้วยกันสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงหรือเลเซอร์ และส่วนที่เป็นเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 แหล่งกำเนิดแสง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงอยู่สองชนิดคือ เลเซอร์ฮีเลียมนีออน และเลเซอร์ไดโอด ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองชนิดนี้สามารถที่จะทำการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้นได้โดยการให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านอุปกรณ์ทางแสงที่เรียกว่า โพลาไรเซอร์ ซึ่งโพลาไรเซอร์นี้สามารถทำการปรับแนวแกนให้ทำมุมใดๆกับแนวแกนอ้างอิงได้ จึงทำให้แสงที่ผ่านออกมามีแนวของโพลาไรเซชันเชิงเส้นเป็นไปตามแนวแกนของโพลาไรเซอร์ที่ทำมุมใดๆกับแนวแกนอ้างอิงนั้น ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.16

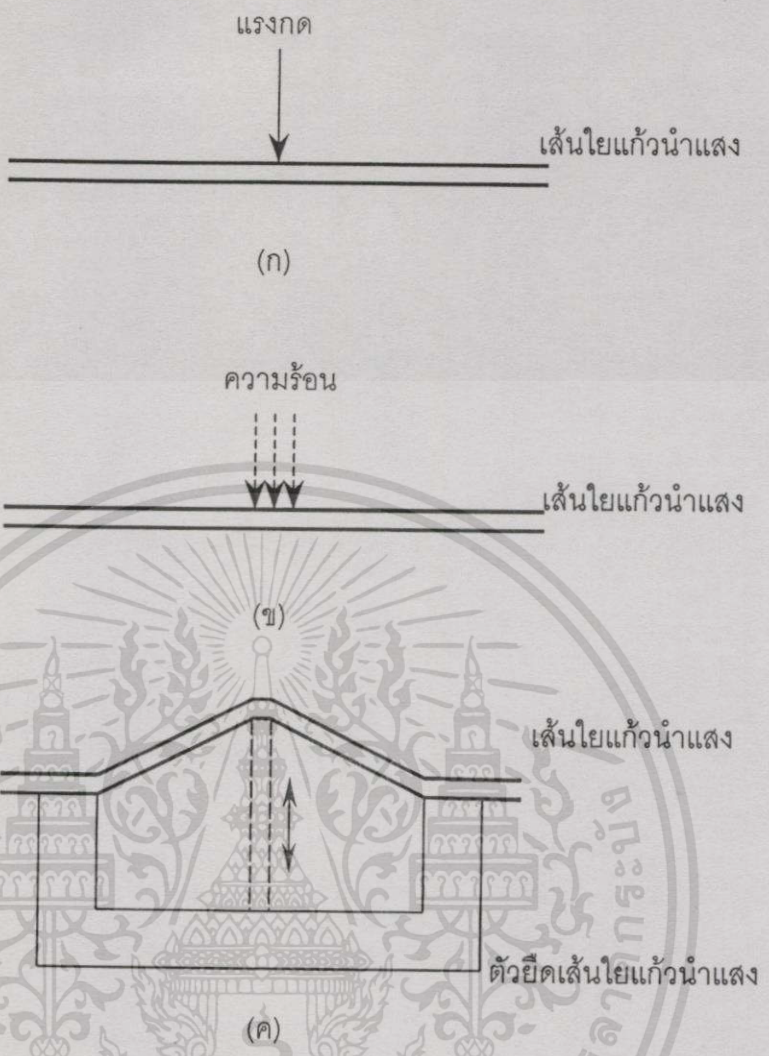


รูปที่ 2.16 แสดงการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้นของแหล่งกำเนิดแสง

2.6.2 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์

การควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้นของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์นั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้นโดยวิธีการกด การให้ความร้อน และการยืดเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งการคัปปลิงด้วยวิธีการดังกล่าวนี้จะกระทำให้ค่าไบร์ฟรินเจนซ์ของเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการเปลี่ยนแปลงไป จึงเป็นผลให้โหมดของโพลาไรเซชันของแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นเราจึงสามารถทำการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้นในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ได้ตามต้องการ ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้นของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ ด้วยวิธี (ก) การกด (ข) การให้ความร้อน และ (ค) การยืดเส้นใยแก้วนำแสง

2.7 สรุป

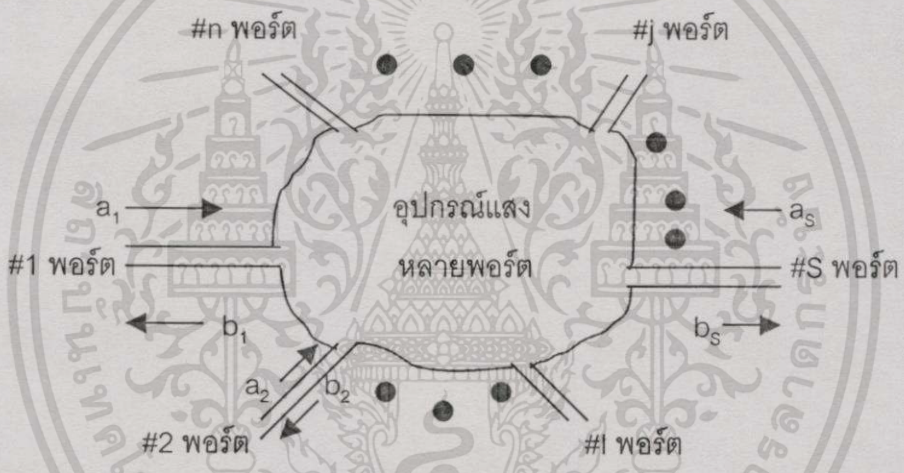
ในบทนี้เนื้อหาที่กล่าวมาจะเป็นเรื่องเกี่ยวกับพื้นฐานทางแสง และโพลาไรเซชันชนิดต่างๆ คือ แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม และแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี รวมทั้งได้กล่าวถึงคณิตศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ โจนส์เวกเตอร์ ซึ่งใช้อธิบายชนิดของแสงโพลาไรซ์ต่างๆ และโจนส์เมตริกซ์ ซึ่งใช้เป็นตัวแทนเชิงคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ทางแสง และสโตกส์เวกเตอร์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสงเอาต์พุต และการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันเชิงเส้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สำหรับในบทต่อไปจะกล่าวถึงเรื่องพื้นฐานของอุปกรณ์สวิตชิ่งทางแสง (Optical Switching)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์สวิตซิ่งแสง

อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของแสงซึ่งอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงเชิงกล(Mechanic Optical Switching) และอุปกรณ์สวิตซิ่งแสงไม่เชิงกล(Non-Mechanic Optical Switching) ซึ่งอุปกรณ์สวิตซิ่งแสงแต่ละชนิดนั้นจะมีคุณสมบัติ และโครงสร้างที่แตกต่างกันไปตามชนิดและโครงสร้างนั้นๆ

3.1 คณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แสงหลายพอร์ต



รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์แสงหลายพอร์ต

คณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายอุปกรณ์แสงหลายพอร์ตนั้นสามารถอธิบายได้ในรูปของเมตริกซ์ โดยพิจารณารูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงอุปกรณ์แสงหลายพอร์ต ซึ่งมีทางเข้าและทางออกของสัญญาณแสงหลายทาง โดยช่องที่ I มีสัญญาณเข้าเป็น a_I และมีสัญญาณออกเป็น b_I โดยสัญญาณที่เข้าและออกนั้นเป็นสมการของความเข้มของแสง ซึ่งสามารถแสดงได้ตามลำดับดังต่อไปนี้

$$I_{in}(t) = I_{in}\cos^2(2\pi\nu_{in}t) \tag{3.1}$$

และ

$$I_{out}(t) = I_{out}\cos^2(2\pi\nu_{out}t) \tag{3.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $I_{in}(t)$, $I_{out}(t)$ คือความเข้มของแสงที่เข้าและออกตามลำดับ I_{in}, I_{out} คือแอมพลิจูดของแสงที่เข้าและออกตามลำดับ และ ν_{in}, ν_{out} คือความถี่ของแสงที่เข้าและออกตามลำดับ

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่เข้ากับสัญญาณที่ออกสามารถแสดงดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ . \\ . \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & . & . & s_{1n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ s_{n1} & . & . & s_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ . \\ . \\ a_n \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

เมื่อ b = [b_1, b_2,....., b_n] และ a = [a_1, a_2,....., a_n] เป็นปริมาณเวกเตอร์ และ [s] เป็นเมตริกซ์ของการกระจาย(Scattering Matrix) ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

$$b = [s]a \tag{3.4}$$

โดยจะมีสมการของพลังงานที่เข้าคือ

$$P_{in} = \sum_{j=1}^{n} |a_j|^2 = \sum_{j=1}^{n} a_j a_j^* \tag{3.5}$$

และมีสมการของพลังงานที่ออกคือ

$$P_{out} = \sum_{j=1}^{n} |b_j|^2 = \sum_{j=1}^{n} b_j b_j^* \tag{3.6}$$

เมื่อ a_j^* และ b_j^* เป็นค่าคอมเพ็ลคคอนจูเกต(Complex Conjugate) และพลังงานที่สูญเสียไปน้อยที่สุดคือ $P_{in} = P_{out}$ ซึ่งสามารถแสดงได้จากกฎอนุรักษ์พลังงาน(Energy Conservation Law) คือ

$$P_{out} = \sum_{j=1}^{n} \left(\sum_{i=1}^{n} s_{ji} a_i \right) \left(\sum_{k=1}^{n} s_{jk}^* a_k^* \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \left(\sum_{j=1}^{n} s_{ji} s_{jk}^{*} \right) a_i a_k^{*}$$

$$= P_{in}$$

เมื่อ

$$\sum_{j=1}^{n} s_{ji} s_{jk}^{*} = \delta_{ik} \tag{3.7}$$

ซึ่ง δ_{ik} คือ โคเน็คเกอร์เดลต้า(Kronecker delta) และ δ_{ik} = 1 เมื่อ I = j หรือ δ_{ik} = 0 เมื่อ I ≠ j ดังนั้นจะได้ว่า

$$P_{out} = P_{in} \tag{3.8}$$

3.2 อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกล

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของแสง โดยอาศัยหลักการของการขับเคลื่อนอุปกรณ์การบังคับทางเดินของแสง ซึ่งอาจจะเป็นเส้นใยแก้วนำแสง แท่งแก้วปริซึม แผ่นกระจก หรืออุปกรณ์ทางแสงอื่นๆ โดยที่การบังคับเส้นทางเดินของแสงนั้นอาจจะใช้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์เชิงกลอื่นๆก็ได้ตามความต้องการ

คุณสมบัติของอุปกรณ์เชิงกลนี้จะมีการสูญเสียและการลดทอนของแสงต่ำ แต่จะมีความเร็วในการสับเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของแสงค่อนข้างช้า ซึ่งสามารถแสดงคุณสมบัติได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกล

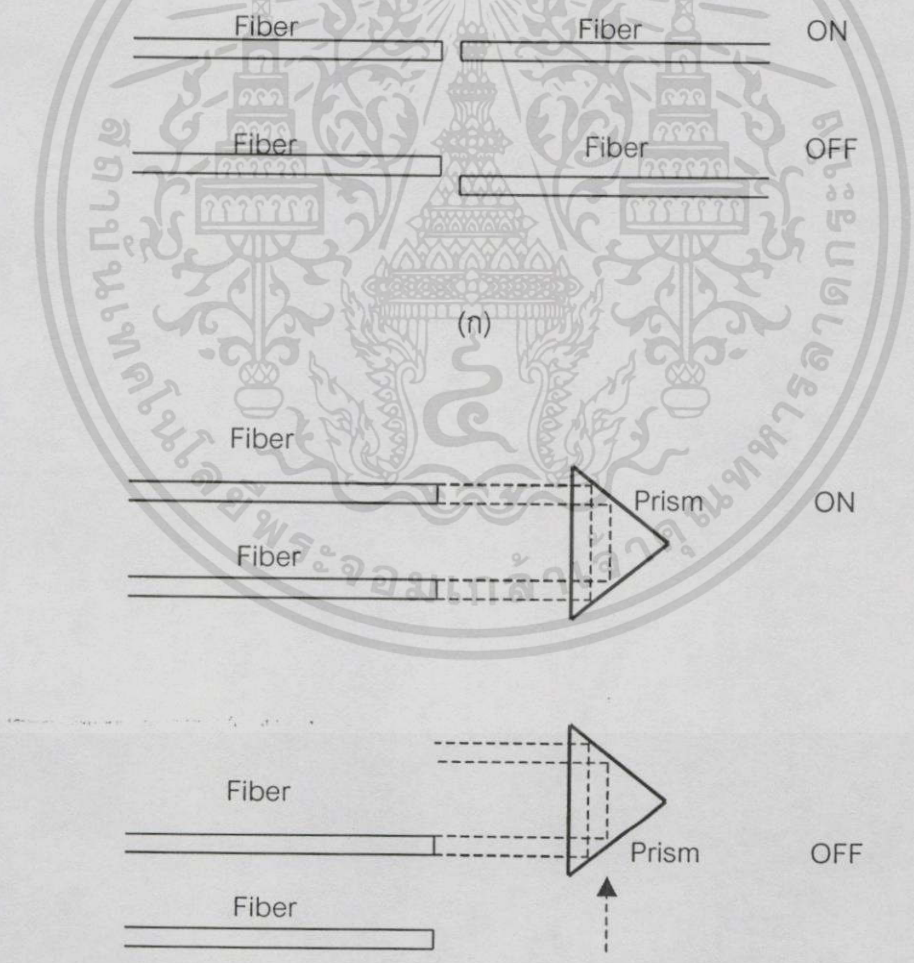
คุณสมบัติ	อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกล
ขนาด(Size)	ใหญ่
เวลาในการสวิตชิ่ง(Switching Time)	ช้า
การสูญเสียพลังงานแสง(Insertion Loss)	ต่ำ
การสูญเสียพลังงานแสงข้ามช่อง(Cross Talk)	ต่ำ

อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกลนี้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดซึ่งสามารถที่จะแบ่งตามจำนวนทางเข้าและทางออกของแสงได้ดังต่อไปนี้

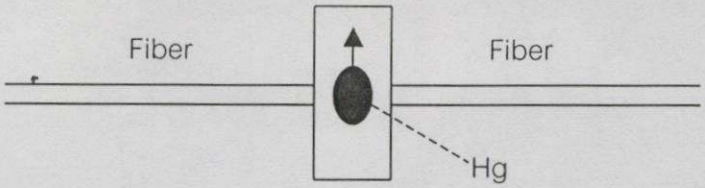
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกลแบบ 1x1

เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงที่มีทางเข้าของแสง 1 ทาง และมีทางออกของแสง 1 ทาง ซึ่งอาจจะเรียกว่า อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบเปิด-ปิด เนื่องจากมีตัวควบคุมเส้นทางการเดินทางของแสงที่มีหน้าที่ในการควบคุมให้แสงสามารถผ่านไปได้หรือไม่สามรถผ่านไปได้ ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงที่มีโครงสร้างที่ง่ายที่สุดโดยที่ตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านอาจจะเป็น เส้นใยแก้วนำแสง แท่งแก้วปริซึม หรืออุปกรณ์ทางแสงอื่นๆก็ได้ สำหรับการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงชนิดนี้นั้นอาจจะใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านให้เกิดการเคลื่อนที่ก็ได้หรืออาจจะใช้วิธีอื่นใดก็ได้ที่จะทำให้ตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านเกิดการเคลื่อนที่โดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงชนิดนี้ไปใช้งาน ตัวอย่างของสวิตช์แสงเชิงกลแบบ 1x1 นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

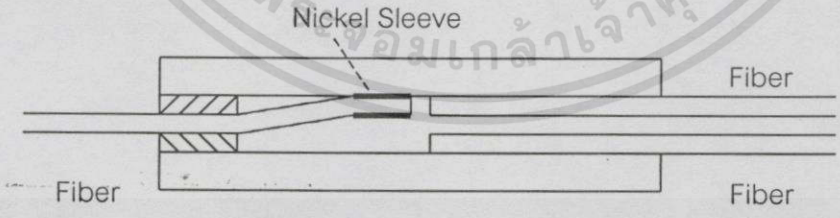


(ค)

รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของอุปกรณ์สวิตซิ่งแสงเชิงกลแบบ 1x1 เมื่อ (ก) อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงที่ใช้การเลื่อนเส้นใยแก้วนำแสง (ข) อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงที่ใช้การเลื่อนแท่งแก้วปริซึม(Prism) และ (ค) อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงแบบอิเล็กโตรเวตติง(Electrowetting)โดยใช้ปรอท(Hg)เป็นตัวเปิด-ปิดทางเดินของแสง

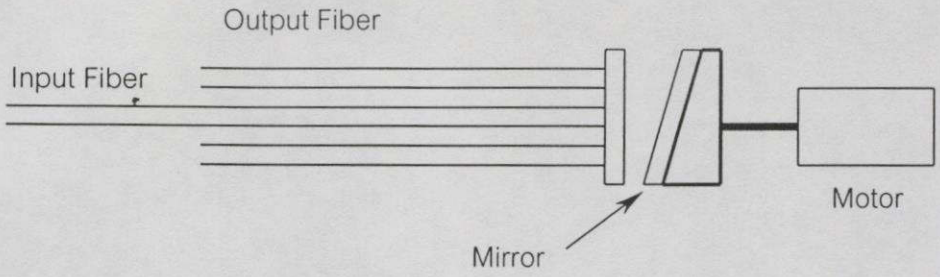
3.2.2 อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงเชิงกลแบบ 1xN

เป็นอุปกรณ์สวิตซิ่งแสงที่มีทางเข้าของแสง 1 ทาง และมีทางออกของแสงหลายทาง โดยที่ตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านอาจจะเป็น เส้นใยแก้วนำแสง แผ่นกระจก หรืออุปกรณ์ทางแสงอื่นๆก็ได้ สำหรับการทำงานของอุปกรณ์สวิตซิ่งแสงชนิดนี้อาจจะใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านให้เกิดการเคลื่อนที่ก็ได้หรืออาจจะใช้วิธีอื่นใดก็ได้ที่จะทำให้ตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านเกิดการเคลื่อนที่โดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำอุปกรณ์สวิตซิ่งแสงชนิดนี้ไปใช้งาน ซึ่งตัวอย่างของอุปกรณ์สวิตซิ่งแสงเชิงกลแบบ 1xN นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

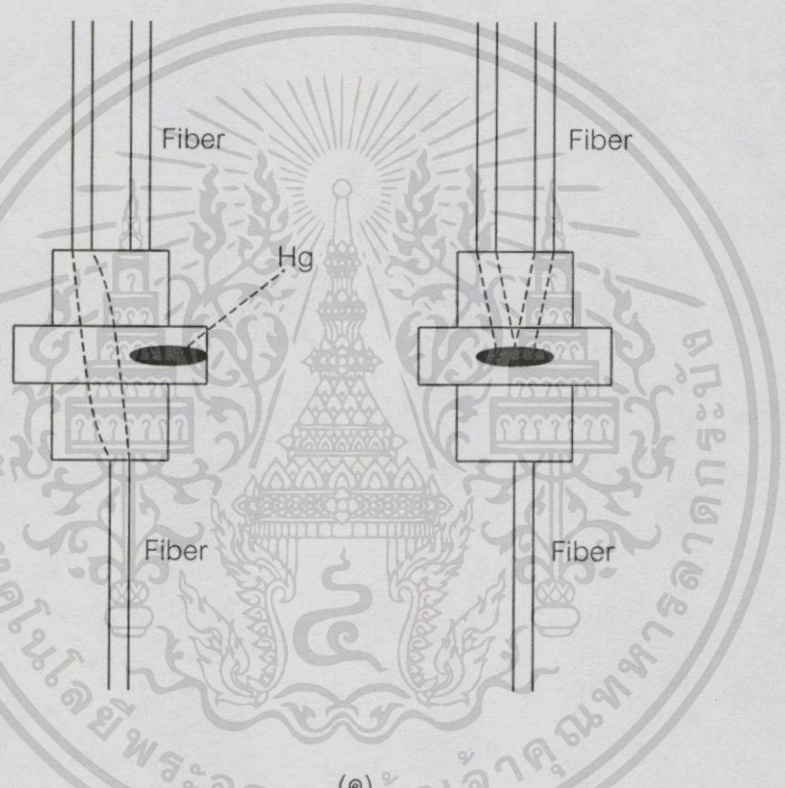


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



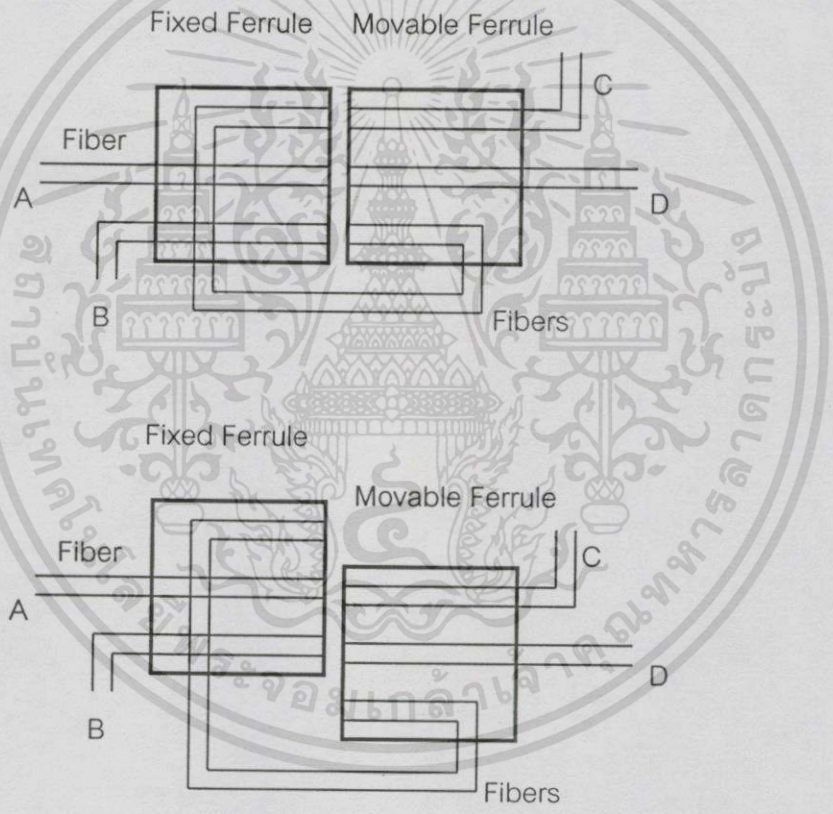
(ค)

รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของอุปกรณ์สวิตซิ่งแสงเชิงกลแบบ 1xN เมื่อ (ก) อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงที่ใช้การเลื่อนเส้นใยแก้วนำแสงที่มีปลอกโลหะนิเกิล(Nickel Sleeve)สวมอยู่ตอนปลาย (ข) อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงที่ใช้การหมุนแผ่นกระจก(Mirror)ด้วยมอเตอร์(Motor)เพื่อเปลี่ยนทางเดินของแสง และ (ค)อุปกรณ์สวิตซิ่งแสงแบบอิเล็กโตรเวตติง โดยใช้ปรอท(Hg)เป็นตัวเปลี่ยนทางเดินของแสง

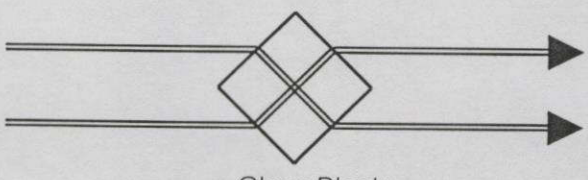
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกลแบบ NxM

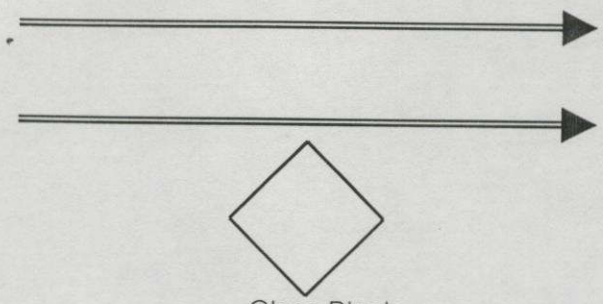
เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงที่มีทางเข้าของแสงหลายทาง และมีทางออกของแสงหลายทาง โดยที่ตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านอาจจะเป็น เส้นใยแก้วนำแสง แท่งแก้ว หรืออุปกรณ์ทางแสงอื่นๆ ก็ได้ สำหรับการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงชนิดนี้ก็อาจจะใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านให้เกิดการเคลื่อนที่เช่นเดียวกับอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงชนิดอื่นทั่วๆ ไปหรืออาจจะใช้วิธีอื่นใดก็ได้ที่จะทำให้ตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านเกิดการเคลื่อนที่โดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงชนิดนี้ไปใช้งาน ตัวอย่างของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกลแบบ NxM นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



(ก)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงเชิงกลแบบ NxM เมื่อ (ก) อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบใช้เลื่อนเส้นใยแก้วนำแสงที่ยึดติดกับปลอกโลหะที่สามารถเคลื่อนที่ได้(Movable Ferrule) โดยมีเส้นใยแก้วนำแสงที่ยึดติดกับปลอกโลหะที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้(Fixed Ferrule)อยู่อีกทางด้านหนึ่ง และ (ข) อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบใช้เลื่อนแท่งแก้ว(Glass Block)เพื่อเปลี่ยนทางเดินของแสง

3.3 อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงไม่เชิงกล

เป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของแสง โดยที่ตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านจะไม่มีการเคลื่อนที่แต่จะใช้วิธีการกระทำให้ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านมีค่าที่เปลี่ยนไป ซึ่งอาจจะใช้ปรากฏการณ์ทางแสง-ไฟฟ้า(Electreoptical Effect) หรือปรากฏการณ์ทางแสง-เสียง(Acoustic Optical Effect) เป็นตัวทำให้ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางเปลี่ยนไป

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงไม่เชิงกล

คุณสมบัติ	อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงไม่เชิงกล
ขนาด(Size)	เล็ก
เวลาในการสวิตชิ่ง(Switching Time)	เร็ว
การสูญเสียพลังงานแสง(Insertion Loss)	สูง
การสูญเสียพลังงานแสงข้ามช่อง(Cross Talk)	สูง

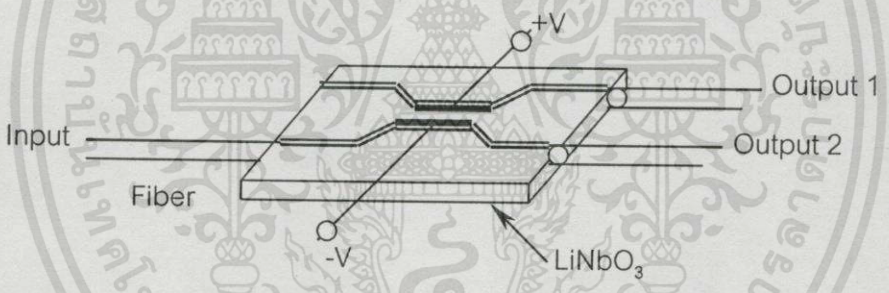
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของอุปกรณ์ประเภทนี้จะมีการสูญเสียแสงสูง และอาจจะมีการรั่วของแสงไปเข้าเส้นใยแก้วนำแสงเส้นอื่นได้ แต่จะมีความเร็วในการสับเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของแสงได้เร็วมาก ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงไม่เชิงกลนี้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดซึ่งสามารถที่จะแบ่งตามวิธีการที่ใช้ในการควบคุมเส้นทางการเดินทางของแสงได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบแสง-ไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงที่ใช้วิธีการสร้างสนามไฟฟ้าให้กับตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านให้มีค่าดัชนีหักเหที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เพื่อทำให้แสงเดินทางไปตามเส้นทางที่ต้องการได้ ส่วนตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านนั้นอาจจะเป็นวัสดุประเภทลิเธียมไนโอเบส($LiNbO_3$) เพราะวัสดุประเภทนี้สามารถเปลี่ยนค่าดัชนีหักเหได้เมื่อทำการป้อนสนามไฟฟ้าให้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยจะมีช่องสัญญาณแสงเข้า(Input) 1 ช่องสัญญาณ และมีช่องสัญญาณแสงออก(Output) 2 ช่องสัญญาณ

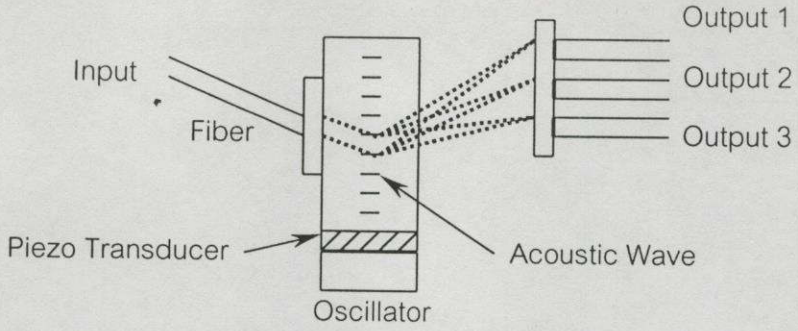


รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบแสง-ไฟฟ้า

3.3.2 อุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบแสง-เสียง

เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงที่ใช้วิธีการสร้างคลื่นเสียง(Acoustic Wave)ให้กับตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านให้มีค่าดัชนีหักเหที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เพื่อทำให้แสงที่เดินทางผ่านตัวกลางนี้สามารถเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของแสงให้เป็นไปตามเส้นทางที่ต้องการได้ โดยอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งจากรูปจะใช้อุปกรณ์ผลิตคลื่นเสียง(Piezo Transducer)ที่สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นเสียงได้ตามความถี่ที่ตัวออสซิลเลเตอร์(Oscillator)ป้อนให้ โดยจะมีช่องสัญญาณแสงเข้า(Input) 1 ช่องสัญญาณ และมีช่องสัญญาณแสงออก(Output) 3 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์สวิตชิ่งแสงแบบแสง-เสียง

3.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประเภทและลักษณะโครงสร้างของอุปกรณ์สวิตชิ่งแสง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์มาก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านการวัด หรืองานทางด้านการสื่อสารได้ ตัวอย่างเช่น นำไปทำเป็นระบบสวิตชิ่งทางแสงแทนระบบสวิตชิ่งทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ ซึ่งจะทำให้ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลมีค่ามากยิ่งขึ้น และสามารถสื่อสารข้อมูลในปริมาณที่มากๆ ได้ เป็นต้น และในบทต่อไปจะกล่าวถึงเรื่องที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
อุปกรณ์การวิจัย

สำหรับในบทนี้จะขอกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของอุปกรณ์ที่ได้ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ทางแสง และอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยรายละเอียดต่างๆจะกล่าวต่อไปตามลำดับดังนี้

4.1 อุปกรณ์ทางแสง

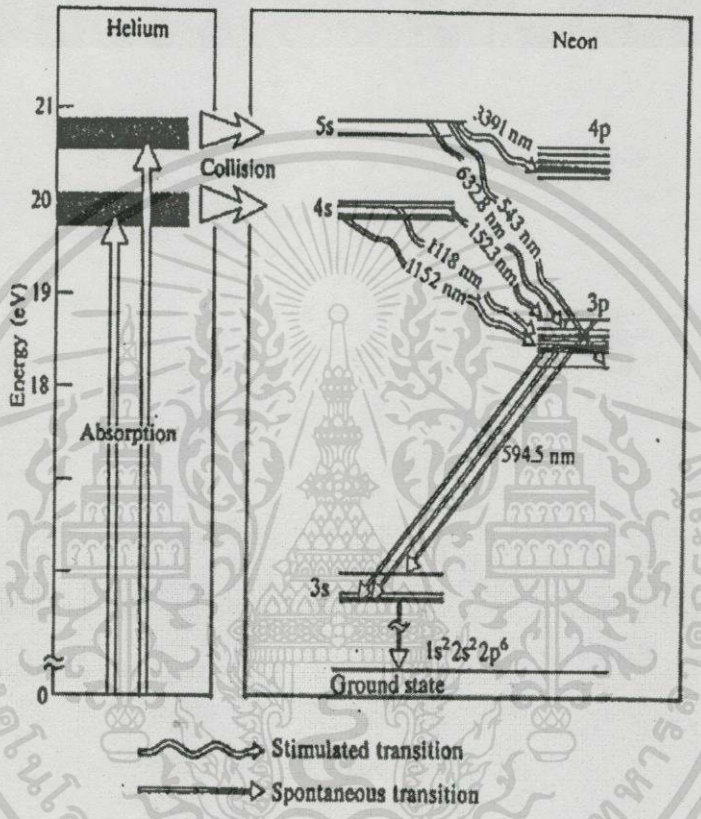
ในส่วนของอุปกรณ์ทางแสงที่สำคัญที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วย เลเซอร์ฮีเลียมนีออน(HeNe Laser) เลเซอร์ไดโอด(Diode Laser) โพลาไรเซอร์(Polarizer) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์(Birefringent Fibers) และผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์(Polarization Beam Splitter) ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 เลเซอร์ฮีเลียมนีออน

หลังจากที่ไมแมน(Maiman) ผู้ซึ่งประสบความสำเร็จในการสร้างแสงเลเซอร์โดยการใช้ผลึกทับทิมในปี ค.ศ. 1960 และในปีต่อมามีผู้ใช้หลอดแก้วบรรจุก๊าซผสมฮีเลียม(Helium)และนีออน(Neon)ที่ให้แสงขนาดความยาวคลื่น 1152 อังสตรอม โดยการกระตุ้นเป็นผลสำเร็จ ซึ่งนับได้ว่าเป็นเลเซอร์เครื่องที่สองของโลก และเครื่องเลเซอร์นี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางจนกระทั่งถึงปัจจุบันนี้ ซึ่งส่วนมากจะใช้แสงที่มีกำลังขนาดมิลลิวัตต์ในช่วงความยาวคลื่น 6328 อังสตรอม โดยเครื่องชนิดนี้มีราคาไม่แพงมากนักเพราะประกอบได้ง่าย และไม่ยุ่งยากต่อการใช้งานยังทั้งไม่เกิดการชำรุดเสียหายได้ง่าย การใช้งานทำได้โดยการป้อนพลังงานจากภายนอกโดยใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงผ่านอิเล็กโทรด(Anode,Cathode)ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและไอออนเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งชนกันไปมาเพิ่มขึ้นตลอดเวลา โดยอะตอมของฮีเลียมจะไม่อยู่ในสภาวะปกติเมื่อชนกับอะตอมของนีออน และจะทำให้อะตอมของนีออนอยู่ในสภาวะไม่ปกติด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งภายใต้แรงสนามไฟฟ้าจากภายนอกระหว่างอิเล็กโทรดไปชนกับอะตอมของฮีเลียมทำให้ยกระดับสภาวะพลังงานของอะตอมให้สูงกว่าปกติ ซึ่งในบางตัวอาจขึ้นไปอยู่ในสภาวะพลังงานระดับ $2S_1$ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงระดับพลังงานของฮีเลียมไว้เพียง 3 ระดับ คือ ระดับสภาวะพลังงานต่ำสุดปกติ ระดับกึ่งสมดุลถาวร 2^3S และระดับกึ่งสมดุลถาวร 2^1S ซึ่งถ้าอยู่ในระดับไม่ปกติเหล่านี้แล้วเมื่อกลับสู่สภาวะปกติต่ำสุดจะไม่คายพลังงานออกมาในรูปของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่จะเป็นพลังงานของการยืดหยุ่นในรูปของโฟตอน หรือมิฉะนั้นอาจจะชนกับอะตอมของนีออนที่อยู่ในสภาวะต่ำสุดปกติจะคายพลังงานเกือบหมด จึงทำให้อะตอมของนีออนมีระดับพลังงานสูงขึ้นไปสู่ระดับ 5S ส่วนนีออนกลับปรากฏว่าเมื่อกลับสู่สภาวะต่ำสุดปกติตามเดิมแล้วจะคายพลังงานออกมาในรูปของแสงได้หลายความยาวช่วงคลื่น(Stimulated Transition) แต่ที่สำคัญคือ 6328 อังสตรอม(1 อังสตรอม = 10^{-8} เมตร)



รูปที่ 4.1 แสดงระดับพลังงานของสารตัวกลางภายในเครื่องฉายแสงเลเซอร์ฮีเลียมนีออน และแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงระดับสภาวะพลังงานต่างๆ

สำหรับการสร้างส่วนประกอบต่างๆของเครื่องให้ได้แสงเลเซอร์สีแดงนี้จะต้องกำหนดส่วนต่างๆให้สอดคล้องกัน[7] เช่นดังต่อไปนี้ และสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

ก.อัตราส่วนผสมระหว่างฮีเลียมกับนีออน

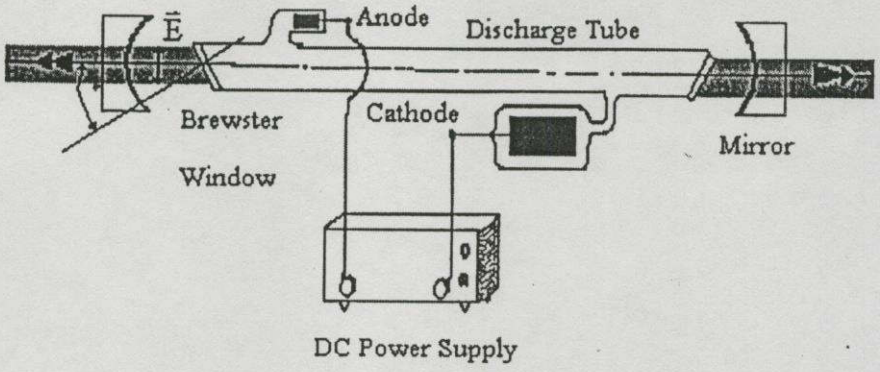
ข.เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดแก้ว(Discharge Tube)ที่บรรจุก๊าซผสมฮีเลียม-นีออน

ค.ศักย์ดาไฟฟ้า

ง.ระยะห่างระหว่างกระจก(Mirror)ทางปลายทั้งสองข้างของเครื่องฉาย

จ.กำลังของแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน ที่ประกอบด้วยแผ่นสะท้อนแสงแบบโค้งทางด้านปลายทั้งสองข้าง(ความโค้งที่แสดงไว้ในรูปนี้วาดให้โค้งมากกว่าที่เป็นจริง)

โดยทั่วไปกระจกที่ใช้ในกรณีนี้จะเคลือบด้วยสารไดอิเล็กทริคบางๆ จำนวนหลายชั้นทำให้การสะท้อนมีค่าสูงกว่าร้อยละ 99 ของแสงที่ตกกระทบ และตรงปลายของหลอดแก้วจะตัดให้ทำมุมโพลาไรซ์ตามหลักของบริวสเตอร์(Brewster) นั้นคือมุมตกกระทบ (i) เท่ากับมุมหักเห (r)

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} \quad \text{หรือจะได้ว่า} \quad \tan i = n_{21} \tag{4.1}$$

เมื่อ n_{21} เป็นค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง และแสงสะท้อนตามหลักการข้างต้นนี้จะมีแนวการสั่นของสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับระนาบของคลื่นตกกระทบ ซึ่งจะประกอบไปด้วยลำแสงตกกระทบกับเส้นปกติ ซึ่งจะทำให้แสงที่ผ่านออกมาเป็นแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น และยังช่วยให้แสงผ่านออกมาได้เกือบทั้งหมดสำหรับแสงที่มีสนามไฟฟ้าขนานกับระนาบของแสงตกกระทบ โดยที่ถ้าหากตัดปลายของหลอดนั้นเป็นระนาบตั้งฉากกับแกนของหลอดจะทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ถึงร้อยละ 4 สำหรับการสะท้อนที่ผิวหน้าครั้งหนึ่งๆลำแสงเลเซอร์ที่ผ่านออกมาจากเลเซอร์ฮีเลียมนีออนนี้จะเป็นแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นเป็นส่วนใหญ่

4.1.2 เลเซอร์ไดโอด

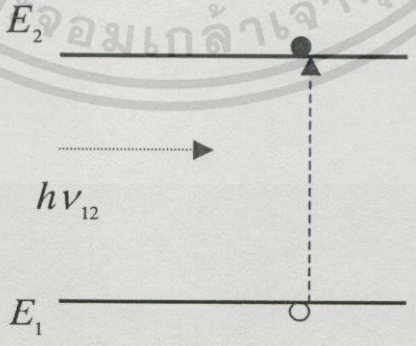
เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทเดียวกับไดโอด โดยถูกออกแบบให้สามารถเปล่งแสงเลเซอร์ออกมาได้ ลักษณะของแสงเลเซอร์จะมีทิศทางของแสงไปในทางเดียวกัน และมีเฟสที่ตรงกันจึงทำให้มีความเข้มแสงที่สูงมาก ซึ่งเลเซอร์ไดโอดจะมีลักษณะการทำงานประกอบไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยสามกระบวนการด้วยกันคือ กระบวนการดูดกลืนโฟตอน(Absorption) การปลดปล่อยพลังงานโดยธรรมชาติ(Spontaneous Emission) และกระบวนการเร่งการปลดปล่อยพลังงาน (Stimulated Emission) [8,9] ซึ่งทั้งสามกระบวนการนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 โดยจะแสดงระดับพลังงานสองระดับคือ E_1 เป็นระดับพลังงานต่ำ และ E_2 เป็นระดับพลังงานสูง การส่งผ่านพลังงานระหว่างสองสถานะนี้จะนำไปสู่การดูดกลืนและการปลดปล่อยพลังงานของโฟตอน โดยมีสมการดังนี้

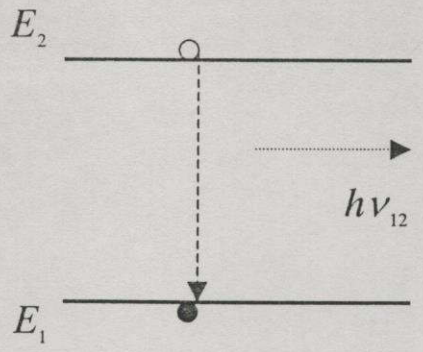
$$h\nu_{12} = E_2 - E_1 \tag{4.2}$$

ซึ่งโดยทั่วไปอิเล็กตรอนในระบบจะอยู่ในสถานะระดับพลังงานต่ำ เมื่อมีพลังงานของโฟตอน $h\nu_{12}$ เข้าไปในระบบ อิเล็กตรอนในสถานะระดับพลังงาน E_1 จะทำการดูดกลืนพลังงานของโฟตอนทำให้เปลี่ยนสถานะจากระดับพลังงานต่ำไปสู่ระดับพลังงานสูง และจะถูกกระตุ้นจากสถานะ E_2 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งในสภาพนี้จะไม่เสถียร โดยอิเล็กตรอนจะกระโดดสู่ระดับพลังงานต่ำอย่างรวดเร็วด้วยเหตุนี้พลังงานของโฟตอนจึงถูกปลดปล่อยออกมา ลักษณะของการทำงานเมื่อไม่มีการกระตุ้นจากภายนอกจะเรียกว่าการปลดปล่อยพลังงานตามธรรมชาติ และในกรณีที่เมื่อมีพลังงานของโฟตอน $h\nu_{12}$ ผ่านเข้าไปในระบบขณะที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ในสถานะระดับพลังงานสูงลงมาสู่สถานะระดับพลังงานต่ำก็จะดูดกลืนพลังงานของโฟตอนและกลับลงมาสู่สถานะระดับพลังงานต่ำโดยเป็นไปในลักษณะที่ถูกควบคุมให้ลงมาเร็วกว่าปกติ และจะปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งพลังงานที่ปลดปล่อยออกมานี้จะมีค่ามากกว่าการปลดปล่อยพลังงานตามปกติ ซึ่งหลักการนี้เป็นหลักการของการเกิดแสงเลเซอร์

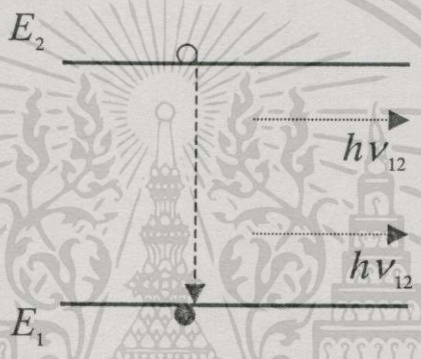


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

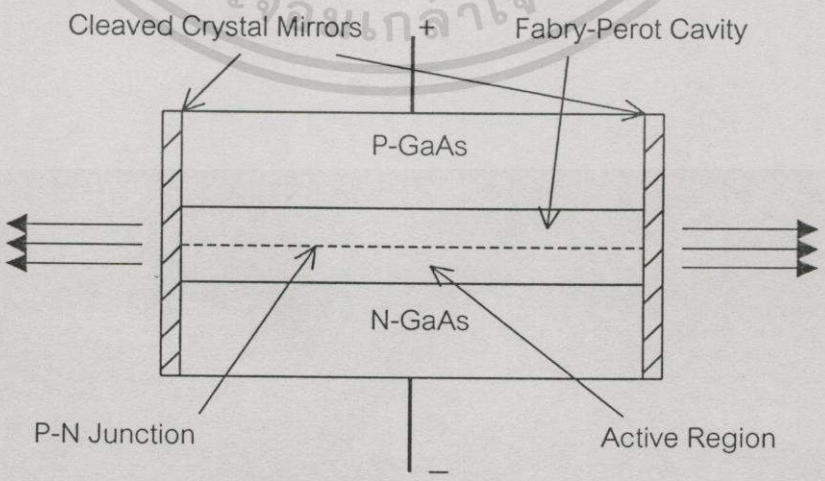


(ข)



(ค)

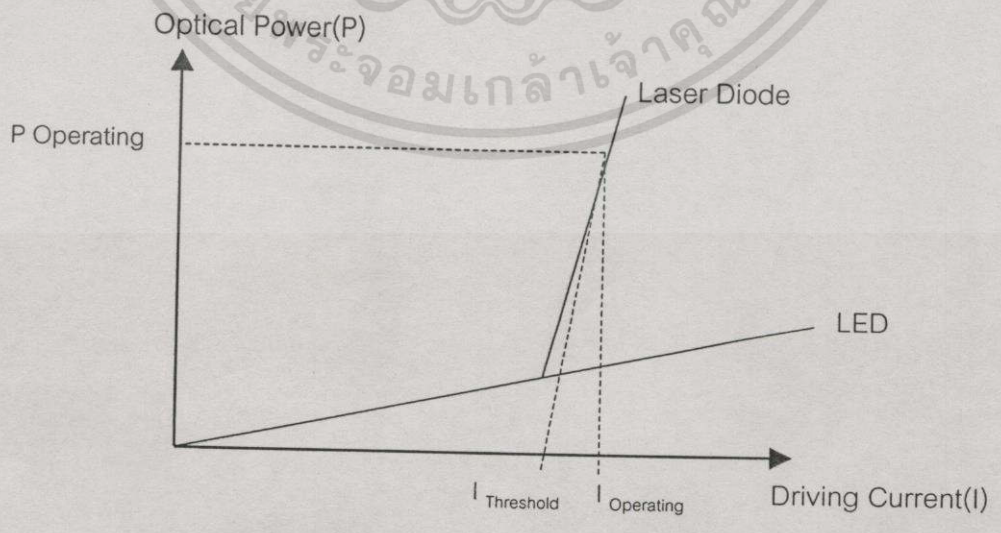
รูปที่ 4.3 แสดงการเกิดการปลดปล่อยแสงของเลเซอร์เมื่อ (ก) กระบวนการดูดกลืนโฟตอน (ข) การปลดปล่อยพลังงานโดยธรรมชาติ และ(ค) กระบวนการเร่งการปลดปล่อยพลังงาน



รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอด

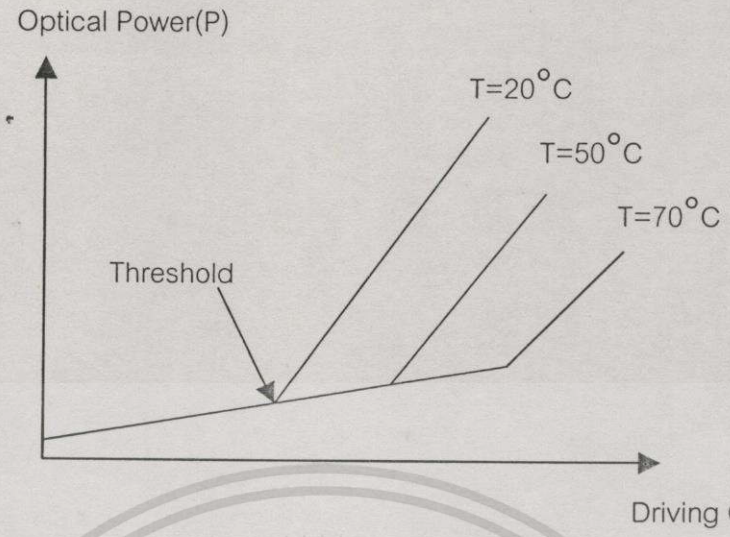
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งประกอบด้วยสารซนิดแกลเลียมอาร์เซไนด์(GaAs) ถูกโด๊ปเป็นสารสารซนิดพี(P) และสารซนิดเอ็น(N) วางต่อกันโดยที่ปลายทั้งสองข้างจะถูกเคลือบด้วยสารที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นกระจกเงา(Cleaved Crystal Mirrors) เมื่อมีการไบแอสตาม(Forward Bias) ทำให้เกิดการแตกตัวของโฮลและอิเล็กตรอนอิสระบริเวณรอยต่อพี-เอ็น(P-N Junction) โดยจะเคลื่อนที่ไปกระทบอิเล็กตรอนตัวอื่นจึงทำให้เกิดโฮลและอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มขึ้นมากมายและสะท้อนกลับไปมาที่บริเวณรอยต่ออันเนื่องมาจากกระจกเงาที่ปลายทั้งสอง สาเหตุดังกล่าวจึงทำให้เกิดการสะสมพลังงานภายในมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อพลังงานมีค่ามากพอก็จะเปล่งแสงเลเซอร์ออกมา และการไบแอสเลเซอร์ไดโอดให้ทำงานจนสามารเปล่งแสงออกมาได้นั้น จะขึ้นอยู่กับกระแสที่ป้อนให้โดยต้องมีค่าสูงกว่ากระแสเทรชโฮลด์ (Threshold Current,I_{th}) ซึ่งเป็นขีดเริ่มของช่วงกระแสทำงานที่กำหนดตามข้อมูลของเลเซอร์ชนิดนั้นๆ หากกระแสมีค่าต่ำกว่ากระแสเทรชโฮลด์แล้วเลเซอร์ไดโอดยังคงทำงานอยู่แต่แสงที่เปล่งออกมาจะมีลักษณะไม่เป็นระเบียบคล้ายการเปล่งแสงของแอล อี ดี(LED) และสำหรับในรูปที่ 4.5 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของกระแสไบแอส(Driving Current)กับกำลังของแสง(Optical Power)ที่เปล่งออกมา โดยในรูปที่ 4.5 (ก) นั้นเมื่อเพิ่มกระแสไบแอสให้เลเซอร์ทำงานในช่วงแรกจะเป็นการเปล่งแสงด้วยตัวเอง แต่เมื่อถึงช่วงกระแสเทรชโฮลด์จะเป็นการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น โดยกำลังแสงที่ได้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยความชันเป็นเชิงเส้นแต่ถ้าเพิ่มกระแสไบแอสขึ้นเรื่อยๆจนเลยช่วงกระแสทำงานหรือถึงจุดที่กำลังอิ่มตัว(Power Saturation) จะไม่เป็นเชิงเส้นและอาจจะทำให้เลเซอร์เกิดความเสียหายขึ้นได้และจะกลายคุณสมบัติเป็นแอล อี ดี ในที่สุด ส่วนในรูปที่ 4.5 (ข) นั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในขณะที่ใช้งานจะทำให้ช่วงกระแสทำงานเปลี่ยนไปด้วย



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไบแอสกับกำลังของแสงที่เปล่งออกมา

นอกจากนี้เราอาจจะแบ่งชนิดของเลเซอร์ไดโอดตามลักษณะของสเปกตรัมของแสงที่แผ่ออกมาได้เป็น 2 ชนิด คือ เลเซอร์ไดโอดชนิดโหมดเดี่ยว และเลเซอร์ไดโอดชนิดหลายโหมดเดี่ยว เป็นต้น และในระบบการสื่อสารทางแสงนั้นแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการสื่อสารจะต้องมีแบนด์วิดท์ที่กว้างเพื่อที่จะสามารถส่งข้อมูลข่าวสารได้เป็นจำนวนมาก โดยปกติแล้วเลเซอร์ไดโอดจะมีแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 200 เมกะเฮิรตซ์ขึ้นไป นอกจากนี้เลเซอร์ไดโอดเองยังมีคุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่งคือ มีค่าจุดโฟกัสของแสงน้อยมาก ดังนั้นเลเซอร์ไดโอดจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในระบบการสื่อสารทางแสงเป็นอย่างมาก

4.1.2.1 การมอดูเลตเลเซอร์ไดโอด

การมอดูเลตเลเซอร์ไดโอดโดยการเปลี่ยนความเข้มของแสงจะใช้การมอดูเลตได้สองวิธีด้วยกันคือ พัลส์มอดูเลชั่น เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิตอล และแอมพลิจูดมอดูเลชั่นเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบอนาล็อก อัตราการมอดูเลตเลเซอร์ไดโอดจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของช่วงชีวิตพาหะ(Carrier Lifetime) และช่วงชีวิตของโฟตอน(Photon Lifetime) ในการทำงานของเลเซอร์ไดโอดช่วงชีวิตโดยธรรมชาติ(Spontanious Lifetime, τ_{SP}) จะเป็นฟังก์ชั่นโครงสร้างสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิห้อง ถ้าเลเซอร์ไดโอดผลิตจากแกลเลียมอาร์เซไนด์(GaAs) จะมีช่วงชีวิตของรังสี (Radiation Lifetime, τ_R) ประมาณ 1 นาโนวินาที โดยช่วงชีวิตของพาหะที่ถูกกระตุ้น(Stimulated Carrier Lifetime, τ_{St}) จะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงในช่องว่างพลังงาน และช่วงชีวิตของโฟตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Photon Lifetime, τ_{Ph}) เป็นเวลาเฉลี่ยของโฟตอนในแคว้ดี้(Cavity) ของเลเซอร์ไดโอดโดยจะมีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการดูดกลืนพลังงานและการทะลุผ่านผิวหน้าของเลเซอร์ โดยและช่วงชีวิตของโฟตอน(τ_{Ph}^{-1}) จะมีค่าเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\tau_{Ph}^{-1} = \frac{c}{n}\left(\overline{\alpha} + \frac{1}{2L}\ln\frac{1}{R_1R_2}\right) = \frac{c}{n}g_{Th} \tag{4.3}$$

เมื่อ R_1R_2 เป็นดัชนีการสะท้อนของกระจก L คือความยาวของแคว้ดี้ $\overline{\alpha}$ คือสัมประสิทธิ์ของปรากฏการณ์ดูดกลืนพลังงาน n คือกลุ่มอิเล็กตรอนอิสระในสถานะระดับพลังงานสูง ส่วน c คือความเร็วแสงในสุญญากาศ และ g_{Th} คือเกณฑ์สัมประสิทธิ์ของเทรชโฮลด์

พิจารณาการมอดูเลตเลเซอร์ไดโอดด้วยสัญญาณพัลส์ เมื่อช่วงชีวิตของโฟตอนมีค่าน้อยกว่าช่วงชีวิตของพาหะ ถ้าเลเซอร์มีการเปิดปิดแสงอย่างสมบูรณ์ตามสัญญาณพัลส์ที่เข้ามาแล้วช่วงชีวิตของพาหะที่ถูกกระตุ้นจะเป็นตัวกำหนดอัตราการมอดูเลชั่น เมื่อสัญญาณพัลส์ที่เข้ามามีค่าเป็น 1 กระแสพัลส์จะมีแอมพลิจูดเป็น I_P และคาบเวลา(t_d) กำหนดโดย

$$t_d = \tau \ln\frac{I_P}{I_P(I_B - I_{Th})} \tag{4.4}$$

เมื่อ I_B เป็นกระแสไปแอส และ τ ช่วงชีวิตเฉลี่ยของพาหะในบริเวณที่กลับมารวมกันใหม่(Average Lifetime of the Carriers in the Recombination Region)

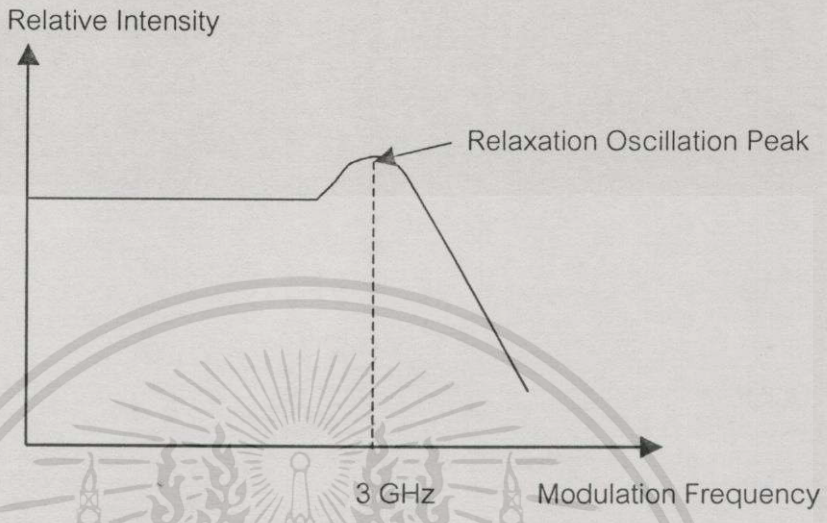
เมื่อใช้เลเซอร์ไดโอดเพื่อใช้ในการสื่อสารความเร็วสูง ความถี่ในการมอดูเลตจะต้องไม่มากกว่าช่วงเวลาก่อนการออสซิลเลต(Relaxation Oscillation) ของเลเซอร์ที่แสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับช่วงชีวิตโดยธรรมชาติ และช่วงชีวิตของโฟตอน สมมติให้อัตราส่วนบนความหนาแน่นของตัวพาห์ลีแล็คเซชั่นออสซิลเลชั่นจะมีค่าเป็น

$$f = \frac{1}{2\pi}\frac{1}{(\tau_{SP}\tau_{Ph})^{1/2}}\left(\frac{I}{I_{Th}} - 1\right)^{1/2} \tag{4.5}$$

การมอดูเลตเลเซอร์ไดโอดนั้นความถี่ในการมอดูเลตจะต้องมีค่าน้อยกว่าลีแล็คเซชั่นออสซิลเลชั่น ยกตัวอย่างเช่น เลเซอร์ไดโอดมีลีแล็คเซชั่นออสซิลเลชั่นที่ 3 จิกะเฮิรตซ์ ดังแสดงในรูปที่

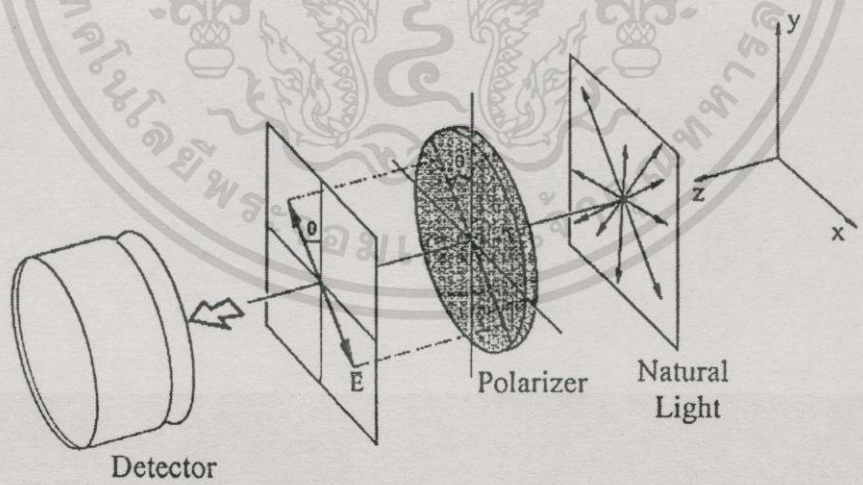
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ถ้ามอดูเลตสัญญาณเกินจากตำแหน่งของลีแล็คเซชั่นออสซิลเลชั่น จะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณขึ้นได้



รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งของการมอดูเลตสัญญาณให้กับเลเซอร์ไดโอดได้สูงสุด

4.1.3 โพลาไรเซอร์



รูปที่ 4.7 แสดงอุปกรณ์โพลาไรเซอร์ชนิดเชิงเส้น

เครื่องมือทางทัศนศาสตร์(Optics) ที่สามารถเปลี่ยนแสงธรรมชาติให้กลายเป็นแสงโพลาไรซ์เรียกว่า โพลาไรเซอร์ ตัวอย่างเช่นเครื่องมือที่ใช้แยกแสงที่ไม่ใช่แสงโพลาไรซ์ซึ่งเกิดจากการรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันของคลื่น 2 ขบวน ที่อยู่ในทิศทางตั้งฉากกันและมีแอมพลิจูดเท่ากัน แต่ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเฟสและความถี่ โดยให้ขบวนใดขบวนหนึ่งของแสงนี้แยกออกไปและให้อีกขบวนหนึ่งผ่านไปได้เท่านั้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.7 เครื่องมือชนิดนี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่า "โพลาไรเซอร์ชนิดเชิงเส้น" ดังนั้นสำหรับเครื่องมือที่สามารถให้แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมและวงรีออกมาได้จะเรียกว่า โพลาไรเซอร์ชนิดวงกลมและวงรี ตามลำดับ

โพลาไรเซอร์ดังกล่าวข้างต้นนี้อาจจะสร้างขึ้นโดยหลักการต่างๆกันแต่โดยทั่วไปจะต้องเป็นไปตามกลไกทางกายภาพเบื้องต้น 4 ประการ ได้แก่ ไดโครอิซึ่ม(Dichroism) หรือการเลือกกักกันแสงเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่งแต่ให้อีกส่วนหนึ่งผ่านไปได้ การสะท้อน การกระจัดกระจาย และไบร์ฟรินเจนซ์หรือการหักเหเป็นสองแนว ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงกรณีไดโครอิซึ่มหรือการเลือกกักกันเมื่อแสงผ่านตัวกลางบางชนิดที่มีคุณสมบัติขึ้นอยู่กับทิศทาง จะทำให้แสงที่แตกออกเป็นสองส่วนที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันในลำแสงที่ตกกระทบผ่านตัวกลางนั้นไปถูกกักกันเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่งแต่ให้อีกส่วนหนึ่งผ่านไปได้ ซึ่งเรียกคุณสมบัตินี้ของสารตัวกลางเหล่านี้ว่า "ไดโครอิซึ่ม" สำหรับตัวกลางที่มีคุณสมบัติเช่นนี้และเป็นที่ทราบกันดีก็คือ แร่ธรรมชาติที่มีสีต่างๆสามารถนำมาทำเป็นเครื่องประดับพลอยที่มีสีสันต่างๆกัน ซึ่งมีอยู่หลายชนิดที่เป็นส่วนประกอบของโบรอนซิลิเกต โดยผลึกเหล่านี้จะมีทิศทางภายในบางทิศเรียกชื่อโดยเฉพาะว่า แกนทัศนศาสตร์(Optical Axis) ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผลึก ในกรณีส่วนหนึ่งส่วนใดของสนามไฟฟ้าที่แตกออกไปแล้วตั้งฉากกับแนวดังกล่าวของสารตัวกลางจะถูกกักกันหรือดูดกลืนอยู่ภายในผลึกนั้นทั้งหมด หากผลึกของสารนั้นหนามากเท่าใดก็สามารถที่จะดูดกลืนได้ดียิ่งขึ้นเท่านั้น

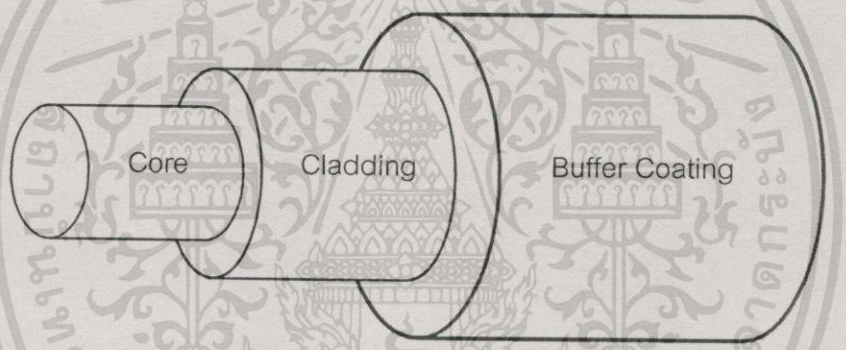
ผลึกไดโครอิกเป็นผลึกที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงที่มีเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าด้านหนึ่งมากกว่าอีกด้านหนึ่งซึ่งตั้งฉากกัน ผลึกไดโครอิกที่เป็นแร่ได้แก่ ทัวมาลีน แสงที่ผ่านแร่นี้จะทำให้มีเวกเตอร์อยู่ในแนวเดียวกัน หรือเป็นแสงโพลาไรซ์ เนื่องจากผลึกทัวมาลีนมีสีจึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้งาน จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1852 ได้มีผู้ค้นคว้าและประดิษฐ์ผลึกของสารประกอบอินทรีย์ไอโอไดซัลเฟต ซึ่งในปัจจุบันเรียกว่าเฮอร์ราพาไธต์ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนทัวมาลีนทุกประการแต่ใสและมีขนาดเล็กกว่า แผ่นโพลาลอยด์ในปัจจุบันทำมาจากผลึกชนิดนี้ ในปี ค.ศ. 1932 ก็ได้มีการผลิตแผ่นโพลาลอยด์โดยการจัดให้ผลึกเฮอร์ราพาไธต์ หรือผลึกไดโครอิก เรียงกันอยู่ในแนวเดียวกันและหล่อไว้ด้วยพลาสติกใสทำเป็นแผ่นเพื่อป้องกันการขีดข่วน จากวิธีการนี้ทำให้สามารถที่จะสร้างแผ่นโพลาลอยด์ที่มีขนาดใหญ่ได้ จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

โพลาไรเซอร์จะใช้แตกต่างกันอยู่สองทางกล่าวคือ ถ้าใช้ทำให้แสงที่ไม่โพลาไรซ์ให้กลายเป็นแสงโพลาไรซ์ จะเรียกว่า โพลาไรเซอร์ และถ้าใช้ในการกำหนดหรือตรวจสอบสถานะของแสงโพลาไรซ์ จะเรียกว่า แอนะไรเซอร์(Analyzer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์

เส้นใยแก้วนำแสงสร้างขึ้นจากแก้วหรือสารที่เป็นไดอิเล็กตริก โดยมีโครงสร้างเป็นตัวกลางทรงกระบอกอย่างน้อย 2 ชั้น คือ ชั้นแรกเรียกว่าแกน(Core) ของเส้นใยแก้วนำแสง และส่วนที่อยู่ถัดออกมาเป็นชั้นของแคลดดิ้ง(Cladding) ซึ่งจะมีค่าดัชนีหักเหแตกต่างกัน โดยหน้าที่สำคัญของแกนของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะเป็นตัวกลางในการนำแสง ส่วนหน้าที่ของแคลดดิ้งนั้นจะเป็นตัวลดการสูญเสียกำลังแสงเนื่องจากการสะท้อนแสงแบบกลับหมด และป้องกันการดูดกลืนกำลังแสงเมื่อแกนของเส้นใยแก้วนำแสงไปสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมอื่นๆ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ช่วยในการป้องกันมิให้แกนของเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการโค้งงอหรือหักได้ง่าย ซึ่งโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



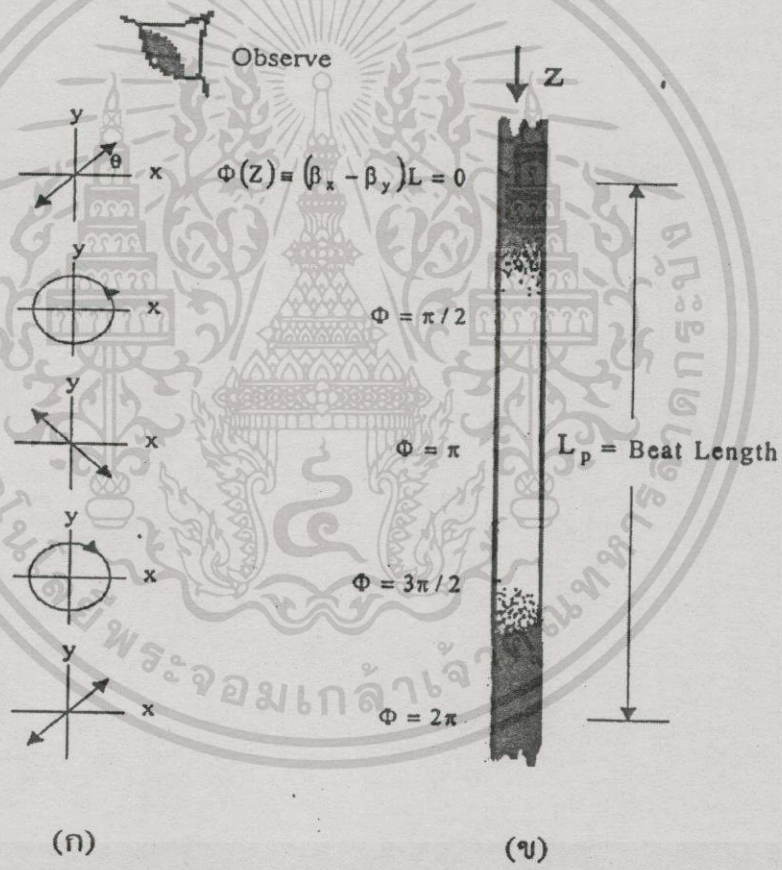
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง

ในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชันแบบไฮลีไบร์ฟรินเจนซ์(Highly Birefringent Fiber) ชนิดโบว์-ไท(Bow-tie)และชนิดอี-คอร์(E-core) และเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว(Single Mode Fiber) ซึ่งโดยปกติแล้วเส้นใยแก้วนำแสงในทางทฤษฎีนั้นองค์ประกอบของความเร็วของแสงในส่วนแกนจะเท่ากันแต่ในทางปฏิบัติแล้วเส้นใยแก้วนำแสงจะไม่สมมาตรอย่างสมบูรณ์ โดยมีรูปร่างและดัชนีหักเหที่ไม่สมมาตรจึงทำให้โหมดทั้งสองนั้นมีความเร็วที่แตกต่างกันเล็กน้อย องค์ประกอบของความเร็วนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบตามแกนที่มีความเร็วมากกว่า(Fast Axis) และอีกแกนหนึ่งที่ตั้งฉากกันที่มีความเร็วน้อยกว่า(Slow Axis)ทำให้เกิดการหักเหสองแนวหรือไบร์ฟรินเจนซ์(Birefringence, B)ขึ้น ซึ่งค่าไบร์ฟรินเจนซ์เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงสภาพทางโพลาไรเซชัน(Polarization)ของแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง โดยสามารถอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเทอมของผลต่างของค่าการกระจายค่าดัชนีหักเหในแนวแกนที่มีความเร็วมากกว่า(n_f) และในแนวแกนที่มีความเร็วน้อยกว่า(n_s) อันเนื่องมาจากความไม่สมมาตรของการกระจายค่าดัชนีหักเหในส่วนของแกน ซึ่งจะสามารถเกิดขึ้นได้ในกระบวนการผลิตของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นเอง(Intrinsic Birefringence) โดยโครงสร้างในส่วนของแกนภายในนั้นได้ถูกทำให้เกิดความเค้นบริเวณรอบๆ แกน(Geomertrical Effect,G.E.)หรือเกิดจากการรบกวนจากภายนอกก็ได้ ซึ่งผลของการให้ความเค้นภายนอก(Stress Effect,S.E.)นั้นทำให้ได้ค่าไบร์ฟรินเจนซ์ที่สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$B = \Delta n = \left| n_f - n_s \right| \tag{4.6}$$



รูปที่ 4.9 แสดงความยาวบีตส์ในเส้นใยแก้วนำแสง (ก) สถานะโพลาไรเซชันเมื่อเทียบกับ ϕ_z (ข) ความเข้มของแสงที่ปรากฏในเส้นใยแก้วนำแสงโดยความเข้มนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงครบรอบในหนึ่งความยาวบีตส์

และค่าที่บอกความสามารถในการรักษาสภาวะโพลาไรเซชันของเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิด(Polarization-Maintaining Fiber)นั้นคือ ค่าความยาวบีตส์ของเส้นใยนำแสง(L_B) ซึ่งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวบีตส์นี้เป็นค่าที่บอกถึงระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ในเส้นใยแก้วนำแสงแล้วทำให้เกิดความต่างเฟสครบหนึ่งรอบหรือ 2π ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยสามารถกำหนดได้โดยการวัดระยะระหว่างแถบมืด(Dark) กับแถบสว่าง(Bright) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 [10] และถ้าเส้นใยแก้วนำแสงชนิดใดมีค่าความยาวบีตส์สั้นจะมีคุณสมบัติในการรักษาสภาวะโพลาไรเซชันได้ดีกว่าเส้นใยแก้วนำแสงที่มีค่าความยาวบีตส์ที่ยาวกว่า สำหรับความยาวบีตส์ของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการ

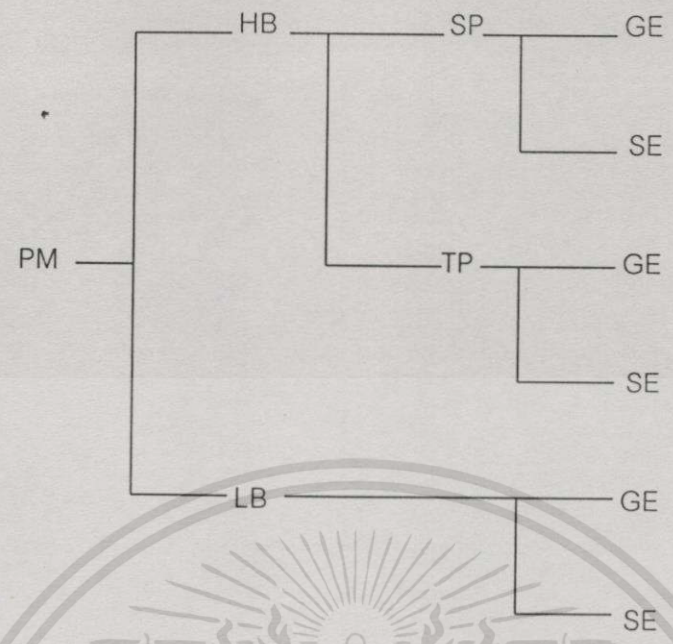
$$L_B = \frac{\lambda}{B} \tag{4.7}$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่นแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง B คือค่าไบร์ฟริงเจนซ์ของเส้นใยแก้วนำแสง

ดังนั้นเส้นใยแก้วนำแสงเส้นใดมีค่าการกระจายค่าดัชนีหักเหในส่วนของแกนมาก นั้นก็คือจะมีค่าไบร์ฟริงเจนซ์มาก ซึ่งจะทำให้มีค่าความยาวบีตส์สั้น จึงทำให้มีคุณสมบัติในการอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชันได้ดี และสำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชัน(PM)นี้ จะสามารถแบ่งได้เป็นชนิดไฮลีไบร์ฟริงเจนซ์(HB) และชนิดโลว์ไบร์ฟริงเจนซ์(Low Birefringent,LB) โดยพิจารณาจากผลต่างของค่าดัชนีหักเหของเส้นใยแก้วนำแสง กล่าวคือถ้าค่าไบร์ฟริงเจนซ์ $B > 10^{-5}$ จะจัดเป็นชนิดไฮลีไบร์ฟริงเจนซ์ แต่ถ้าค่าไบร์ฟริงเจนซ์ $B < 10^{-5}$ จะจัดเป็นชนิดโลว์ไบร์ฟริงเจนซ์ และเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไฮลีไบร์ฟริงเจนซ์ก็ยังสามารถที่จะแยกพิจารณาเป็นแบบโหมดโพลาไรเซชันเดี่ยว(Single-Polarization Mode,SP) และแบบโหมดโพลาไรเซชันสองโหมด (Two-Polarization Mode,TP) [11] ซึ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชันสามารถจัดแบ่งได้ดังรูปที่ 4.10

นอกจากการใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ในงานทางด้านการสื่อสารแล้ว เรายังสามารถนำเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชันไปใช้ในงานทางด้านการตรวจวัด เช่น การตรวจหาเสียง แม่เหล็ก การหมุน และแรงดันเป็นต้น ซึ่งจะใช้คุณสมบัติทางด้านโพลาไรเซชันของแสงมาเป็นตัวตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PM : Polarization Maintaining

HB : Highly Birefringent

LB : Low Birefringent

SP : Single Polarization Mode

TP : Two Polarization Mode

GE : Geomertrical Effect

SE : Stress Effect

รูปที่ 4.10 แสดงการจัดแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชัน

4.1.4.1 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชันแบบไฮลีไบร์ฟริงเจนซ์ ซึ่งสามารถแสดงภาพตัดขวางได้ดังรูปที่ 4.11 (ก) ข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ คือจะมีค่าไบร์ฟริงเจนซ์มาก ซึ่งจะทำให้มีค่าความยาวบีตส์สั้น ดังนั้นจึงสามารถรักษาสภาวะทางโพลาไรเซชันของแสงได้ดี แต่จะมีข้อเสียเนื่องจากคุณสมบัติต่างๆของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะไม่คงที่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกรอบๆเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นการนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเหล่านี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.2 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์

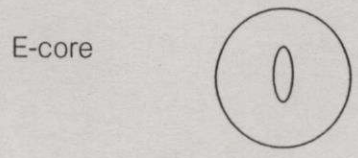
เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชันแบบไฮลีไบร์ฟรินเจนซ์ ซึ่งสามารถแสดงภาพตัดขวางได้ดังรูปที่ 4.11 (ข) ซึ่งในส่วนของแกนนั้นจะเป็นรูปวงรีจึงทำให้เกิดข้อดีหลายประการ คือ ทำให้คุณสมบัติในการรักษาสภาวะโพลาไรเซชันจะคงที่มากถึงแม้จะเกิดการโค้งงอ บิดตัว หรือมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกรอบๆเส้นใยแก้วนำแสงในช่วงที่กว้างมาก คุณสมบัติในการรักษาสภาวะทางโพลาไรเซชันก็จะยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

4.1.4.3 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวนี้จะมีลำแสงเกิดขึ้นภายในเส้นใยแก้วนำแสงเพียงโหมดเดียวและโดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกน และของแคลดดิ้ง(Cladding)ประมาณ 2-10ไมครอน และ 125 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งสังเกตุได้ว่าขนาดของแกนที่ใช้ส่งสัญญาณนั้นมีขนาดเล็กมาก จึงทำให้ยากต่อการที่จะนำแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง แต่เนื่องจากมีข้อดีในส่วนของการไม่เกิดการแตกกระจายของสัญญาณเกิดขึ้น จึงทำให้มีแบนวิดธ์ที่ใช้ประโยชน์ได้กว้างมาก ภาพตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 (ค)

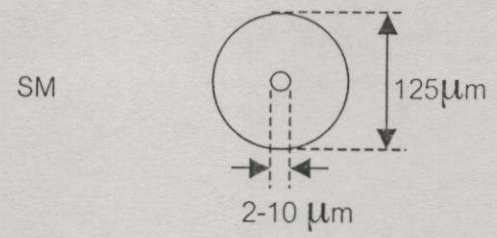


(ก)



(ข)

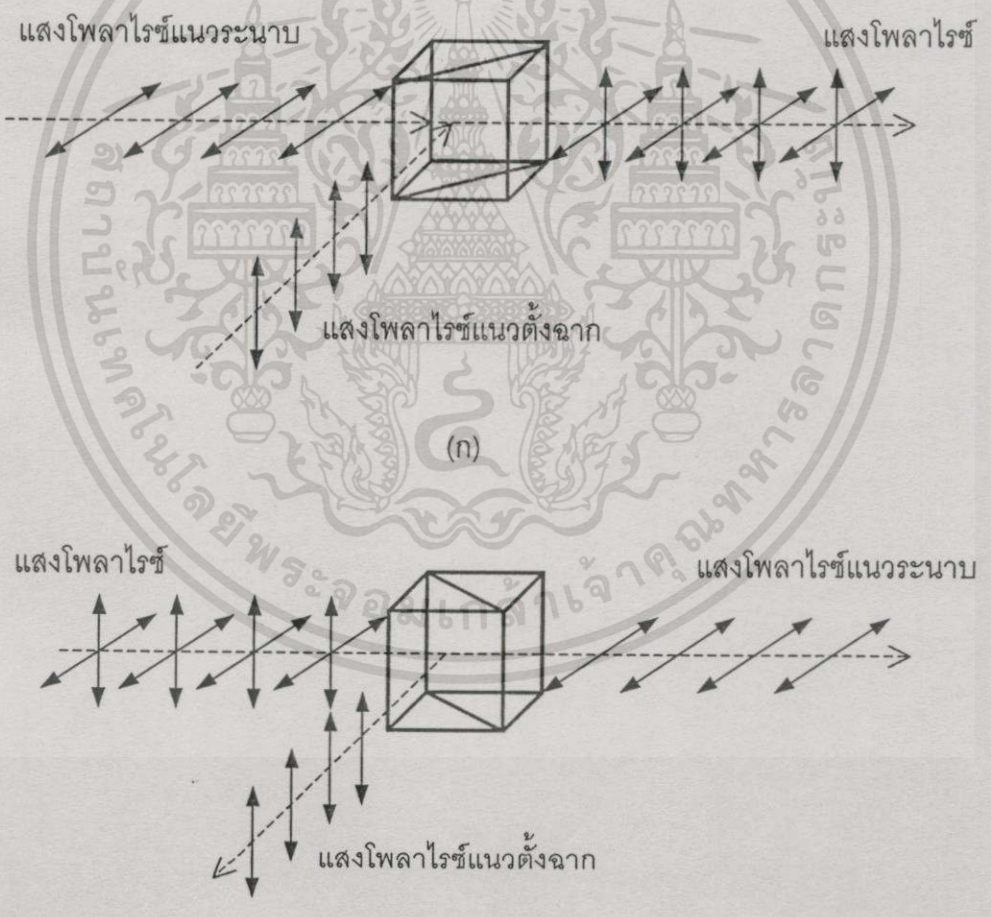
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.11 แสดงภาพตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 3 ชนิด คือ (ก) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท (ข) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์ และ (ค) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว

4.1.5 ผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์



รูปที่ 4.12 แสดงผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ เมื่อ (ก) การรวมแสงโพลาไรซ์ และ (ข) การแยกแสงโพลาไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์[12,13] เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ โดยไม่คำนึงถึงความยาวคลื่นที่เข้ามา ซึ่งจะมีโครงสร้างเหมือนกับวัสดุที่นำมาทำโพลาไรเซอร์และมีลักษณะเหมือนกับการนำโพลาไรเซอร์สองอันมาต่อกัน สำหรับการทำงานของผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์นี้จะมีลักษณะการทำงานโดยจะยอมให้แสงโพลาไรซ์ที่มีแนวอยู่ในแนวระนาบเดินทางทะลุผ่านตัวผลึกออกไปได้แต่ถ้าเป็นแสงโพลาไรซ์ที่มีแนวอยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวระนาบแสงโพลาไรซ์นี้จะถูกสะท้อนออกทางด้านข้างของผลึก ดังนั้นจากคุณสมบัตินี้เราจึงสามารถนำผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์มาทำเป็นอุปกรณ์ในการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์สัญญาณทางแสงได้แต่สัญญาณแสงนั้นจะต้องเป็นแสงโพลาไรซ์ด้วย ลักษณะของผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12

4.2 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์

ในส่วนของอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงพินโฟโตไดโอด(PIN-Photodiode) ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจรับแสงในระบบการทดลองโดยจะมีรายละเอียดต่างๆดังต่อไปนี้

4.2.1 พินโฟโตไดโอด

สำหรับอุปกรณ์ตรวจรับแสงชนิดพินโฟโตไดโอดนั้นจะสามารถแสดงรูปแบบโครงสร้างและลักษณะของพินโฟโตไดโอดแสดงได้ในรูปที่ 4.13 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นสาร P และสาร N ของสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้ยังมีบริเวณที่เป็นอินทรินซิก(Intrinsic) คั่นอยู่ระหว่างสาร P และสาร N โดยจะมีการเจือสาร N เข้าไปในเนื้อแท้ของสารนี้ด้วย[14] สำหรับในการทำงานปกตินั้นจะต้องทำการไบแอสกลับให้กับพินโฟโตไดโอด เมื่อมีโฟตอน(Photon)มาตกกระทบลงบนสารกึ่งตัวนำโดยมีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานของช่องว่าง(Band Gap) ของสารกึ่งตัวนำ โฟตอนจะปลดปล่อยพลังงานทำให้อิเล็กตรอนจากระดับพลังงานต่ำจะสามารถเคลื่อนที่ไปสู่ระดับพลังงานสูง การทำงานของโฟตอนที่ประจุให้กับตัวกลางแสดงได้ในรูปที่ 4.13 อุปกรณ์ตรวจรับแสงปกติจะออกแบบให้ตัวกลางการทำงานหลักอยู่ที่บริเวณรอยต่อ(บริเวณรอยต่อคือบริเวณอินทรินซิก) ซึ่งเป็นบริเวณที่แสงตกกระทบและใช้ในการดูดกลืนพลังงานของโฟตอน เมื่อทำการป้อนกระแสให้กับโฟโตไดโอดจะทำให้อิเล็กตรอนไหลผ่านตัวกลาง เมื่ออิเล็กตรอนและโฮลมีการเคลื่อนที่เข้าไปในตัวกลางซึ่งมีระยะทางเป็น L_n และ L_p ของอิเล็กตรอน(Electron)และโฮล(Hole) เวลาที่อิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

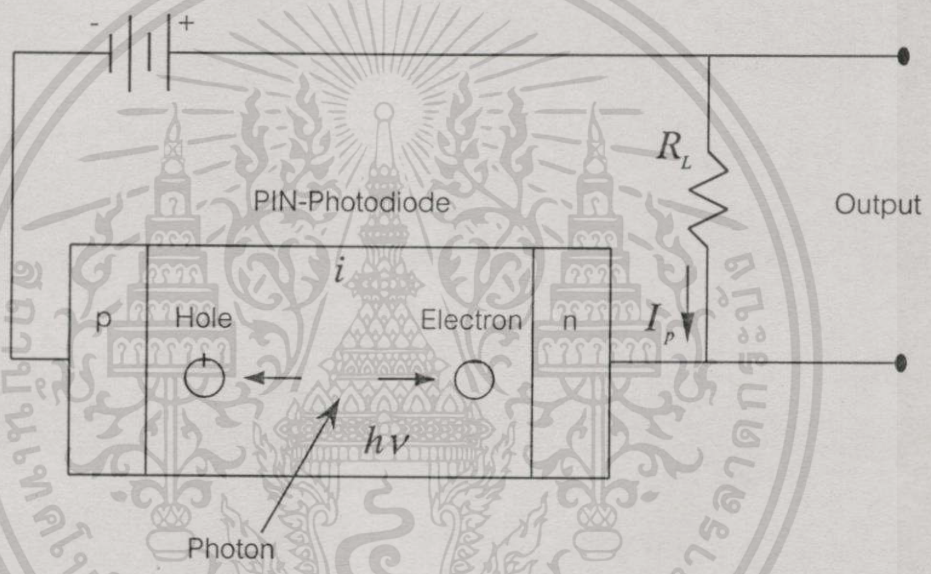
หรือโฮลกลับมารวมกันใหม่เรียกว่าช่วงชีวิตของพาหะแสดงโดย τ_n และ τ_p ความสัมพันธ์ของความยาวในการแพร่คือ

$$L_n = (D_n \tau_n)^{1/2} \tag{4.8}$$

และ

$$L_p = (D_p \tau_p)^{1/2} \tag{4.9}$$

ซึ่ง D_n และ D_p เป็นสัมประสิทธิ์ของการแพร่อิเล็กตรอนและโฮล



รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบโครงสร้างของพินโฟโตไดโอดและการไบแอสให้พินโฟโตไดโอด

แสงที่ถูกดูดกลืนในสารกึ่งตัวนำนี้จะมีค่าเป็น

$$P(x) = P_0(1 - e^{-\alpha_s(\lambda)x}) \tag{4.10}$$

เมื่อ $\alpha_s(\lambda)$ เป็นสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น λ และ P_0 คือ กำลังของแสงที่ตกกระทบ และ $P_{(x)}$ เป็นกำลังของแสงที่ถูกดูดกลืนในระยะทาง x

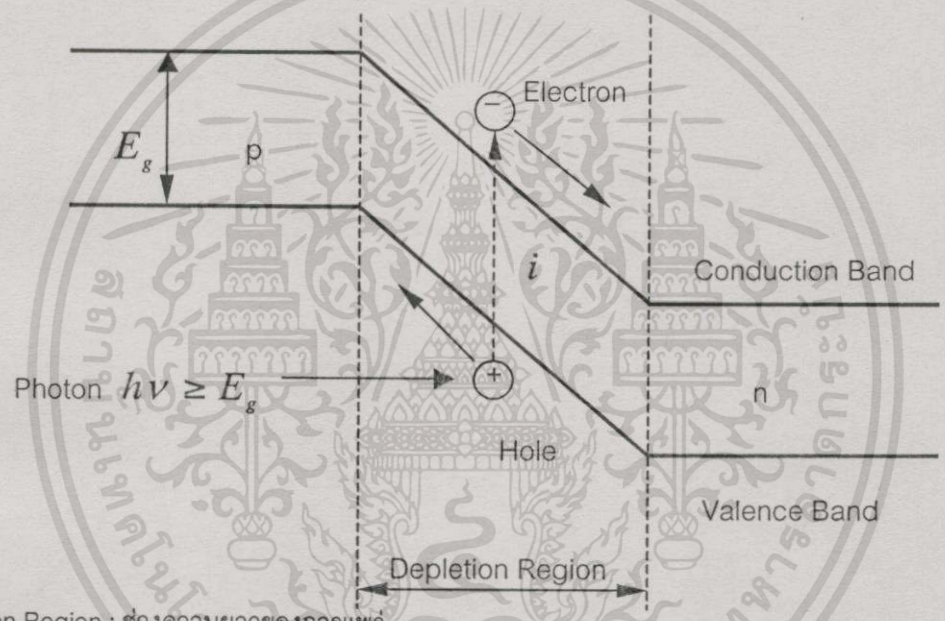
สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นแสงของสารที่ใช้ทำโฟโตไดโอดสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.14 โดยอนุภาคของแสงที่ใช้ทำจะเป็นตัวกำหนดสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยค่าความยาวคลื่นคัทออฟ(λ_c) จะถูกกำหนดโดยพลังงานช่องว่าง(E_g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวัตถุนั้น ถ้า E_g มีหน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลต์(eV) ดังนั้น λ_c จะมีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm) โดย

$$\lambda_c(\mu m) = \frac{hc}{E_g} = \frac{1.24}{E_g(eV)} \tag{4.11}$$

ความยาวคลื่นคัทออฟจะมีค่า 1.06 ไมโครเมตร สำหรับซิลิกอน(Si) และ 1.6 ไมโครเมตร สำหรับเจอร์มาเนียม(Ge)



Depletion Region : ช่วงความยาวของการแพร่

รูปที่ 4.14 แสดงการไหลของอิเล็กตรอนในรอยต่อของพินโฟโตไดโอด

ถ้าที่บริเวณแพร่ของอิเล็กตรอนมีความกว้าง W ดังนั้นจากสมการผลรวมกำลังในการดูดกลืนแสงที่มีความกว้าง W คือ

$$P(w) = P_0(1 - e^{-\alpha_s w}) \tag{4.12}$$

ถ้าให้การสะท้อน R_x ที่ตกลงบนผิวหน้าของโฟโตไดโอด มีกระแสโฟโต I_p จากสมการกำลังของการดูดกลืน กำหนดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_p = \frac{q}{h\nu} P_0 (1 - e^{-\alpha_s w})(1 - R_f) \qquad (4.13)$$

เมื่อ P_0 เป็นกำลังของแสงที่ตกกระทบบนโฟโตดีเทคเตอร์ q คือประจุอิเล็กตรอน และ $h\nu$ เป็นพลังงานของโฟตอน และสัมประสิทธิ์ในการทำงานของโฟโตไดโอด จะแสดงในรูปของการตอบสนองต่อแสง $\Re$ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ควันตัม(η) โดย

$$\Re = \frac{I_p}{I_0} = \frac{\eta q}{h\nu} \qquad (4.14)$$

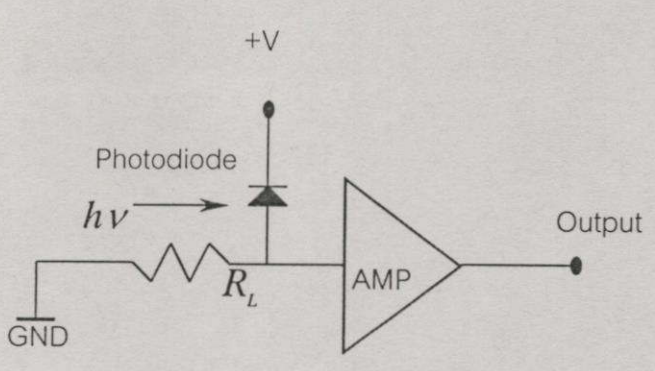
4.2.1.1 **สัญญาณรบกวนในโฟโตดีเทคเตอร์**

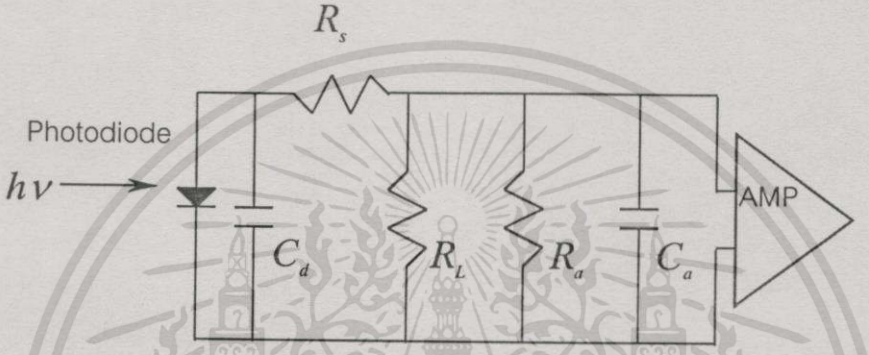
ในระบบการสื่อสารทางแสงนั้น โฟโตไดโอด จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแสง แต่เนื่องจากสัญญาณที่รับได้จากโฟโตไดโอดจะมีสัญญาณรบกวนอยู่ นอกจากนี้สัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ก็ต้องนำไปขยายสัญญาณซึ่งจะมีสัญญาณรบกวนภายในภาคขยายด้วย ดังนั้นในการแสดงสัญญาณรบกวนที่จะอยู่ในรูปของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน หรือ S/N ที่สัญญาณขาออกของอุปกรณ์ตรวจรับแสง กำหนดโดย

S/N = กำลังของสัญญาณ / กำลังของสัญญาณรบกวน (4.15)

อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจะมีค่าสูงได้จะต้องมีสภาพดังต่อไปนี้คือ โฟโตดีเทคเตอร์จะต้องมีกำลังของสัญญาณที่รับได้สูง สัญญาณรบกวนของโฟโตดีเทคเตอร์ และสัญญาณรบกวนของการขยายสัญญาณจะต้องมีค่าต่ำ โดยทั่วไปกระแสรบกวนจะตรวจรับได้จากระดับการตรวจรับแสงต่ำสุด ความไวของอุปกรณ์ตรวจรับแสงในระบบการสื่อสารทางแสงจะแสดงในเทอมของแสงและกำลังของแสงที่ตรวจรับได้ต่ำสุด สำหรับรูปแบบและการใช้งานของพินโฟโตไดโอดสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.15 โดยภายในตัวโฟโตไดโอดจะมีค่าความต้านทาน R_s ต่ออนุกรมอยู่ นอกจากนี้ยังมีตัวเก็บประจุ C_d ซึ่งเกิดขึ้นจากรอยต่อของสาร และความต้านทานไบแอส R_L นอกจากนี้การขยายสัญญาณตามโฟโตไดโอดจะมีตัวเก็บประจุอินพุท C_a และค่าความต้านทาน R_a โดยค่า R_s จะต้องมีค่าต่ำกว่าค่าความต้านทานโหลด R_L มากๆ ดังนั้นจึงสามารถละทิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.15 แสดงรูปแบบและการใช้งานของพินโฟโตไดโอดที่ต่อกับวงจรขยายสัญญาณ(AMP)

ถ้าสัญญาณที่มอดูเลตแสง $P(t)$ ตกลงบนตัวรับแสง กระแสโฟโต $I_{Ph}(t)$ จะมีค่าเป็น

$$I_{Ph}(t) = \frac{\eta q}{h\nu} P(t) \tag{4.16}$$

กระแสโฟโต I_p นี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสัญญาณแสงที่เข้ามาตกกระทบ และองค์ประกอบของสัญญาณ $I_p(t)$ กระแสของสัญญาณกำลังสองเฉลี่ย $\langle I_s^2 \rangle$ มีค่าเป็น

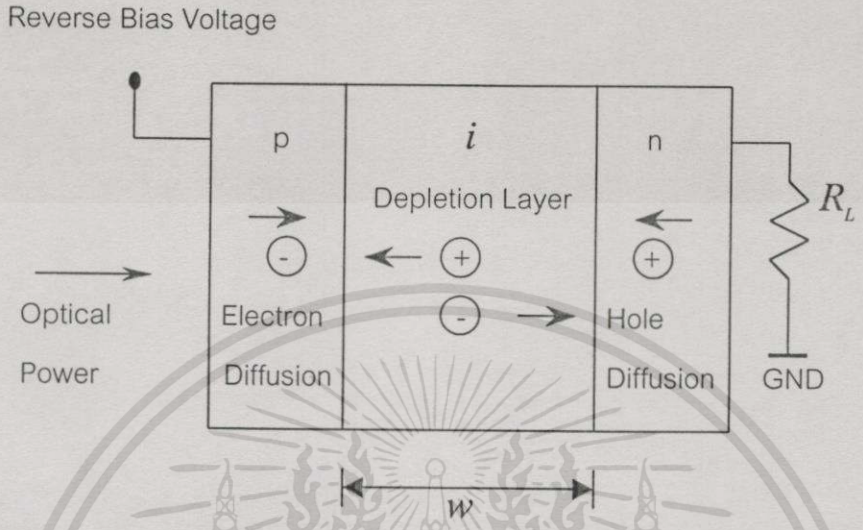
$$\langle I_s^2 \rangle = \langle I_p^2(t) \rangle \tag{4.17}$$

4.2.1.2 เวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจรับแสง

เพื่อความเข้าใจถึงการตอบสนองต่อความถี่ของโฟโตไดโอด จะพิจารณาโครงสร้างและการไบแอสกลับ(Reverse Bias Voltage)ของพินโฟโตไดโอด[15] แสดงในรูปที่ 4.16 พลังงานแสง (Optical Power)ที่เดินทางผ่านชั้น P จะเกิดขบวนการคู่อิเล็กตรอนโฮลดูดกลืนพลังงานในสารกึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำ ซึ่งคู่อิเล็กตรอนโฮลจะทำงานในบริเวณดีพลีทชั่น(Depletion Layer) หรือในช่วงความยาวของการแพร่ของชั้น I โดยการไบแอสกลับแรงดันในสนามไฟฟ้า



Electron Diffusion : การแพร่ของอิเล็กตรอน

Hole Diffusion : การแพร่ของโฮล

รูปที่ 4.16 แสดงการแพร่ของอิเล็กตรอนเมื่อมีแสงมาตกกระทบในพินโฟโตไดโอด

ภายใต้สภาพเสถียรความหนาแน่นของกระแส J_{tot} สำหรับการไบแอสกลับในชั้นที่เป็นตัวกลางจะเป็นดังนี้

$$J_{tot} = J_{dr} + J_{diff} \tag{4.18}$$

ซึ่ง J_{dr} เป็นความหนาแน่นของกระแสที่ไหลจากตัวกลางในบริเวณแพร่ และ J_{diff} เป็นความหนาแน่นของกระแสที่แพร่จากตัวกลาง

4.3 สรุป

สำหรับในบทนี้เนื้อหาที่กล่าวมาแล้วนั้นจะเป็นเรื่องที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะกล่าวถึงเรื่องที่เป็นพื้นฐานของอุปกรณ์ และลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ โดยจะประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ทางแสง และอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนในบทต่อไปจะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยว่ามีการทดลองเป็นอย่างไรบ้าง



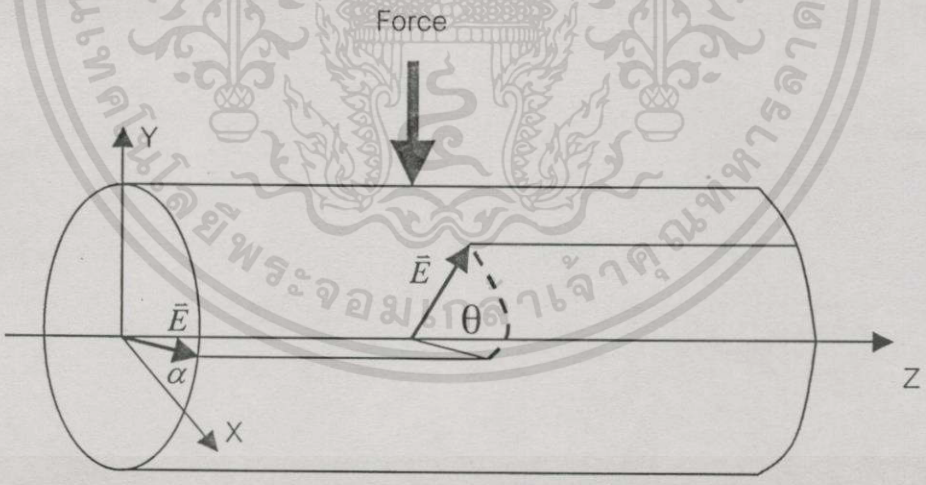
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

สำหรับในการดำเนินงานวิจัยนี้จะมีทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับวิธีการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสง เพื่อทำให้แนวของโพลาไรเซชันเปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งวิธีการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะใช้วิธีการกด การให้ความร้อน และการยืดเส้นใยแก้วนำแสง จึงเป็นผลให้ค่าไบร์ฟรินเจนซ์ของเส้นใยแก้วนำแสงและเฟสของโหมดแสงทั้งสองเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังนั้นสัญญาณแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงจึงสามารถเปลี่ยนแนวโพลาไรเซชันจากแนวเดิมไปสู่แนวโพลาไรเซชันแนวใหม่ได้

5.1 การสวิตซิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง

จากการที่นำแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงแล้วนั้น ถ้ามีแรงจากภายนอกมากระทำลงบนเส้นใยแก้วนำแสงแล้ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแนวโพลาไรเซชันของแสง และเฟสของโหมดแสงทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงการเปลี่ยนแนวโพลาไรเซชันและเฟสของโหมดแสงทั้งสองเนื่องจากการกด

โดยความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนเฟสระหว่างโหมดทั้งสองของโพลาไรเซชันแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta nL \tag{5.1}$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงและ Δn คือผลต่างของดัชนีหักเห, $\Delta n = \left| n_Y - n_X \right|$ หรือเรียกว่า ค่าไบร์ฟรินเจนซ์ ส่วน n_Y คือดัชนีหักเหในแนวแกน Y และ n_X คือดัชนีหักเหในแนวแกน X และ L คือความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงจากจุดที่แรงมากระทำถึงปลายเอาต์พุต

และสัญญาณแสงเริ่มแรกที่เข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงนั้น เราสามารถที่จะเขียนอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้[16]

$$\vec{E} = E_{iX}\hat{i} + E_{iY}\hat{j} \tag{5.2}$$

และให้

$$E_{iX} = E.e^{i(kZ-\omega t+\phi_X)} \tag{5.3}$$

กับ

$$E_{iY} = E.e^{i(kZ-\omega t+\phi_Y)} \tag{5.4}$$

และจะได้ว่า

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{E_{iY}}{E_{iX}} \tag{5.5}$$

เมื่อ E_{iX}, E_{iY} คือขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ และ E คือขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และ $\hat{i}, \hat{j}$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ ส่วน k คือค่าคงตัวการเคลื่อนที่(Propagation Constant) และ ω คือความถี่เชิงมุมของคลื่นแสงที่เคลื่อนที่ในเส้นใยแก้วนำแสง และ t คือเวลา ส่วน ϕ_X, ϕ_Y คือเฟสของโหมดแสงในแนวแกน X และ Y และ α คือมุมของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ทำกับแกน X

จากสมการที่ (5.3) และ (5.4) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{iX} \\ E_{iY} \end{bmatrix} = E\begin{bmatrix} e^{i(kZ-\omega t+\phi_X)} \\ e^{i(kZ-\omega t+\phi_Y)} \end{bmatrix} \tag{5.6}$$

ดังนั้นเมื่อสัญญาณแสงเดินทางเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงแล้ว เราสามารถที่จะพิจารณากระบวนการของการเปลี่ยนแนวโพลาไรซ์ได้ 2 กรณี คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-กรณีแรก เมื่อแสงยังไม่ได้ถูกกระทำให้เกิดการสวิตชิ่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ในรูปของเมตริกซ์ดังต่อไปนี้[16,17]

$$\begin{bmatrix} E_{oX} \\ E_{oY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{i(kZ-\omega t+\phi_X)} & 0 \\ 0 & e^{i(kZ-\omega t+\phi_Y)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{iX} \\ E_{iY} \end{bmatrix} \tag{5.7}$$

นั้นก็คือคุณสมบัติของสัญญาณแสงขณะเริ่มเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงและหลังออกจากเส้นใยแก้วนำแสงยังมีลักษณะเหมือนเดิมทั้งแนวของการโพลาไรซ์และเฟสของโหมดแสงทั้งสอง

-กรณีที่สอง เมื่อสัญญาณแสงถูกกระทำให้เกิดการสวิตชิ่ง สามารถอธิบายได้ในรูปของเมตริกซ์ดังต่อไปนี้[16,17]

$$\begin{bmatrix} E_{oX} \\ E_{oY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta.e^{i(kZ-\omega t+\phi_{X'})} & -\sin\theta.e^{i(kZ-\omega t+\phi_{X'})} \\ \sin\theta.e^{i(kZ-\omega t+\phi_{Y'})} & \cos\theta.e^{i(kZ-\omega t+\phi_{Y'})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i(kZ-\omega t+\phi_X)} & 0 \\ 0 & e^{i(kZ-\omega t+\phi_Y)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{iX} \\ E_{iY} \end{bmatrix} \tag{5.8}$$

เมื่อ ϕ_X, ϕ_Y คือเฟสของโหมดแสงในแนวแกน X และ Y และ $\phi_{X'}, \phi_{Y'}$ คือเฟสของโหมดแสงที่เปลี่ยนไปในแนวแกน X และ Y และ θ คือมุมของแนวโพลาไรเซชันที่เปลี่ยนไปจากเดิม

ดังนั้นทิศทางของการโพลาไรเซชันและเฟสของโหมดแสงทั้งสองได้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำต่อเส้นใยแก้วนำแสงและเนื่องจากการคัปปลิงโหมดแสงจากช่องสัญญาณหนึ่งไปยังอีกช่องสัญญาณหนึ่งหรือจากแนวของโพลาไรซ์หนึ่งไปอีกแนวโพลาไรซ์หนึ่งนั้น เปรียบเสมือนการเกิดการรบกวนข้ามช่องของช่องสัญญาณ(Crosstalk) โดยที่แต่ละช่องสัญญาณจะเกิดการรบกวนของช่องสัญญาณ j บนช่องสัญญาณ i ดังสมการ[18]

$$P_{ij} = 10\log\frac{P_i}{P_j} \tag{5.9}$$

เมื่อ P_i คือกำลังแสงรบกวนจากช่องสัญญาณ j ในช่องสัญญาณ i และ P_j คือกำลังแสงของช่องสัญญาณ j

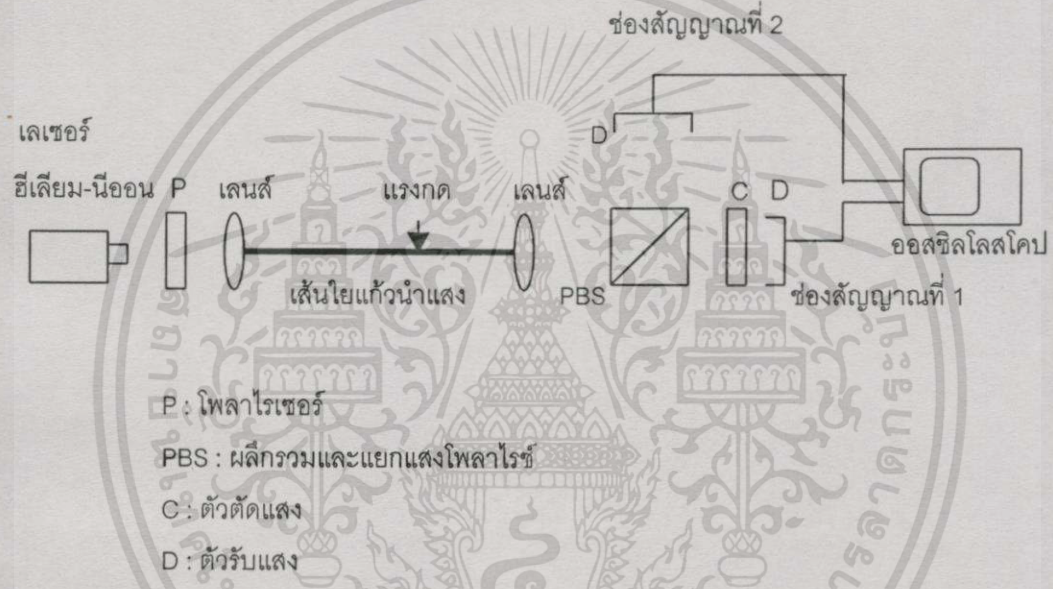
และพบว่าอัตราการคัปปลิงจะมีความสัมพันธ์กับแรงที่กระทำจากภายนอกเป็นดังสมการต่อไปนี้[6]

$$K = G[\sin(\pi Bw/\lambda)]^2 f^2 \tag{5.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ K คืออัตราการคัปปลิง(Coupling Ratio) G คือค่าคงที่ และ B คือค่าไบร์ฟริน เจนซ์ของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไทสำหรับการทดลองนี้มีค่าไบร์ฟริน เจนซ์ประมาณ 1.265×10^{-4} เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์สำหรับการทดลองนี้มีค่าไบร์ฟรินเจนซ์ ประมาณ 1.150×10^{-4} และเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวสำหรับการทดลองนี้มีค่าไบร์ฟริน เจนซ์ประมาณ 10^{-5} และ w คือความกว้างของจุดที่ทำการคัปปลิง ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ความ กว้างของจุดที่ทำการคัปปลิงประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ส่วน f คือแรงต่อหน่วยความกว้าง

5.1.1 การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง

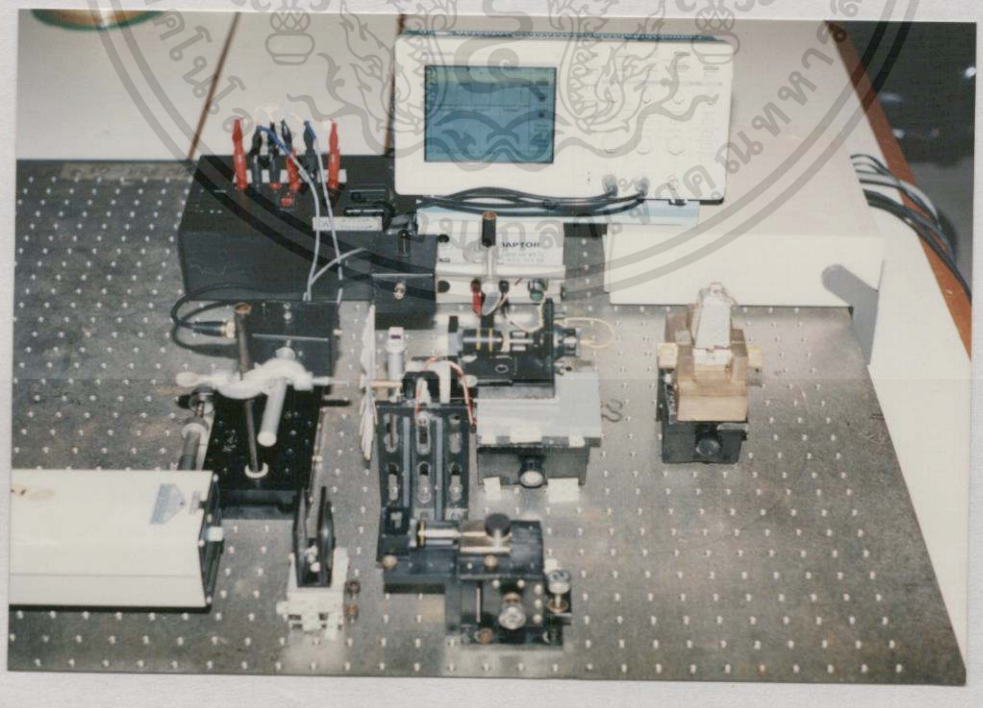


รูปที่ 5.2 แสดงระบบการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง

สำหรับการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้เส้นใยแก้วนำแสง 3 ชนิด คือ เส้นใยแก้วนำแสง ชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชันแบบไฮลีไบร์ฟรินเจนซ์ ชนิดโบว์-ไทและชนิดอี-คอร์ และเส้น ใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว โดยใช้แรงมากระตุ้นจากภายนอกกดลงบนเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อทำ ให้เกิดการคัปปลิง(Coupling)หรือการส่งผ่านของแสงที่ส่งไปในเส้นใยนำแสงจากโหมดหนึ่งไปยัง อีกโหมดหนึ่ง โดยการคัปปลิงจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับปริมาณแรงที่มากระทำ ซึ่ง ระบบการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งจากรูปแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเลเซอร์ ฮีเลียม-นีออน ของ Uniphase รุ่น 155SL ให้กำลังแสงเอาท์พุท 0.95 มิลลิวัตต์ ทำงานที่ ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร โดยแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะถูกส่งผ่านไปยังตัวทำแสงโพลา ไรซ์(P) ทำให้แสงเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้น(Linearly Polarized)อย่างสมบูรณ์แล้วส่งผ่านเลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังขยาย x10 เข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง เมื่อแสงเดินทางออกจากเส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะถูกทำให้เป็นลำแสงขนานโดยผ่านเลนส์รวมแสงก่อนแล้วจึงผ่านเข้าสู่ผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ โดยถ้าแสงที่ผ่านเข้ามาเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวระนาบ แสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบนี้ก็จะทะลุผ่านผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ไปยังตัวรับแสงของช่องสัญญาณที่ 1 โดยจะมีตัวตัดแสง (Chopper)อยู่ด้านหน้าของตัวรับแสงของช่องสัญญาณที่ 1 เพื่อทำให้ลักษณะของสัญญาณช่องที่ 1 แตกต่างจากลักษณะของสัญญาณช่องที่ 2 และยังช่วยในการลดสัญญาณรบกวนต่างๆที่เข้ามาเพราะจะทำให้สัญญาณที่ได้มีความแตกต่างจากสัญญาณรบกวน แต่ถ้าแสงที่ผ่านเข้ามาเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวตั้งฉาก แสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉากนี้ก็จะสะท้อนออกทางด้านข้างของผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ไปยังตัวรับแสงของช่องสัญญาณที่ 2 ซึ่งในการทดลองนี้ได้ปรับให้แสงที่ผ่านผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์อยู่ในแนวตั้งฉาก ดังนั้นแสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉากนี้ก็จะสะท้อนออกด้านข้างของผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ไปยังตัวรับแสงของช่องสัญญาณที่ 2 และที่ตัวรับแสงของช่องสัญญาณที่ 1 ก็จะไม่สามารถรับแสงได้ และเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระตุ้นบนเส้นใยแก้วนำแสงก็จะทำให้แนวของโพลาไรซ์เปลี่ยนไปจากเดิมคือจากแสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉากไปเป็นแสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบ ซึ่งทิศในการเดินทางของแสงก็จะเปลี่ยนจากช่องสัญญาณที่ 2 ไปเป็นช่องสัญญาณที่ 1 โดยแรงที่ใช้ในการกระตุ้นเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะใช้มวลขนาด 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 กรัม วางลงบนอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการกระตุ้นเส้นใยแก้วนำแสง

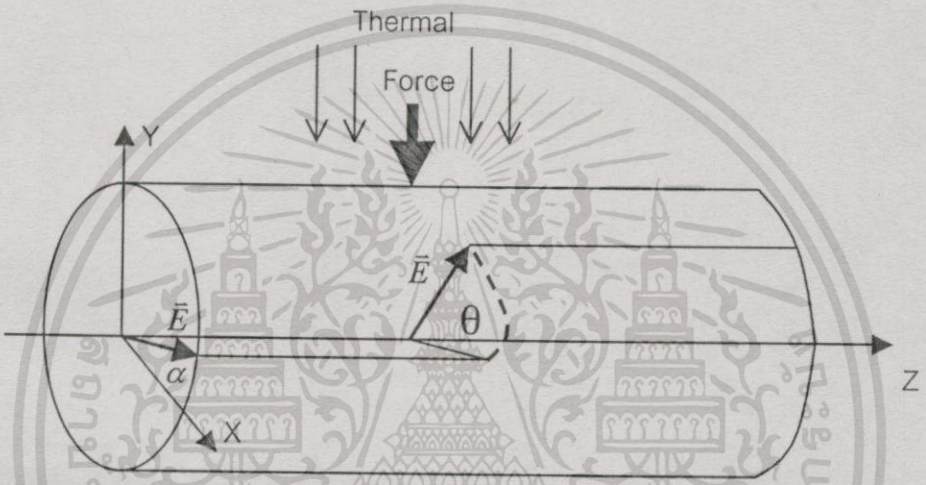


รูปที่ 5.3 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง

จากการทดลองการคัปปลิงบนเส้นใยแก้วนำแสงโดยวิธีการกดนั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรอบเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะมีผลต่อค่าของการคัปปลิงด้วย ดังนั้นจากคุณสมบัตินี้จึงสามารถใช้เส้นใยแก้วนำแสงมาทำเป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งได้ โดยการเปลี่ยนแปลงเฟสระหว่างโหมดทั้งสองของการโพลาไรซ์ที่ตั้งฉากกันและแผ่เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นสามารถแสดงได้โดยการให้ความร้อนดังรูปที่ 5.4 และมีสมการดังต่อไปนี้[19]



รูปที่ 5.4 แสดงการเปลี่ยนแนวโพลาไรเซชันและเฟสของโหมดแสงทั้งสองเนื่องจากการให้ความร้อน

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta(nL)$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda}(n\Delta L + L\Delta n) \qquad (5.11)$$

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของเฟสเทียบกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจึงเป็นไปดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta T} = \frac{2\pi}{\lambda}\left[n\left(\frac{\Delta L}{\Delta T}\right) + L\left(\frac{\Delta n}{\Delta T}\right)\right]$$

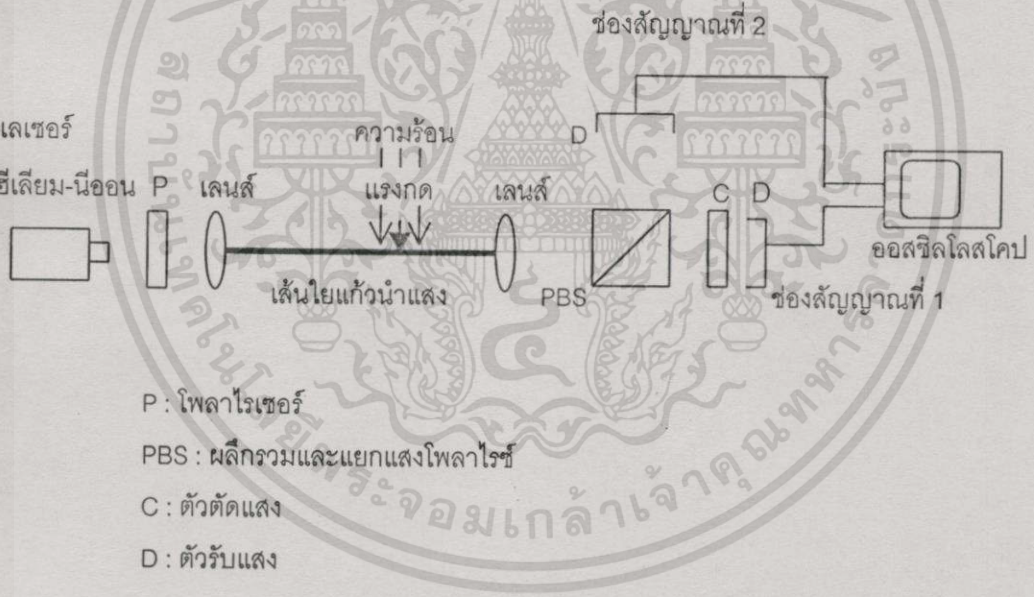
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{2\pi}{\lambda} L\left[\frac{n}{L}\left(\frac{\Delta L}{\Delta T}\right) + \left(\frac{\Delta n}{\Delta T}\right)\right] \qquad (5.12)$$

เมื่อ L คือความยาวของเส้นใยนำแสงบริเวณที่อุณหภูมิเปลี่ยนและ ΔT คือช่วงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และ n คือค่าดัชนีหักเหของเส้นใยแก้วนำแสง

ดังนั้นจะพบว่าเฟสที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทำให้ความยาว(ΔL) ของเส้นใยนำแสงบริเวณดังกล่าวเปลี่ยนแปลงโดยเกิดการขยายออกหรือหดตัว ซึ่งเป็นผลให้ค่าดัชนีหักเห(Δn)ในเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นจึงเป็นผลให้แนวของโพลาไรเซชันสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ สำหรับกระบวนการในการเปลี่ยนแนวการโพลาไรซ์สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (5.2)–(5.8)

5.2.1 การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง

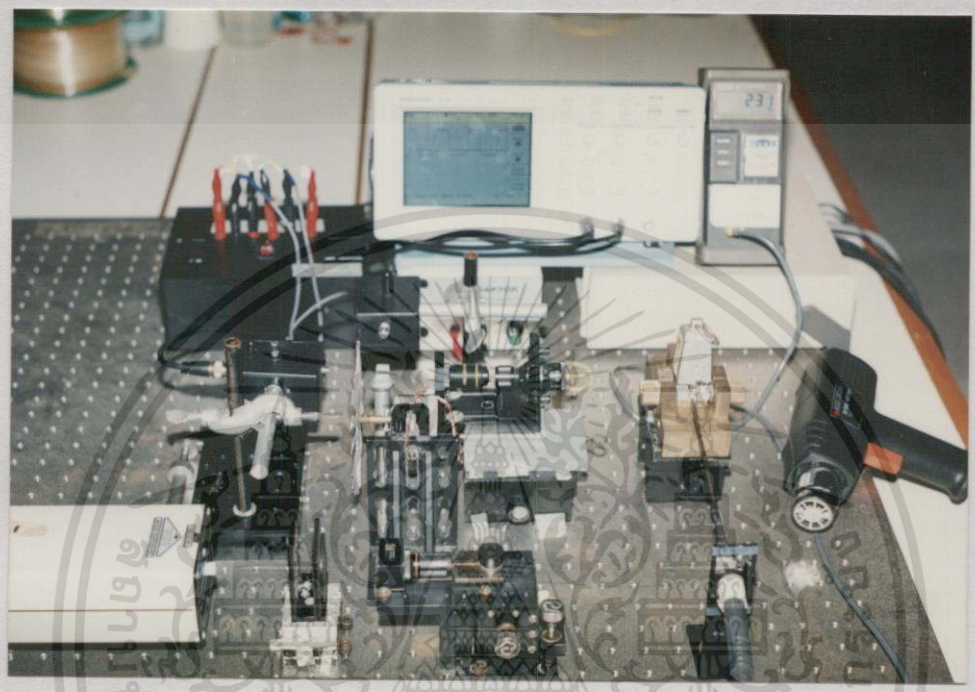


รูปที่ 5.5 แสดงระบบการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง

ในการทดลองครั้งนี้การจัดเตรียมอุปกรณ์ในการทดลองจะเป็นเช่นเดียวกับระบบการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งระบบการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 5.5 แต่มีการเปลี่ยนวิธีการคัปปลิงจากการกดอย่างเดียวไปเป็นการให้ความร้อนควบคู่กับการกดด้วย โดยความร้อนที่ให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25–105 องศาเซลเซียส เหตุผลที่จะต้องคงใช้การกดช่วยในการคัปปลิงเนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชันจะมีคุณสมบัติในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รักษาสภาวะทางโพลาไรเซชันได้ดีในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้สูง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการกดเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อช่วยในการคัปปลิงเริ่มต้น(Biassed)ให้ได้ดียิ่งขึ้นและในการทดลองนี้ได้ใช้มวลขนาด 100 และ 400 กรัม ช่วยในการกดเพื่อดูผลเปรียบเทียบที่ได้



รูปที่ 5.6 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง

5.3 การสวิตชิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง

นอกจากการคัปปลิงโดยวิธีการกด และการให้ความร้อนแล้ว การยืดเส้นใยแก้วนำแสงก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถทำให้แนวของโพลาไรเซชันและเฟสของโหมดแสงทั้งสองเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นจากคุณสมบัตินี้จึงสามารถใช้เส้นใยแก้วนำแสงมาทำเป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งได้ โดยการคัปปลิงด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.7 และความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนเฟสระหว่างโหมดทั้งสองที่ตั้งฉากกันและแผ่เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้[19]

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\xi n \Delta L \tag{5.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

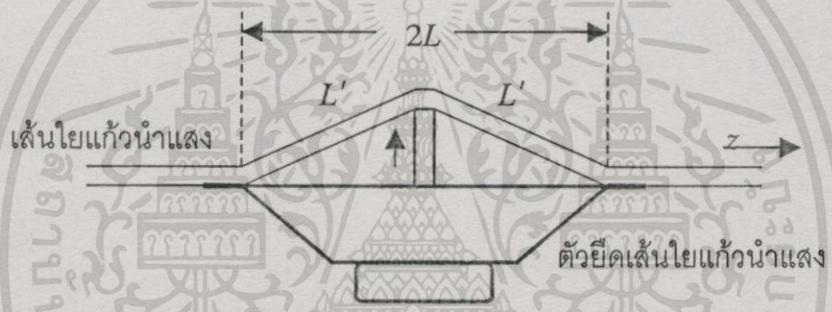
โดยที่

$$\Delta L = 2L' - 2L$$
$$= 2(L' - L) \quad (5.14)$$

และ

$$L' = \sqrt{z^2 + L^2} \quad (5.15)$$

เมื่อ L คือความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงจากจุดที่ถูกยึดไว้ไปยังจุดที่ถูกกระทำให้ยืด และ L' คือความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงจากจุดที่ถูกยึดไว้ไปยังจุดที่ถูกกระทำให้ยืดในขณะที่ถูกยืดออก ส่วน z คือระยะที่เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนที่ออกไปทางด้านข้าง และค่า ξ คือแฟคเตอร์ค่าแก้ไขความเครียดทางแสง(Strain Optic Correction Factor) ซึ่งค่า ξ =0.78 สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงซิลิกา(Silica Glass Fibers)



รูปที่ 5.7 แสดงการคัปปลิงด้วยวิธีการยึดเส้นใยแก้วนำแสง

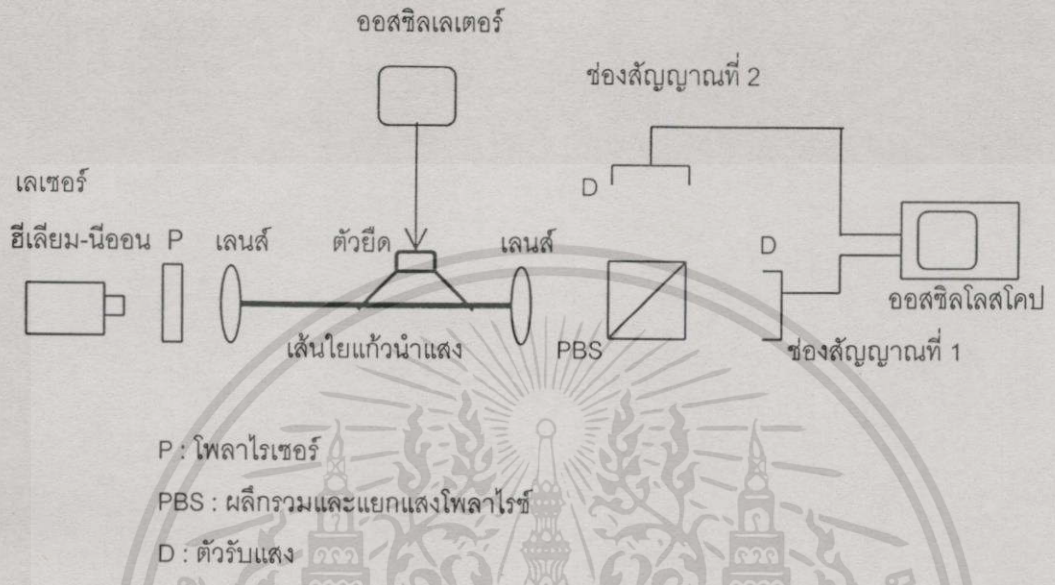
ดังนั้นเมื่อเส้นใยแก้วนำแสงถูกกระทำให้ยืดออกจะทำให้ค่าความเครียดของเส้นใยแก้วนำแสงเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งจะทำให้เฟสของโหมดแสงทั้งสองและแนวของโพลาไรเซชันสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของการยืดออก สำหรับกระบวนการในการเปลี่ยนแนวโพลาไรซ์นั้นสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (5.2)–(5.8)

5.3.1 การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการยึดเส้นใยแก้วนำแสง

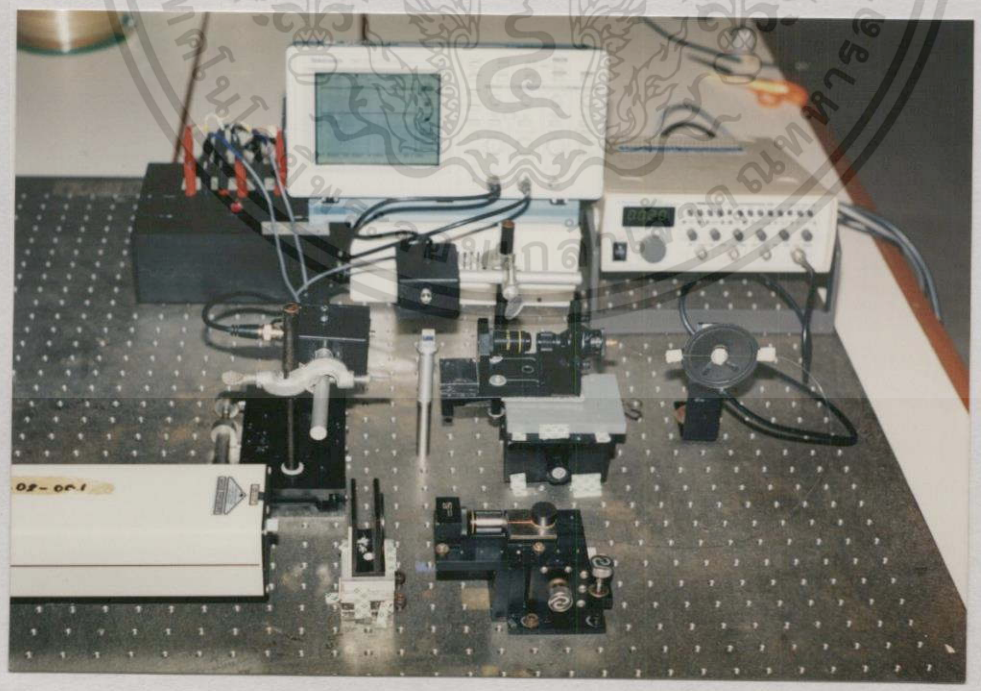
ในการทดลองครั้งนี้การจัดเตรียมอุปกรณ์ในการทดลองจะเป็นเช่นเดียวกับระบบการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสงแต่ไม่ต้องใช้ตัวตัดแสงที่ช่องสัญญาณที่ 1 ซึ่งระบบการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 5.8 และมีการเปลี่ยนวิธีการคัปปลิงจากการกดไปเป็นการยืดเส้นใยแก้วนำแสงแทน โดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงยึดติดกับลำโพง และใช้ตัวออสซิลเลเตอร์(Oscillator) ส่งสัญญาณความถี่ให้กับลำโพงเพื่อทำการยืดเส้นใยแก้วนำแสง โดยความถี่ที่ป้อนให้กับลำโพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นจะเป็นคลื่นสแควร์เวฟ(Square Wave)อยู่ในช่วง 0-400 เฮิรตซ์ โดยขนาดของสัญญาณจะเป็นดังต่อไปนี้ 2.8 โวลท์ ที่ ความถี่ 100 เฮิรตซ์, 3.8 โวลท์ ที่ความถี่ 200 เฮิรตซ์, 2.8 โวลท์ ที่ความถี่ 300 เฮิรตซ์ และ 2.8 โวลท์ ที่ ความถี่ 400 เฮิรตซ์



รูปที่ 5.8 แสดงระบบการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการยึดเส้นใยแก้วนำแสง

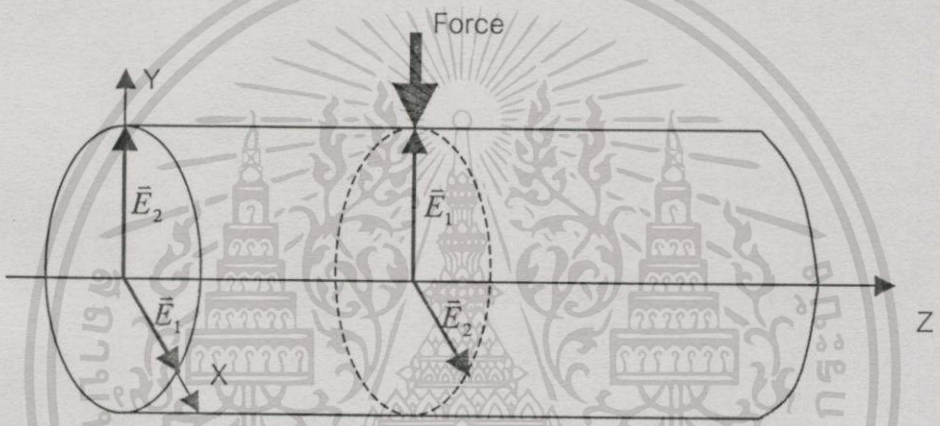


รูปที่ 5.9 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการยึดเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น

ทฤษฎีและหลักการของการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่นนั้นก็จะเป็นเช่นเดียวกันกับวิธีการสวิตชิ่งแบบความยาวคลื่นเดียว โดยจะแตกต่างกันที่จำนวนความยาวคลื่นที่ใช้ในการสวิตชิ่ง ซึ่งการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่นนั้นจะใช้ความยาวคลื่นสองความยาวคลื่นให้เคลื่อนที่เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียวกันแต่เดินทางต่างกันคนละแนวโพลาไรซ์ ดังนั้นถ้ามีแรงจากภายนอกมากระทำลงบนเส้นใยแก้วนำแสงแล้ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแนวโพลาไรซ์ของความยาวคลื่นทั้งสองได้ดังแสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แสดงการเปลี่ยนแนวโพลาไรเซชันและเฟสของโหมดแสงทั้งสองความยาวคลื่นเนื่องจากการกดเส้นใยแก้วนำแสง

โดยความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนเฟสระหว่างโหมดทั้งสองของแต่ละความยาวคลื่นสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้[6]

$$\Delta\phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1}\Delta nL \tag{5.16}$$

และ

$$\Delta\phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2}\Delta nL \tag{5.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\Delta\phi_1, \Delta\phi_2$ เป็นความต่างเฟสระหว่างโหมดแสงทั้งสองของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และ λ_1, λ_2 คือความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

โดยสัญญาณแสงของทั้งสองความยาวคลื่นที่เข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงนั้น เราสามารถที่จะเขียนอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้[16]

$$\vec{E}_1 = E_{1iX}\hat{i} + E_{1iY}\hat{j} \tag{5.18}$$

และ

$$\vec{E}_2 = E_{2iX}\hat{i} + E_{2iY}\hat{j} \tag{5.19}$$

เมื่อ $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ คือเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และจะได้ว่า

$$E_{1iX} = E_1.e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1X})} \tag{5.20}$$

$$E_{1iY} = E_1.e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1Y})} \tag{5.21}$$

และ

$$E_{2iX} = E_2.e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2X})} \tag{5.22}$$

$$E_{2iY} = E_2.e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2Y})} \tag{5.23}$$

และจะได้ว่า

$$\alpha_1 = \tan^{-1}\frac{E_{1iY}}{E_{1iX}} \tag{5.24}$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1}\frac{E_{2iY}}{E_{2iX}} \tag{5.25}$$

เมื่อ E_{1iX}, E_{1iY} คือขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของความยาวคลื่นที่ 1 ในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ ส่วน E_{2iX}, E_{2iY} คือขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของความยาวคลื่นที่ 2 ในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ และ E_1, E_2 คือขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และ ω_1, ω_2 คือความถี่เชิงมุมของความยาวคลื่นที่ 1และ 2 ตามลำดับ ส่วน ϕ_{1X}, ϕ_{1Y} คือเฟสของโหมดแสงของความยาวคลื่นที่ 1 ในแนวแกน X และ Y และ ϕ_{2X}, ϕ_{2Y}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือเฟสของโหมดแสงของความยาวคลื่นที่ 2 ในแนวแกน X และ Y และ α_1, α_2 คือมุมของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2 ตามลำดับที่กระทำกับแกน X

จากสมการที่ (5.20) ถึง (5.23) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{1iX} \\ E_{1iY} \end{bmatrix} = E_1 \begin{bmatrix} e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1X})} \\ e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1Y})} \end{bmatrix} \tag{5.26}$$

และ

$$\begin{bmatrix} E_{2iX} \\ E_{2iY} \end{bmatrix} = E_2 \begin{bmatrix} e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2X})} \\ e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2Y})} \end{bmatrix} \tag{5.27}$$

ดังนั้นกรณีที่เส้นใยแก้วนำแสงยังไม่ถูกทำการคัปปลิงจะสามารถอธิบายกระบวนการของการเปลี่ยนแนวโพลาไรซ์ได้ในรูปของเมตริกซ์ดังต่อไปนี้[16,17]

$$\begin{bmatrix} E_{1oX} \\ E_{1oY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1X})} & 0 \\ 0 & e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1Y})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{1iX} \\ E_{1iY} \end{bmatrix} \tag{5.28}$$

และ

$$\begin{bmatrix} E_{2oX} \\ E_{2oY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2X})} & 0 \\ 0 & e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2Y})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{2iX} \\ E_{2iY} \end{bmatrix} \tag{5.29}$$

นั้นก็คือคุณสมบัติของสัญญาณแสงทั้งสองความยาวคลื่นขณะเริ่มเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงและหลังออกจากเส้นใยแก้วนำแสงยังมีลักษณะเหมือนเดิมทั้งแนวของการโพลาไรซ์และเฟสของโหมดแสงทั้งสอง และในกรณีที่มีการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสงนั้นสามารถอธิบายกระบวนการของการเปลี่ยนแนวโพลาไรซ์ได้ในรูปของเมตริกซ์ดังต่อไปนี้[16,17]

$$\begin{bmatrix} E_{1oX} \\ E_{1oY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 . e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1X'})} & -\sin\theta_1 . e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1X'})} \\ \sin\theta_1 . e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1Y'})} & \cos\theta_1 . e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1Y'})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1X})} & 0 \\ 0 & e^{i(kZ-\omega_1 t+\phi_{1Y})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{1iX} \\ E_{1iY} \end{bmatrix} \tag{5.30}$$

และ

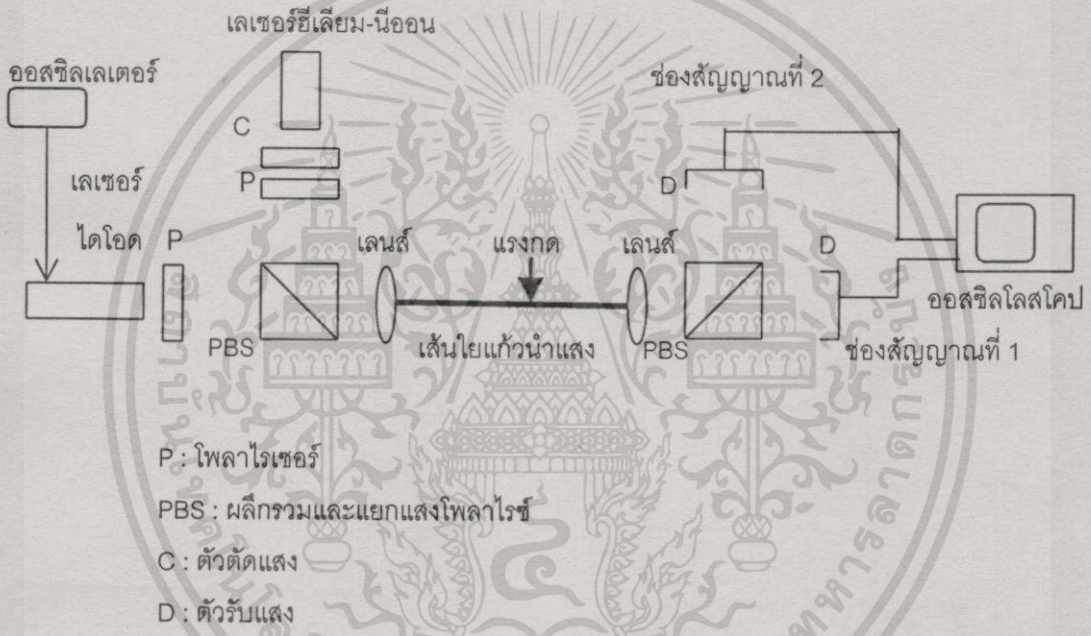
$$\begin{bmatrix} E_{2oX} \\ E_{2oY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 . e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2X'})} & \sin\theta_2 . e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2X'})} \\ -\sin\theta_2 . e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2Y'})} & \cos\theta_2 . e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2Y'})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2X})} & 0 \\ 0 & e^{i(kZ-\omega_2 t+\phi_{2Y})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{2iX} \\ E_{2iY} \end{bmatrix} \tag{5.31}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\phi_{1X'}, \phi_{1Y'}$ คือเฟสของโหมดแสงที่เปลี่ยนไปของความยาวคลื่นที่ 1 ในแนวแกน X และ Y และ $\phi_{2X'}, \phi_{2Y'}$ คือเฟสของโหมดแสงที่เปลี่ยนไปของความยาวคลื่นที่ 2 ในแนวแกน X และ Y และ θ_1, θ_2 คือมุมของแนวโพลาไรเซชันที่เปลี่ยนไปจากเดิมของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทิศทางของการโพลาไรเซชันและเฟสของโหมดแสงทั้งสองของแต่ละความยาวคลื่นได้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำต่อเส้นใยแก้วนำแสง

5.4.1 การทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น

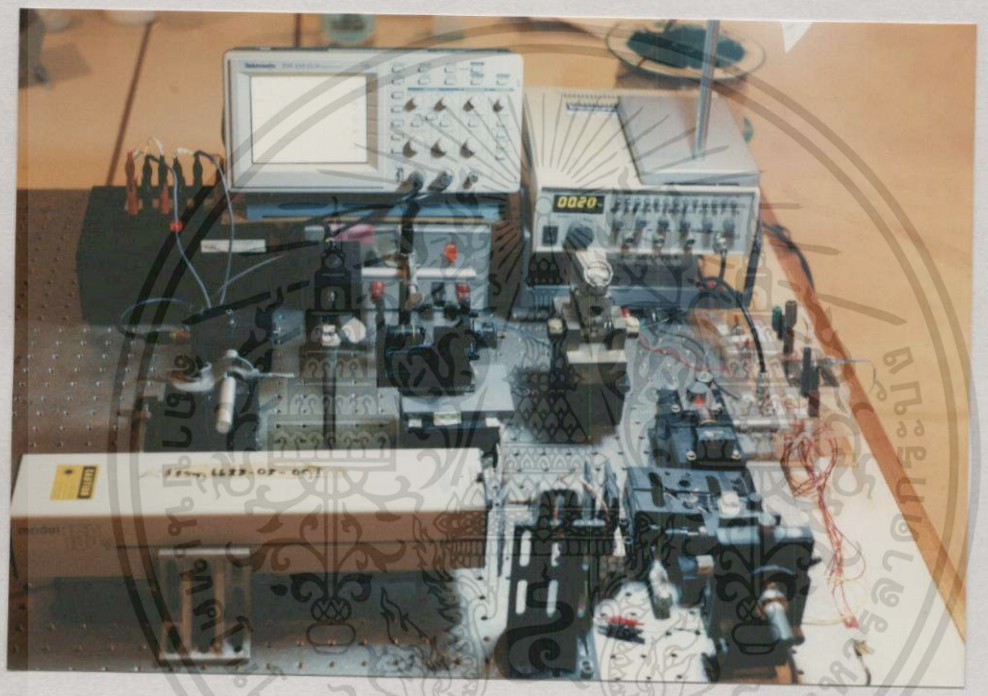


รูปที่ 5.11 แสดงระบบการทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น

ในการทดลองนี้ได้จัดเตรียมระบบการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.11 โดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท มาทำการคัปปลิงด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง และใช้แหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่งคือ เลเซอร์ไดโอด ทำงานที่ความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร และเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ทำงานที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร โดยเลเซอร์ไดโอดได้ทำการมอดูเลตด้วยสัญญาณรูปไซน์ขนาด 500 มิลิโวลท์ ที่ความถี่ 200 เฮิรตซ์ ส่วนเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ได้ใช้ตัวตัดแสงเพื่อทำให้ได้แสงออกมาเป็นคลื่นสแควร์เวฟ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสัญญาณแสงที่ได้จากเลเซอร์ไดโอดเป็นสัญญาณอะนาล็อก(Analog) และสัญญาณแสงที่ได้จากเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนเป็นสัญญาณดิจิตอล(Digital) ต่อจากนั้นสัญญาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองจะถูกส่งผ่านไปยังตัวทำแสงโพลาไรซ์(P) เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้แสงเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นอย่างสมบูรณ์ แล้วแสงจากแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองก็จะถูกส่งมารวมกันที่ผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ โดยแสงจากเลเซอร์ไดโอดได้ถูกส่งผ่านเข้ามาทางด้านหน้าของผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ ดังนั้นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่ได้จึงเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวระนาบ ส่วนแสงจากเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนได้ถูกส่งผ่านเข้ามาทางด้านข้างของผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ ดังนั้นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่ได้จึงเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวตั้งฉาก ซึ่งแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นทั้งสองแนวนั้นจะถูกส่งผ่านเลนส์รวมแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 5.12 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น

เมื่อแสงเดินทางออกจากเส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะถูกทำให้เป็นลำแสงขนานโดยผ่านเลนส์รวมแสงก่อนแล้วจึงผ่านเข้าสู่ผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ เพื่อทำการแยกแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นทั้งสองแนวออกจากกัน โดยถ้าแสงที่ผ่านเข้ามานั้นเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวระนาบแล้วแสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบนี้ก็จะทะลุผ่านผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ไปยังตัวรับแสงของช่องสัญญาณที่ 1 แต่ถ้าแสงที่ผ่านเข้ามาเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวตั้งฉาก แสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉากนี้ก็จะสะท้อนออกด้านข้างของผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ไปยังตัวรับแสงของช่องสัญญาณที่ 2 ดังนั้นเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระตุ้นบนเส้นใยแก้วนำแสงก็จะทำให้แนวของโพลาไรซ์สามารถเปลี่ยนไปจากแนวเดิมได้คือจากแสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบไปเป็นแสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉาก ซึ่งทิศในการเดินทางของแสงก็จะเปลี่ยนจากช่องสัญญาณที่ 1 ไปเป็นช่องสัญญาณที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 นั้นก็คือสัญญาณรูปไซน์ที่แสดงในช่องสัญญาณที่ 1 จะเปลี่ยนไปแสดงที่ช่องสัญญาณที่ 2 แทน และในทำนองเดียวกันแสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉากก็จะไปเป็นแสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบ ซึ่งทิศในการเดินทางของแสงก็จะเปลี่ยนจากช่องสัญญาณที่ 2 ไปเป็นช่องสัญญาณที่ 1 นั้นก็คือสัญญาณคลื่นสแควร์เวฟที่แสดงในช่องสัญญาณที่ 2 จะเปลี่ยนไปแสดงที่ช่องสัญญาณที่ 1 แทน โดยแรงที่ใช้ในการกระตุ้นเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะใช้มวลขนาด 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 กรัม วางลงบนอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการกระตุ้นเส้นใยแก้วนำแสง

5.5 การตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชัน

สำหรับการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของสัญญาณแสงเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองนั้นว่าจะมีการเปลี่ยนแนวของโพลาไรเซชันได้จริงหรือไม่สามารถกระทำได้ดังนี้คือ เมื่อพิจารณาจากการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วจะพบว่าการคัปปลิงด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะสามารถเห็นการเปลี่ยนแนวของโพลาไรเซชันของแสงได้ดีที่สุด ดังนั้นเราจึงทำการตรวจสอบสถานะของโพลาไรเซชันของแสงด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง โดยใช้คณิตศาสตร์ที่เรียกว่าสโตกส์เวกเตอร์ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 มาทำการตรวจสอบ ซึ่งโดยทั่วไปสโตกส์พารามิเตอร์สามารถเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์แนวตั้งได้ดังนี้

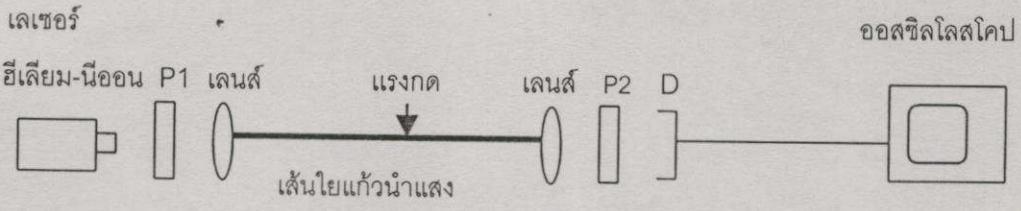
$$S = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \qquad (5.32)$$

เมื่อ S_0 คือความเข้มแสงรวมของสัญญาณแสง S_1 คือผลต่างของความเข้มแสงของแสงโพลาไรซ์ที่ทำการวัดที่มุม 0 และ 90 องศาเทียบกับแกนอ้างอิง S_2 คือผลต่างของความเข้มแสงของแสงโพลาไรซ์ที่ทำการวัดที่มุม 45 และ -45 องศาเทียบกับแกนอ้างอิง และ S_3 คือผลต่างของความเข้มแสงของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา และตามซ้าย แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นจึงทำให้ค่า S_3 มีค่าเท่ากับศูนย์($S_3 = 0$)

ดังนั้นในการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของแสงเอาต์พุตจากระบบการทดลองสามารถทำได้โดยการวัดความเข้มแสงในลักษณะต่างๆตามสมการที่ (5.32) ก็จะสามารถทำให้ทราบสถานะของโพลาไรเซชันของแสงได้ว่าเป็นโพลาไรเซชันในแนวใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.1 การทดลองการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชัน



P1 : โพลาไรเซอร์

P2 : อะนาไรเซอร์

D : ตัวรับแสง

รูปที่ 5.13 แสดงระบบการทดลองการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชัน

ในการทดลองนี้ได้จัดเตรียมระบบการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.13 โดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท มาทำการคัปปลิงด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง และใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนส่งแสงผ่านโพลาไรเซอร์ P1 เพื่อทำให้เป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีแนวตั้งฉากกับแนวอ้างอิงคือ แนวระนาบ แล้วส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อสัญญาณแสงออกจากเส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะส่งผ่านไปยังโพลาไรเซอร์ P2 ที่ทำหน้าที่เป็นอะนาไรเซอร์(Analyser) ต่อจากนั้นสัญญาณแสงก็จะถูกทำการวัดความเข้มแสงโดยตัวรับสัญญาณแสง และแสดงผลที่ตัวออสซิลโลสโคป

สำหรับการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันนั้นจะทำการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันอยู่ 3 กรณีด้วยกันคือ ก่อนทำการคัปปลิง ขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดจุดเริ่มสวิตชิ่ง และขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดการสวิตชิ่งอย่างสมบูรณ์ ซึ่งก่อนทำการคัปปลิงนี้จะไม่มีการใช้มวลใดๆมากดที่เส้นใยแก้วนำแสง และขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดจุดเริ่มสวิตชิ่งนั้นจะใช้มวลขนาด 200 กรัม มาทำการคัปปลิง สำหรับขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดการสวิตชิ่งอย่างสมบูรณ์นั้นจะใช้มวลขนาด 500 กรัม มาทำการคัปปลิง และทำการปรับอะนาไรเซอร์ P2 เพื่อหาค่าสโตกส์พารามิเตอร์ตามต้องการ ซึ่งสถานะโพลาไรเซชันของทั้ง 3 กรณีนี้จะต้องเป็นไปดังนี้คือ ก่อนทำการคัปปลิงสถานะโพลาไรเซชันจะต้องมีแนวตั้งฉากกับแนวอ้างอิงตามสถานะโพลาไรเซชันเริ่มต้นที่ส่งเข้ามา และขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดจุดเริ่มสวิตชิ่งสถานะโพลาไรเซชันจะต้องมีแนว 45 องศากับแนวอ้างอิง ส่วนขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดการสวิตชิ่งอย่างสมบูรณ์นั้นสถานะโพลาไรเซชันจะต้องมีแนวระนาบหรือแนวที่ขนานกับแนวอ้างอิง เนื่องจากการเปลี่ยนแนวของโพลาไรเซชันจากแนวตั้งฉากไปเป็นแนวระนาบนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยของการทดลองการสวิตชิ่งทั้ง 4 วิธี คือ การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง การทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง และการทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น รวมทั้งการทดลองการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันด้วย ซึ่งสำหรับบทต่อไปจะกล่าวถึงผลของการทดลองที่ได้กล่าวไว้แล้วนี้

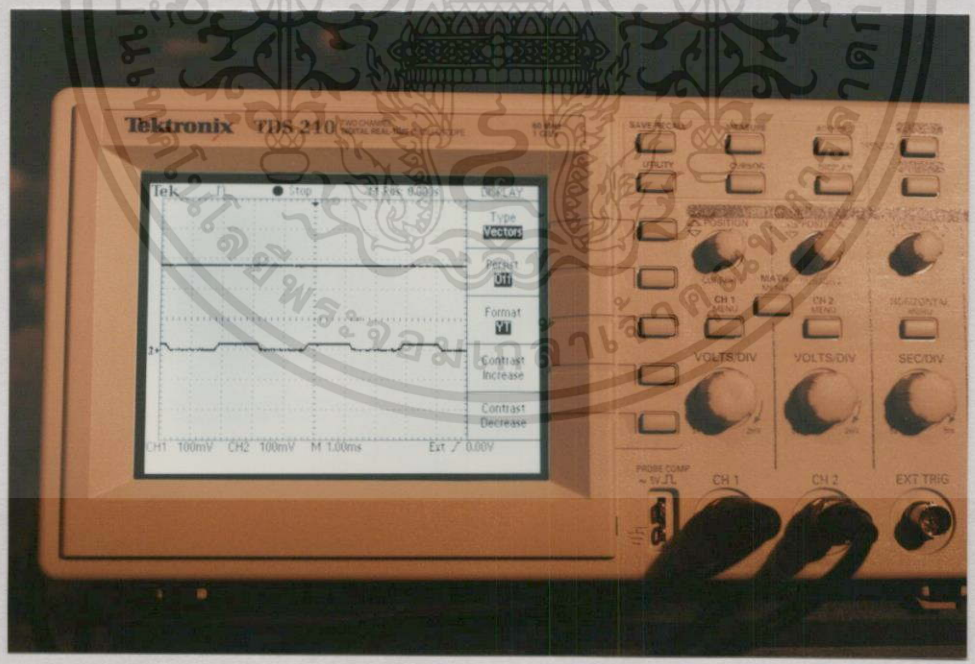


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ผลของการดำเนินงานวิจัย

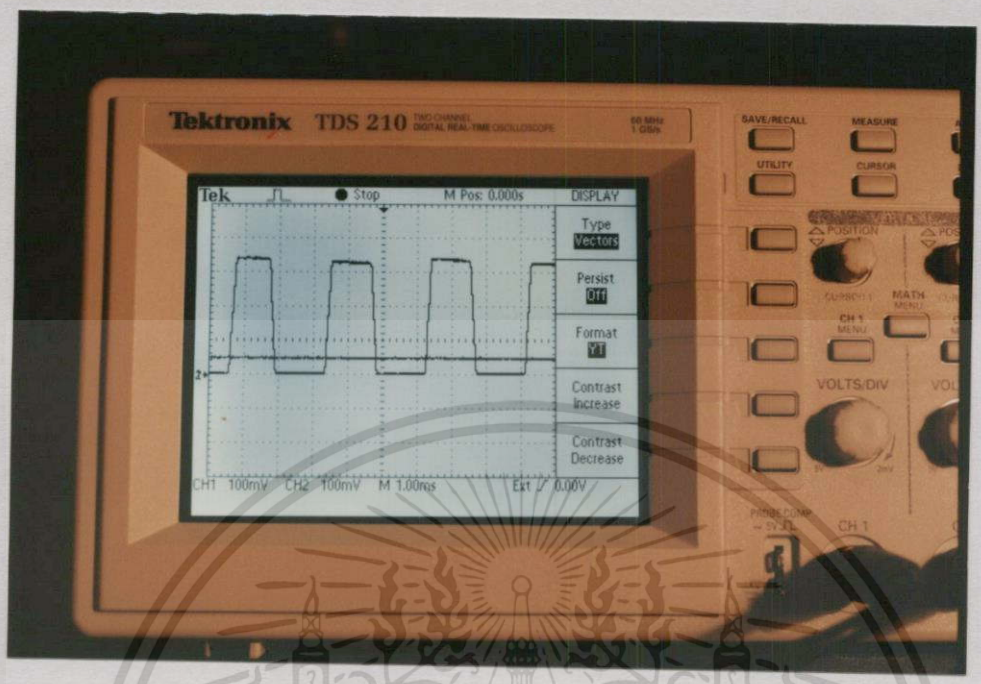
6.1 ผลของการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง

ลักษณะของสัญญาณที่รับได้ก่อนทำการคัปปลิงและหลังทำการคัปปลิงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.1 สำหรับผลการทดลองที่ได้จากการทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของการสวิตชิ่งของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 3 ชนิดนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.2 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 กับค่าแรงที่ใช้ในการกระตุ้นเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งความเข้มแสงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากการเปลี่ยนแนวของการโพลาไรซ์ ผลของสัญญาณรบกวนข้ามช่องสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งเป็นผลของการรบกวนเนื่องจากช่องสัญญาณที่ 2 บนช่องสัญญาณที่ 1 สำหรับค่าอัตราการคัปปลิงที่มีความสัมพันธ์กับแรงที่มาทำการกระตุ้นเส้นใยแก้วนำแสงนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.4



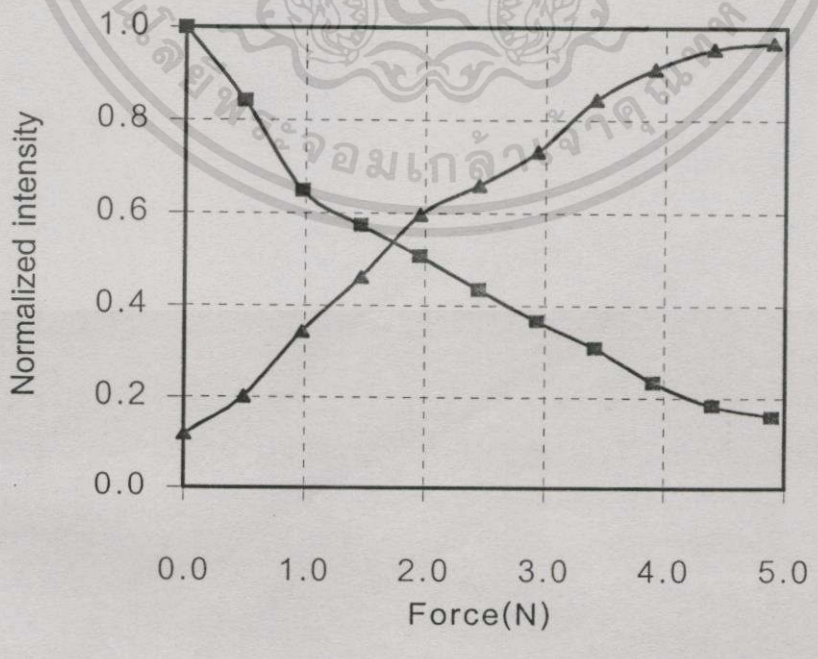
รูปที่ 6.1(ก) ก่อนทำการคัปปลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



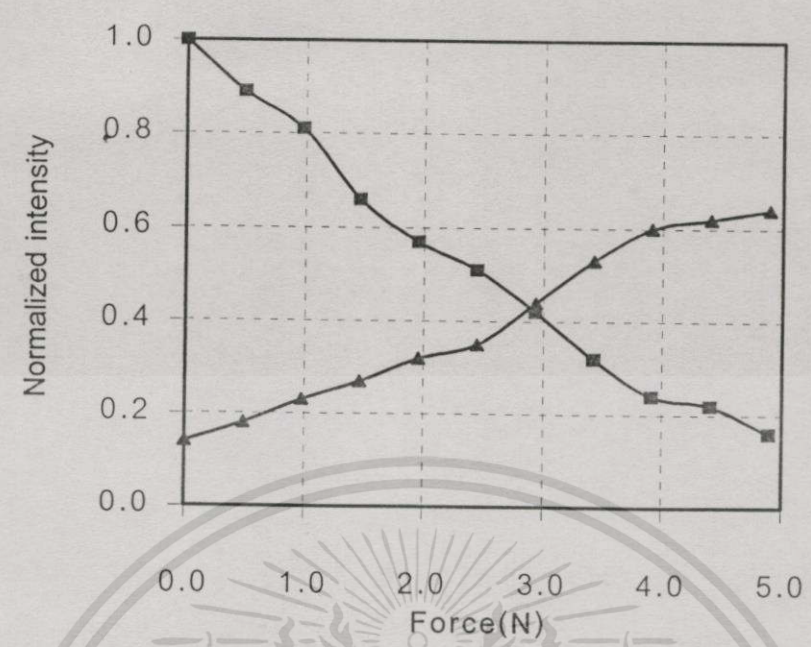
รูปที่ 6.1(ข) หลังทำการคัปปลิง

รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะของสัญญาณในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 เมื่อ (ก) ก่อนทำการคัปปลิง และ (ข) หลังทำการคัปปลิง

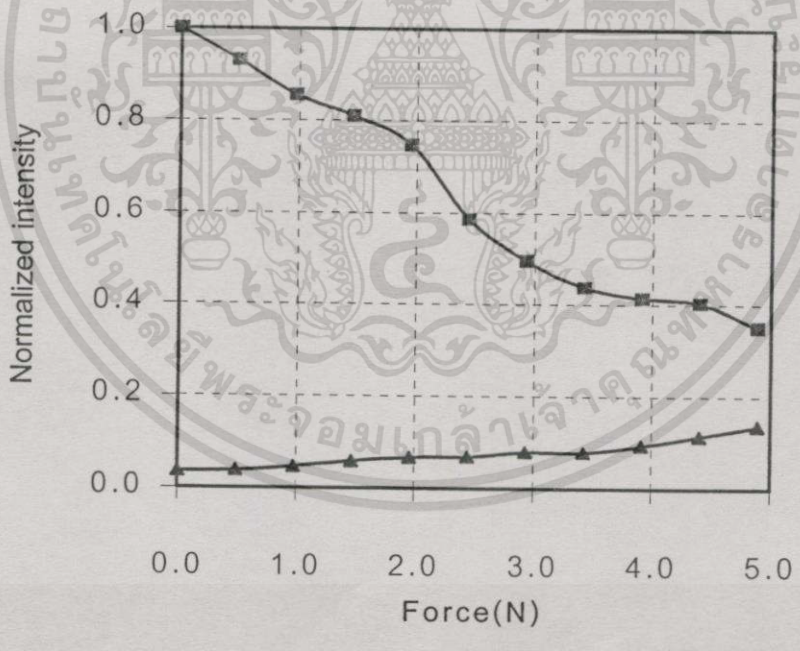


รูปที่ 6.2(ก) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



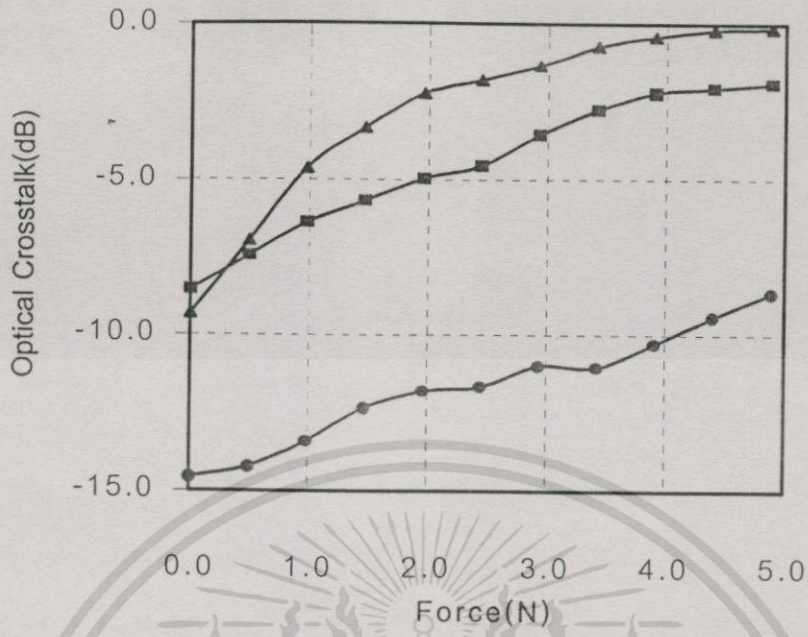
รูปที่ 6.2(ข) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์



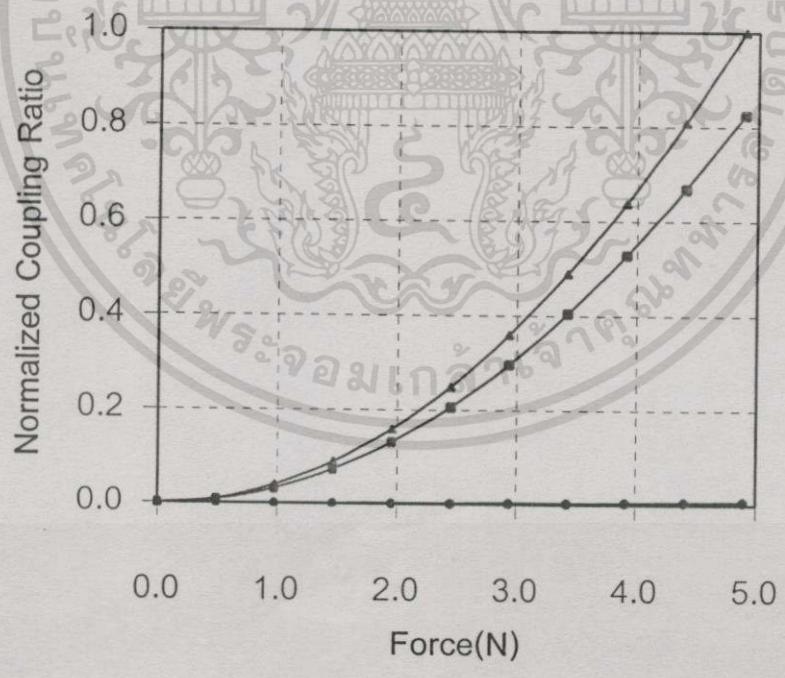
รูปที่ 6.2(ค) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว

รูปที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเข้มแสงของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 3 ชนิด คือ (ก) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท (ข) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์ และ(ค) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว(▲ ช่องสัญญาณที่ 1,■ ช่องสัญญาณที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเกิดการรบกวนข้ามช่องของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท(▲) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์(■)และเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว(●)

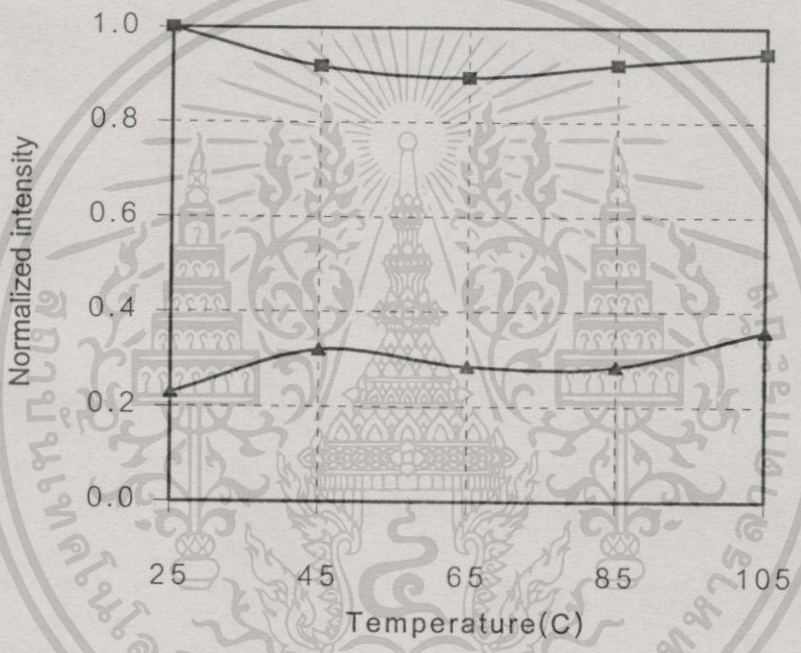


รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับค่าอัตราการคัปปลิงของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท (▲) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์(■) และเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว(●)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

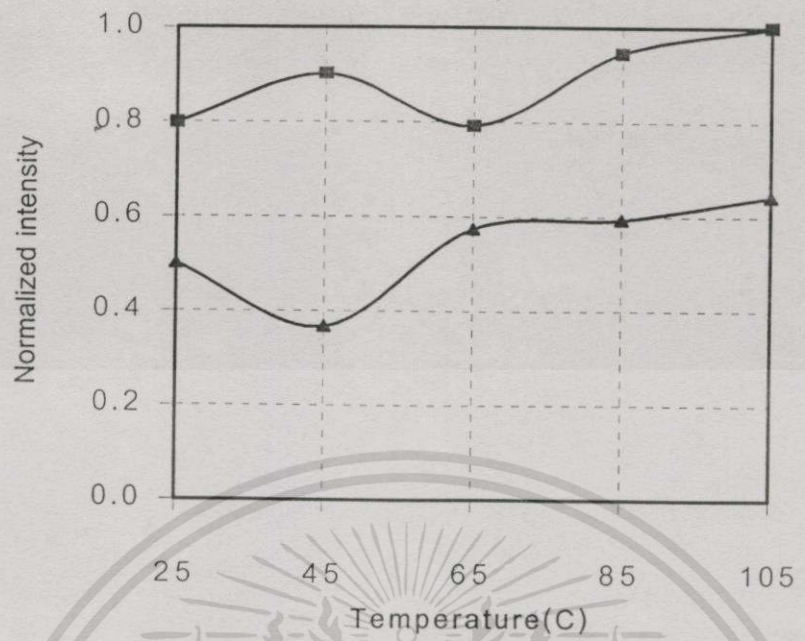
6.2 ผลของการทดลองการสวิตซิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง

จากผลของก้ารทดลองการสวิตซิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสงนั้นพบว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท มีคุณสมบัติในการคัปปลิงได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มาทำการทดลองการสวิตซิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง และได้ทำการเปรียบเทียบผลของการคัปปลิงเมื่อไม่มีมวลกดกับการใช้มวลกดเส้นใยแก้วนำแสงที่ขนาด 100 และ 400 กรัม โดยแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 6.5

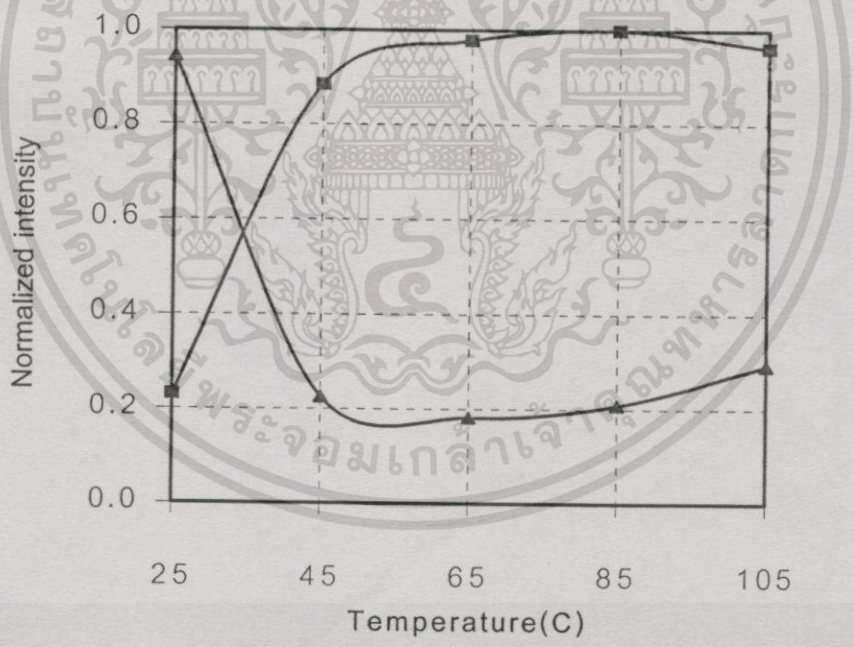


รูปที่ 6.5(ก) ไม่มีมวลกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5(ข) 100 กรัม



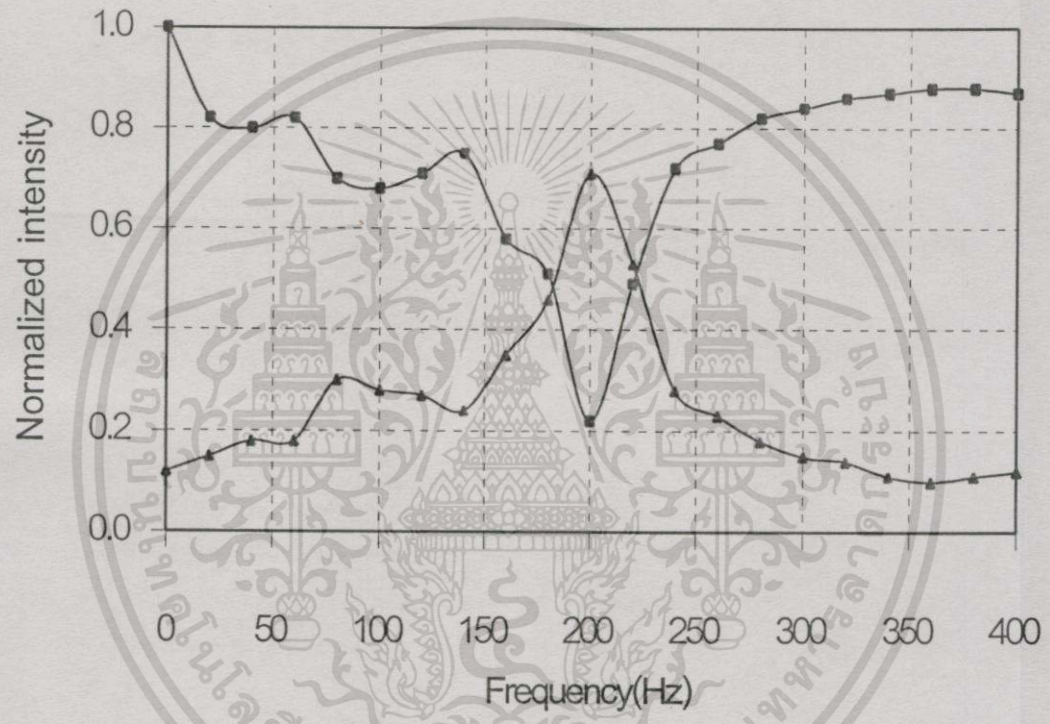
รูปที่ 6.5(ค) 400 กรัม

รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มแสงของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท ที่ถูกกดด้วยมวลขนาด (ก) ไม่มีมวลกด (ข) 100 กรัม และ(ค) 400 กรัม(▲ ช่องสัญญาณที่ 1, ■ ช่องสัญญาณที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

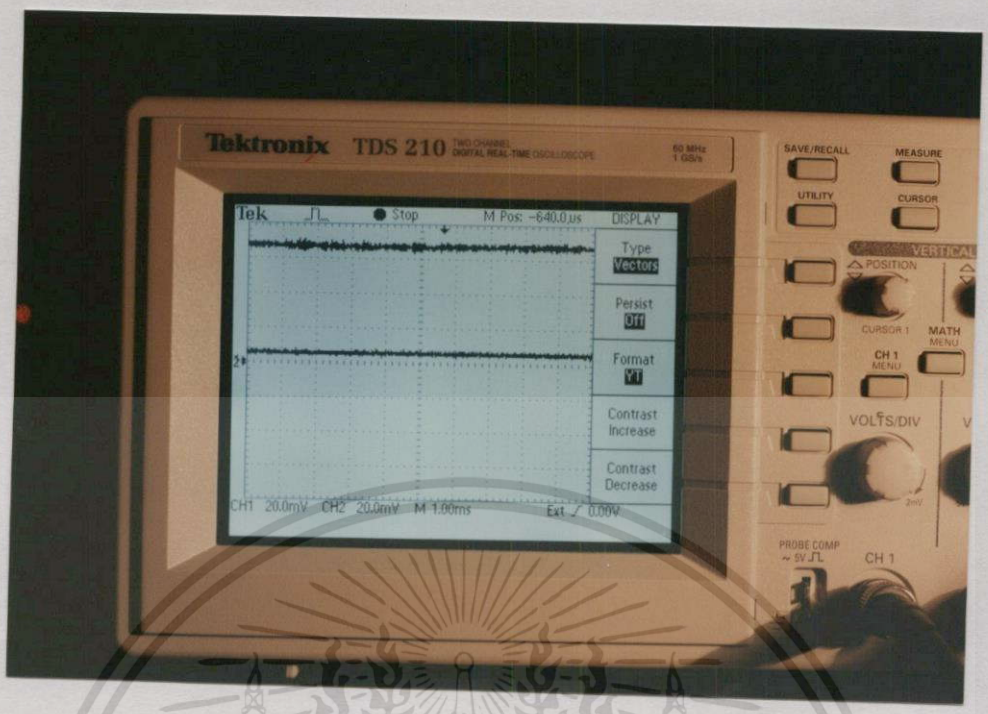
6.3 ผลของการทดลองการสวิตซิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง

ในการทดลองการสวิตซิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสงนั้นได้ใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท ยืดด้วยความถี่ 0-400 เฮิรตซ์ และได้ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 6.6 ซึ่งลักษณะของสัญญาณก่อนทำการคัปปลิงและหลังทำการคัปปลิงที่ความถี่ 200 เฮิรตซ์ ของช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.7

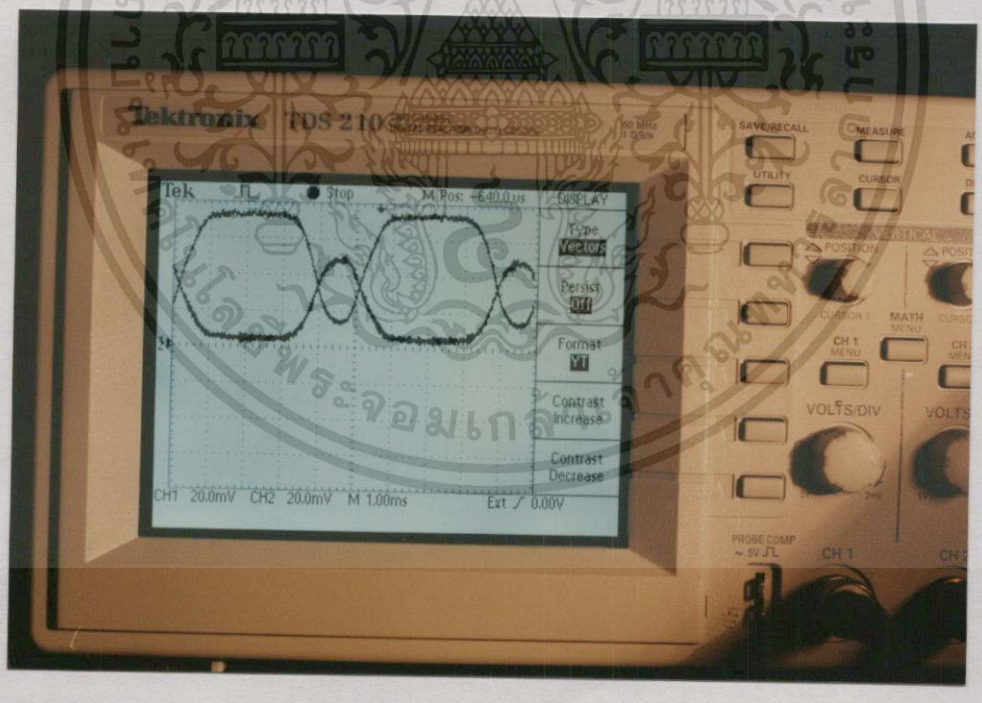


รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเข้มแสงของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท ที่ถูกยืดด้วยความถี่ 0-400 เฮิรตซ์ (▲ช่องสัญญาณที่ 1, ■ ช่องสัญญาณที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



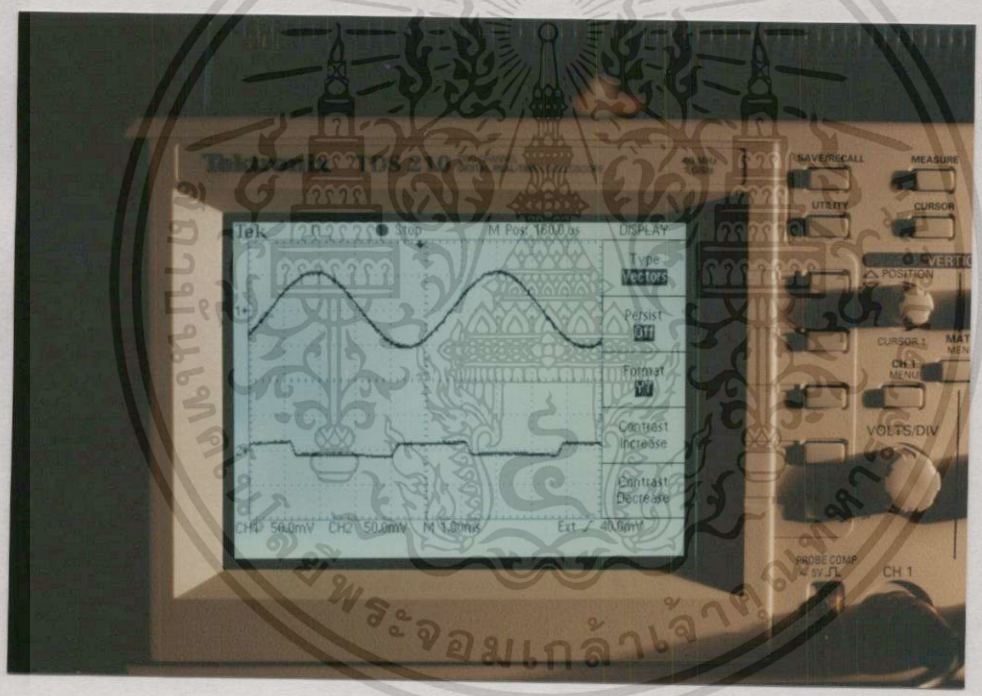
(ข)

รูปที่ 6.7 แสดงลักษณะสัญญาณของช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ที่คัปปลิงด้วยความถี่ 200 เฮิรตซ์ เมื่อ (ก) ก่อนทำการคัปปลิง และ (ข) หลังทำการคัปปลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

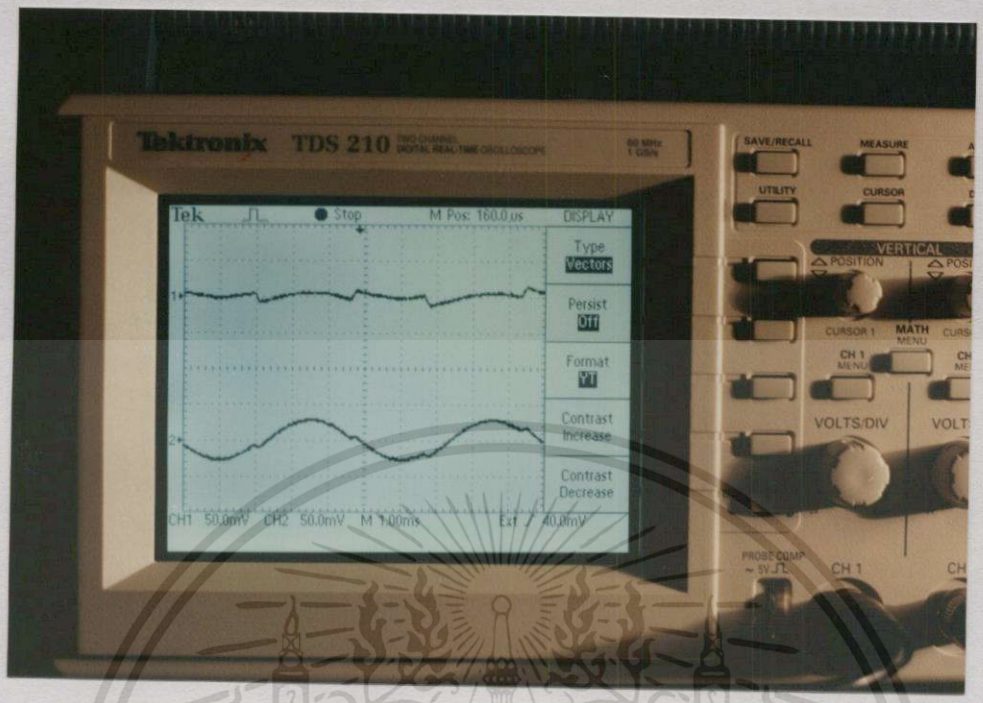
6.4 ผลของการทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่น

สำหรับผลการทดลองที่ได้จากการทำการทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่นนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.8 ซึ่งเป็นลักษณะสัญญาณของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2 ในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยแสดงลักษณะสัญญาณก่อนที่จะทำการคัปปลิง และหลังที่ถูกทำการคัปปลิงแล้ว โดยกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงกับค่าแรงที่ใช้ในการกระตุ้นเส้นใยแก้วนำแสงในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2 นั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.9 ซึ่งความเข้มแสง(arbitrary unit)ที่เปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากการเปลี่ยนแนวของการโพลาไรซ์ของทั้งสองความยาวคลื่น



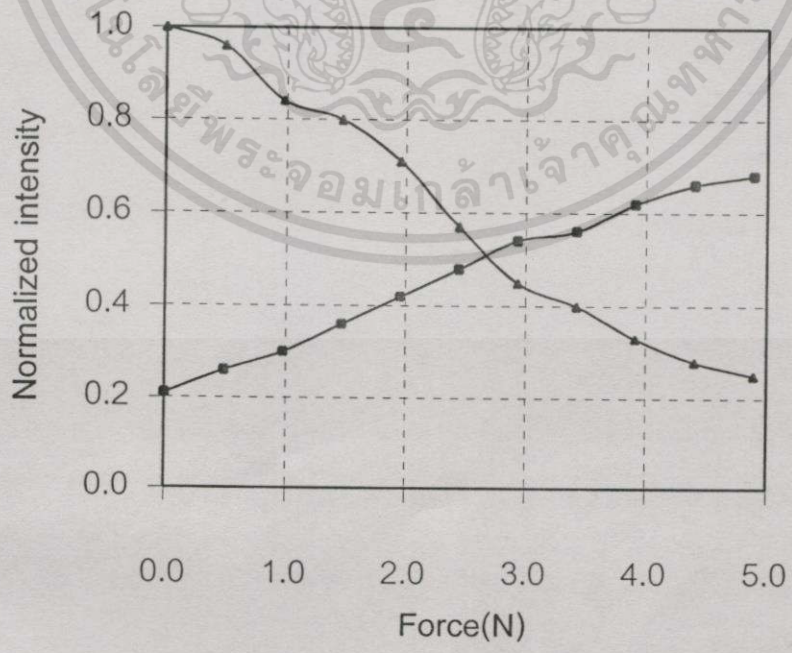
รูปที่ 6.8(ก) ก่อนทำการคัปปลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



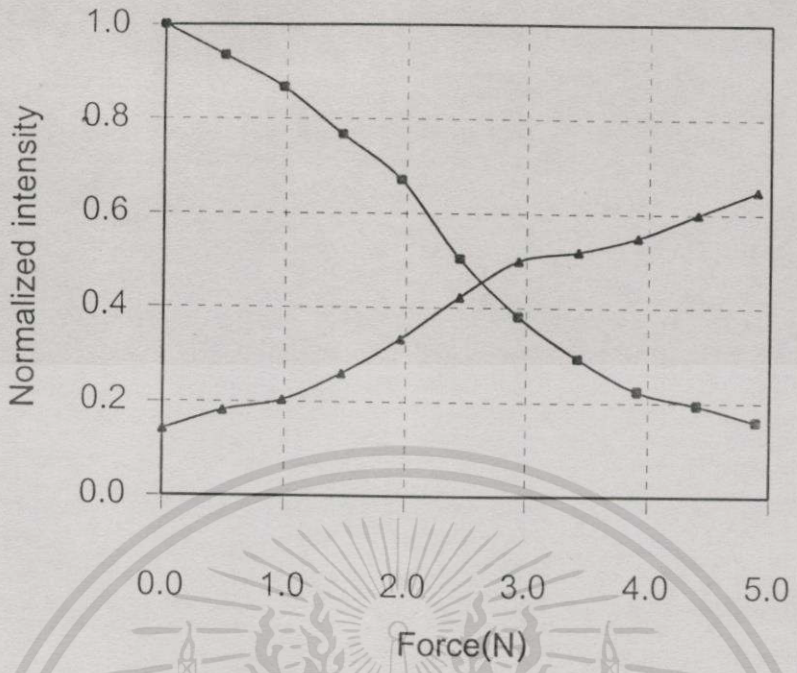
รูปที่ 6.8(ข) หลังทำการคัปปลิง

รูปที่ 6.8 แสดงลักษณะสัญญาณของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2 ในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อ (ก) ก่อนทำการคัปปลิง และ (ข) หลังทำการคัปปลิง



รูปที่ 6.9(ก) ความยาวคลื่นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9(ข) ความยาวคลื่นที่ 2

รูปที่ 6.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเข้มแสงในช่องสัญญาณที่ 1 (▲) และ ช่องสัญญาณที่ 2 (■) ของ (ก) ความยาวคลื่นที่ 1 และ (ข) ความยาวคลื่นที่ 2

6.5 ผลของการทดลองการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชัน

สำหรับผลของการทดลองการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันของการคัปปลิงทั้ง 3 กรณีนั้น คือ ก่อนทำการคัปปลิง ขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดจุดเริ่มสวิตชิ่ง และขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดการสวิตชิ่งอย่างสมบูรณ์ สามารถพิจารณาจากค่าสโตกส์พารามิเตอร์ ซึ่งค่าสโตกส์พารามิเตอร์นั้นจะหาได้จากผลรวมและผลต่างของค่าความเข้มแสงที่ทำการวัดได้จากการทดลอง โดยประกอบด้วย I_0, I_{90}, I_{45}, I_{-45}, I_{RCP} และ I_{LCP} ซึ่งค่าความเข้มแสงที่วัดได้ในกรณีที่ก่อนทำการคัปปลิงสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.1 และจะนำค่าความเข้มแสงนี้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าสโตกส์พารามิเตอร์ เพื่อตรวจสอบว่าสโตกส์พารามิเตอร์ที่ได้มีสถานะโพลาไรเซชันที่ทำมุมกับแนวแกนอ้างอิงเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าความเข้มแสงต่างๆที่วัดได้และจะนำไปใช้สำหรับคำนวณค่าสโตกส์พารามิเตอร์ในกรณีที่ก่อนทำการคัปปลิง

ความเข้มแสง	มิลลิโวลต์(ค่าเฉลี่ย)
I_0	3.577
I_{90}	62.800
I_{45}	50.175
I_{-45}	48.825
I_{RCP}	0
I_{LCP}	0

ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความเข้มแสงที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าสโตกส์พารามิเตอร์ตามสมการที่ (5.32) ได้ดังต่อไปนี้

$$S_0 = I_0 + I_{90} = 3.577 + 62.800 = 66.377$$
$$S_1 = I_0 - I_{90} = 3.577 - 62.800 = -59.223$$
$$S_2 = I_{45} - I_{-45} = 50.175 - 48.825 = 1.350$$
$$S_3 = I_{RCP} - I_{LCP} = 0 - 0 = 0$$

ซึ่งเมื่อนำมาเขียนในรูปของนอร์แมลไลซ์ของสโตกส์พารามิเตอร์ จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$S = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.892 \\ 0.020 \\ 0 \end{bmatrix}$$

สำหรับค่าความเข้มแสงที่วัดได้ในกรณีที่ขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดจุดเริ่มสวิตชิ่งนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.2 และจะนำค่าความเข้มแสงนี้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าสโตกส์พารามิเตอร์ เพื่อตรวจสอบว่าสโตกส์พารามิเตอร์ที่ได้มีสถานะโพลาไรเซชันที่ทำมุมกับแนวแกนอ้างอิงเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 แสดงค่าความเข้มแสงต่างๆที่วัดได้และจะนำไปใช้สำหรับคำนวณค่าสโตกส์พารามิเตอร์ในกรณีที่ขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดจุดเริ่มสวิตชิ่ง

ความเข้มแสง	มิลลิโวลต์(ค่าเฉลี่ย)
I_0	34.000
I_{90}	29.675
I_{45}	56.475
I_{-45}	6.005
I_{RCP}	0
I_{LCP}	0

ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความเข้มแสงที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าสโตกส์พารามิเตอร์ตามสมการที่ (5.32) ได้ดังต่อไปนี้

$$S_0 = I_0 + I_{90} = 34.000 + 29.675 = 63.675$$
$$S_1 = I_0 - I_{90} = 34.000 - 29.675 = -4.325$$
$$S_2 = I_{45} - I_{-45} = 56.475 - 6.005 = 50.470$$
$$S_3 = I_{RCP} - I_{LCP} = 0 - 0 = 0$$

ซึ่งเมื่อนำมาเขียนในรูปของนอร์แมลไลซ์ของสโตกส์พารามิเตอร์ จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$S = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.067 \\ 0.792 \\ 0 \end{bmatrix}$$

และค่าความเข้มแสงที่วัดได้ในกรณีขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดการสวิตชิ่งอย่างสมบูรณ์นั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.3 และจะนำค่าความเข้มแสงนี้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าสโตกส์พารามิเตอร์ เพื่อตรวจสอบว่าสโตกส์พารามิเตอร์ที่ได้มีสถานะโพลาไรเซชันที่ทำมุมกับแนวแกนอ้างอิงเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าความเข้มแสงต่างๆที่วัดได้และจะนำไปใช้สำหรับคำนวณค่าสโตกส์พารามิเตอร์ในกรณีที่ขณะทำการคัปปลิงที่ทำให้เกิดการสวิตชิ่งอย่างสมบูรณ์

ความเข้มแสง	มิลลิโวลต์(ค่าเฉลี่ย)
I_0	57.000
I_{90}	5.880
I_{45}	36.750
I_{-45}	34.575
I_{RCP}	0
I_{LCP}	0

ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความเข้มแสงที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าสโตกส์พารามิเตอร์ตามสมการที่ (5.32) ได้ดังต่อไปนี้

$$S_0 = I_0 + I_{90} = 57.000 + 5.880 = 62.880$$
$$S_1 = I_0 - I_{90} = 57.000 - 5.880 = 51.120$$
$$S_2 = I_{45} - I_{-45} = 36.750 - 34.575 = 2.175$$
$$S_3 = I_{RCP} - I_{LCP} = 0 - 0 = 0$$

ซึ่งเมื่อนำมาเขียนในรูปของนอร์แมลไลซ์ของสโตกส์พารามิเตอร์ จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$S = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.812 \\ 0.034 \\ 0 \end{bmatrix}$$

6.6 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้เราสามารถที่จะสรุปผลของการทดลองต่างๆได้ดังนี้ คือ ผลการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะพบว่า เมื่อทำการเพิ่มแรงที่กระตุ้นเส้นใยแก้วนำแสงมากยิ่งขึ้นก็จะทำให้ความเข้มแสงของช่องสัญญาณที่ 1 เพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันความเข้มแสงของช่องสัญญาณที่ 2 ก็จะลดลงตามไปด้วย นั่นก็คือได้เกิดการเปลี่ยนแนวของการโพลาไรซ์ของแสงจากแนวที่ตั้งฉากไปสู่แนวระนาบได้ โดยที่เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องใช้แรงกระตุ้นประมาณตั้งแต่ 2 N ขึ้นไปจึงจะสามารถทำให้เกิดการสวิตชิ่งได้ ส่วนเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์นั้นจะต้องใช้แรงกระตุ้นประมาณตั้งแต่ 3 N ขึ้นไปจึงจะสามารถทำให้เกิดการสวิตชิ่งได้ และเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวนั้นมีแนวโน้มที่จะเกิดการสวิตชิ่งได้น้อยมาก ถ้าเราเพิ่มแรงกระตุ้นที่มากกว่า 5 N อาจจะทำให้เกิดการเสียหายแก่เส้นใยแก้วนำแสงได้ ดังนั้นเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาทำเป็นอุปกรณ์ในการสวิตชิ่งได้ดีที่สุด เนื่องจากใช้แรงจากภายนอกมากระตุ้นเพียงเล็กน้อยก็สามารถที่จะทำให้แนวของการ โพลาไรซ์ของแสงเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งถ้าเราสามารถควบคุมแรงที่มากระตุ้นให้เป็นไปตามต้องการได้ เราก็จะสามารถควบคุมการเปลี่ยนช่องสัญญาณแสงตามที่เราต้องการได้ ส่วนเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์นั้นก็สามารถนำมาทำเป็นอุปกรณ์ในการสวิตชิ่งได้แต่จะต้องใช้แรงในการกระตุ้นมากกว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท และผลของการวัดสัญญาณรบกวนข้ามช่องของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไทกับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์นั้นที่จุด 0 N พบว่าค่าการเกิดสัญญาณรบกวนข้ามช่องของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไทมีค่าต่ำกว่าของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอี-คอร์อาจจะเกิดเนื่องมาจากการผิดพลาดในการปรับแนวโพลาไรเซชันของแสงไม่ดีพอจึงทำให้เกิดผลเป็นเช่นนั้น สำหรับผลการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสงนั้นพบว่า ถ้าไม่มีมวลมากดหรือใช้มวลขนาด 100 กรัม มากดเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงได้น้อยมากแต่ถ้าใช้มวลขนาด 400 กรัม จะสามารถเกิดการสวิตชิ่งขึ้นได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 35 องศาเซลเซียส ขึ้นไป และสำหรับผลการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสงนั้นพบว่าที่ความถี่ 200 เฮิรตซ์ ซึ่งจะมีค่าขนาดของสัญญาณที่ทำการคัปปลิงสูงที่สุดจึงทำให้เส้นใยแก้วนำแสงถูกยืดออกได้มากที่สุด ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสวิตชิ่งขึ้นได้ ส่วนผลการทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่นนั้นพบว่าสัญญาณของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2 สามารถเกิดการสวิตชิ่งได้ที่แรงกระตุ้นประมาณตั้งแต่ 3 N ขึ้นไป ซึ่งสัญญาณรูปไซน์จากช่องสัญญาณที่ 1 จะสามารถสลับไปที่ช่องสัญญาณที่ 2 ได้ และในทำนองเดียวกันนี้สัญญาณ สแควร์เวฟจากช่องสัญญาณที่ 2 ก็จะสามารถสลับไปที่ช่องสัญญาณที่ 1 ได้เช่นกัน และสำหรับผลการทดลองการตรวจสอบสถานะโพลาไรเซชันนั้นจะพบว่า เมื่อนำนอร์แมลไลซ์ของสโตกส์พารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดความเข้มแสงเอาต์พุตมาทำการเปรียบเทียบกับค่านอร์แมลไลซ์ของสโตกส์พารามิเตอร์ ตามตารางที่ 2.1 จะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงแสดงได้ว่าทั้ง 3 กรณีนี้จะมีลักษณะของสถานะโพลาไรเซชันของแสงเอาต์พุตที่ทำมุมกับแกนอ้างอิงเป็นดังนี้ 90, 45 และ 0 องศา ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าแนวของโพลาไรเซชันสามารถเปลี่ยนจากแนวที่ตั้งฉากไปสู่แนวระนาบได้เมื่อมีการคัปปลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7 ประโยชน์ของการสวิตชิ่งเส้นใยแก้วนำแสง

สำหรับประโยชน์ของการนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้ทำเป็นอุปกรณ์การสวิตช์ด้วยแสงนั้น เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายด้านด้วยกันแต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะในด้านการสื่อสาร และในด้านการตรวจวัด เท่านั้น โดยจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.7.1 ด้านการสื่อสาร

ทางด้านการสื่อสารนั้นเราสามารถนำการสวิตชิ่งเส้นใยแก้วนำแสงไปประยุกต์ใช้ได้หลายวิธีด้วยกัน เช่นนำไปเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของแสงทั้งแบบระบบการสื่อสารทางแสงแบบจุดต่อจุดหรือแบบระบบเครือข่าย ซึ่งจะทำให้สามารถสื่อสารด้วยปริมาณข้อมูลมากๆได้ และทำให้ความเร็วในการสื่อสารเพิ่มได้มากขึ้น อีกทั้งสามารถช่วยลดการใช้อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง จึงทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในระบบการสื่อสารได้มากยิ่งขึ้น โดยการเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของแสงนั้นจะอาศัยหลักการในการคัปปลิงลงบนเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแนวโพลาไรเซชัน ดังนั้นเราจึงสามารถทำการควบคุมเส้นทางการเดินทางของแสงได้ตามต้องการ หรืออาจจะใช้เป็นอุปกรณ์การสวิตช์ด้วยแสงแบบหลายความยาวคลื่น ซึ่งจะใช้แนวโพลาไรเซชันเป็นตัวกำหนดเส้นทางการเดินทางของแสงของแต่ละความยาวคลื่นได้ โดยสามารถนำไปใช้ในระบบการสื่อสารแบบหลายความยาวคลื่นได้

6.7.2 ด้านการตรวจวัด

สำหรับทางด้านการตรวจวัดนั้นเราสามารถนำหลักการในการคัปปลิงลงบนเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีการต่างๆนั้นนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณต่างๆได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น ใช้เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดปริมาณแรง ความดัน และอุณหภูมิ โดยใช้บริเวณที่ทำการคัปปลิงลงบนเส้นใยแก้วนำแสงเป็นบริเวณที่ใช้ในการตรวจวัดแล้วใช้หลักการของการเปลี่ยนแนวโพลาไรเซชันเป็นตัวบอกถึงปริมาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณต่างๆที่ทำการตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

สำหรับในบทนี้จะเป็นการกล่าวสรุปทั้งหมดที่ได้ทำการศึกษางานวิจัยนี้มา โดยจะรวมถึงปัญหาต่างๆที่ได้เกิดขึ้นในขณะการทำงานวิจัยนี้ และข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไปว่าควรมีแนวทางในการพัฒนาอย่างไรบ้าง ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆเรียงลำดับเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

7.1 บทสรุป

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารทางแสงขึ้นมากมาย เพื่อตอบสนองต่อความต้องการทางด้านการสื่อสารความเร็วสูง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถส่งข่าวสารข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก แสงนับเป็นตัวกลางหนึ่งที่มีความจุของการนำสัญญาณสูงและสามารถที่จะส่งสัญญาณได้เป็นระยะทางไกล ด้วยการส่งไปตามเส้นใยแก้วนำแสงตลอดจนมีความปลอดภัยและมีความเชื่อถือได้ของการส่งข่าวสารสูง ดังนั้นเทคโนโลยีของเส้นใยแก้วนำแสงได้ทวีบทบาทมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นเอง โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอรายละเอียดในการศึกษาวิธีการสวิตช์สัญญาณด้วยแสงโดยใช้เทคนิคการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันด้วยวิธีการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาอุปกรณ์ทางแสงที่สามารถใช้ในระบบการสื่อสารทางแสงได้ โดยใช้ทำเป็นอุปกรณ์สวิตช์ในระบบการสื่อสารทางแสงนั้นเอง

ระบบและอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในการศึกษาการสวิตช์ด้วยแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ด้วยวิธีการควบคุมการคัปปลิงโหมดโพลาไรเซชันนี้จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

- แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียมนีออน ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เลเซอร์ชนิดนี้เนื่องจากเลเซอร์ฮีเลียมนีออนมีความเสถียรทางแสงที่ออกมามาก และเป็นโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น และสิ่งที่สำคัญคือสามารถใช้สำหรับในการจัดระบบทางแสง ซึ่งได้ใช้กับระบบการทดลองนี้ด้วย
- แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอด ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกชนิดหนึ่ง เนื่องจากเลเซอร์ไดโอดเป็นที่นิยมใช้ในระบบการสื่อสารทางแสงและสามารถทำการมอดูเลตสัญญาณเข้ากับเลเซอร์ไดโอดได้โดยตรง จึงเป็นการสะดวกที่จะใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์ทางแสงที่ใช้ได้แก่ โพลาไรเซอร์ เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ และผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ โดยโพลาไรเซอร์นั้นจะใช้เพื่อทำให้แสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นมีความเป็นโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นได้สมบูรณ์ขึ้น ส่วนเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์นั้นจะใช้เป็นตัวกลางในการเดินทางของแสงและใช้ในการควบคุมสถานะโพลาไรเซชัน ซึ่งเนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มีคุณสมบัติในการรักษาสถานะทางโพลาไรเซชั่นของแสงได้ดีจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ และสำหรับผลึกรวมและแยกแสงโพลาไรซ์นั้นจะใช้ในการรวมและแยกแสงโพลาไรซ์ที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงและที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสง ตามลำดับ เพื่อส่งแสงต่อไปยังตัวรับแสงให้ทำการประมวลผลต่อไป
- อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ได้แก่ อุปกรณ์ประมวลสัญญาณทางแสงโดยใช้เปลี่ยนสัญญาณทางแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าหรือโฟโตไดโอดนั้นเอง โดยสัญญาณที่รับได้จะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่มาตกกระทบบนโฟโตไดโอดและสัญญาณที่ได้นี้ก็จะถูกนำไปประมวลผลทางไฟฟ้าเพื่อแสดงผลของสัญญาณที่รับได้

ปัจจัยที่เป็นผลต่อการศึกษาการสวิตช์ด้วยแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์ด้วยวิธีการควบคุมการคัปปลิงโหมดโพลาไรเซชันได้เป็นผลสำเร็จคือ

(1) การเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง และตัวรับสัญญาณแสงต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน

(2) การเลือกใช้ทัศนอุปกรณ์ให้เหมาะสม ตลอดจนการจัดเรียงชุดอุปกรณ์ทางแสงต่างๆ ในการทดลอง เพื่อให้สามารถทำการลอนช์แสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้อย่างสมบูรณ์ และให้แสงเอาต์พุตจากเส้นใยแก้วนำแสงมีค่าการสูญเสียน้อยที่สุด

(3) การประมวลสัญญาณแสงซึ่งแปลงจากสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้านั้น โดยการอ่านค่าจากออสซิลโลสโคปแล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์เพื่อพิจารณาผลที่ได้ โดยปัจจัยที่สำคัญสำหรับขั้นตอนนี้คือความเที่ยงตรงทั้งทางด้านเครื่องมือและตลอดจนผู้ทำการทดลองเองด้วย

จากการพิจารณาข้อมูลของผลการทดลองพบว่าการทดลองการสวิตช์ซึ่งด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสงนั้น เมื่อเพิ่มแรงที่กระตุ้นเส้นใยแก้วนำแสงมากยิ่งขึ้นก็จะทำให้ความเข้มแสงของช่องสัญญาณที่ 1 เพิ่มขึ้นไปด้วย และในขณะเดียวกันความเข้มแสงของช่องสัญญาณที่ 2 ก็จะลดลงตามไปด้วย(Coupling) นั้นคือได้เกิดการเปลี่ยนแนวของการโพลาไรซ์ของแสงจากแนวที่ตั้งฉากไปสู่แนวระนาบ โดยเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโบว์-ไท จะมีการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุด ส่วนเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวนั้นมีแนวโน้มที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้น้อยมาก อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มแรงกระตุ้นที่มากขึ้นเรื่อยๆอาจจะทำให้เกิดการเสียหายแก่เส้นใยแก้วนำแสงได้ ดังนั้นเส้นใยแก้วนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงชนิดโบว์-ไท จึงมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาทำเป็นอุปกรณ์ในการสวิตชิ่งได้ดีที่สุด สำหรับผลการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสงนั้นพบว่า จะต้องใช้แรงจำนวนหนึ่งมาทำการกระตุ้นพร้อมกับการให้ความร้อนด้วย(Biased) จึงจะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงของแนวโพลาไรซ์ของแสงได้ และสำหรับผลการทดลองการสวิตชิ่งด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสงนั้นพบว่าที่ความถี่ 200 เฮิรตซ์ จะสามารถทำให้เกิดการสวิตชิ่งได้ดีที่สุด(กำทอน)แต่การสวิตชิ่งที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามคาบเวลาของความถี่ที่ทำการคัปปลิง ส่วนผลการทดลองการสวิตชิ่งแบบสองความยาวคลื่นนั้นพบว่าสัญญาณของความยาวคลื่นที่ 1 และ 2 สามารถเกิดการสวิตชิ่งขึ้นได้เมื่อทำการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสง โดยสัญญาณรูปไซน์จากช่องสัญญาณที่ 1 จะสามารถสลับไปที่ช่องสัญญาณที่ 2 ได้ และในทำนองเดียวกันสัญญาณสแควร์เวฟจากช่องสัญญาณที่ 2 ก็จะสามารถสลับไปที่ช่องสัญญาณที่ 1 ได้เช่นกัน ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเราสามารถที่จะนำเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไบร์ฟรินเจนซ์มาทำเป็นอุปรณ์สวิตชิ่งทางแสงได้

7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหลักการและการออกแบบเครื่องมือทางแสงที่ใช้ในระบบการสื่อสารทางแสงซึ่งจะต้องนำอุปกรณ์ทางแสงที่สามารถจัดหาได้มาทำการประกอบขึ้นเป็นชุดทดลองต้นแบบ ดังนั้นปัญหาที่พบในส่วนนี้คือราคาของอุปกรณ์ทางแสงเองมีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารทางแสงเองยังเป็นเทคโนโลยีที่มีกลุ่มในการศึกษาในประเทศไทยค่อนข้างน้อยและเป็นที่ไม่ค่อยรู้จักในหมู่คนทั่วไป จึงทำให้อุปกรณ์หลายชนิดไม่ได้ทำการผลิตภายในประเทศจึงต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งเป็นผลให้ราคาของอุปกรณ์มีราคาค่อนข้างสูงกว่าปกติ นอกจากนี้ยังประสบปัญหาทางด้านการจัดเรียงชุดอุปกรณ์เพื่อทำการลอนช์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องมีความสามารถในการปรับได้อย่างละเอียด โดยการปรับได้ทั้ง 3 มิติ และจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง และปัญหาที่เกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิโดยรอบของระบบการทดลองให้มีค่าคงที่ที่สุดเพราะจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวของโพลาไรเซชันในเส้นใยแก้วนำแสงด้วย

นอกจากปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นยังมีปัญหาที่เกี่ยวกับด้านการตรวจวัดกำลังของแสงด้วย คือกำลังของแสงที่วัดได้ในแต่ละครั้งมักจะเกิดการคาดเคลื่อนอยู่เสมอ โดยในการทดลองแต่ละครั้งจะได้ผลของความเข้มแสงไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงใช้วิธีในการแก้ปัญหาโดยการพิจารณาในเทอมของความเข้มแสงเปรียบเทียบ(หมายถึงอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างความเข้มแสงเอาต์พุตกับความเข้มแสงอินพุตที่ได้จากการทดลองแต่ละครั้งหรือนอร์แมลไลซ์) และจะต้องทำการทดลองซ้ำกันหลายๆครั้ง แล้วนำผลที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ยของกำลังแสงที่รับได้ นอกจากนี้ก็จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดพลาดทางด้านเครื่องมือที่มีความละเอียดไม่เพียงพอ และอาจจะเป็นปัญหามาจากผู้ทำการวิจัยเองที่ทำการอ่านข้อมูลจากเครื่องมือวัดคลาดเคลื่อนไปเป็นต้น

7.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

สำหรับแนวทางในการพัฒนาต่อไปของงานวิจัยนี้คือ เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงทฤษฎี และหลักการของการเปลี่ยนแนวโพลาไรซ์ของแสงด้วยวิธีการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งจะต้องนำไปพัฒนาให้สามารถนำมาทำเป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งทางแสงได้จริง ดังนั้นถ้าทำการพัฒนาวิธีการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสงให้สามารถควบคุมได้ง่ายและมีขนาดเล็กลง เช่น ใช้สนามไฟฟ้าทำให้ค่าไบร์ฟรินเจนซ์ของเส้นใยแก้วนำแสงเปลี่นแปลงก็จะสามารถควบคุมการเปลี่ยนแนวโพลาไรซ์ของแสงได้ หรือนำไปพัฒนาให้สามารถทำการสวิตชิ่งสัญญาณแสงได้หลายๆความยาวคลื่นก็จะสามารถทำให้สื่อสารข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น หรือนำไปพัฒนาเป็นการสวิตชิ่งสำหรับการเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอลที่เรียกว่า โอทีดีเอ็ม(Optical Time Division Multiplexing, OTDM) เป็นต้น ก็จะทำให้สามารถนำอุปกรณ์สวิตชิ่งทางแสงไปใช้งานได้จริง นอกจากนี้สำหรับการพัฒนาต่อไปควรที่จะทำการศึกษาถึงวิธีการควบคุมการคัปปลิงเส้นใยแก้วนำแสงให้มีความละเอียดมากขึ้นและผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากวิธีการคัปปลิงแบบต่างๆที่มีต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยว่าจะทำให้คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] J.E. Midwinter, **Photonics in Switching**, 1993,New York, Academic Press Inc.

[2] N. Kashima, **Passive Optical Components for Optical Fiber Transmission**, 1995, London, Artech House Inc.

[3] R. Ulrich, **Polarization Stabilization on Single-Mode Fiber**, Appl. Phys. Lett., Vol. 35, No. 11, 1979. pp. 840-842.

[4] S. Yamazaki, T. Ono, H. Shimizu and K. Emura, **A Bidirectional Common Polarization Control Method for Coherent Optical FDM Transmission System**, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 2, No. 2, 1990, pp. 135-138.

[5] Y. Katsuyama, T. Satake, Y. Fukasaku, and T. Yoshizawa, **Demonstration of Simultaneous FDM Signal Switching by Polarization-Controlled Switch for Survivable Fiber Networks**, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 4, No. 1, 1992, pp. 88-91.

[6] P.V.P. Yupapin, **Optical Pressure Sensors Using Interferometric Techniques**, (A thesis Submitted to City University for the Degree of Docter of Philosophy, 1993.)

[7] E. Hecht, **Optics**, 1987, New York, Addison-Wesley Publishing Company, inc.

[8] M. Tischler, **Fiber Optics and Lasers**, 1992, Ohio, Glencoe.

[9] T.H. Ebben, D.L. Begley, R.G. Marshalek, **High-Data-Rate Laser Diode Transmitter**, Optical Engineering, Vol. 34, No. 3, 1995, pp. 853-859.

[10] J.E. Midwinter, **Optical Fiber Communications**, Second edition, 1992, Prentice Hall International(UK) Ltd.

[11] J. Noda, K. Okamoto and Y. Sasai, **Polarization Maintaining Fibers and Their Applications**, Journal of Lightwave Technology, Vol. 4, 1986, pp. 1071-1089.

[12] J.J. Pan and Y. Shi, **Polarizing Beamsplitter Trims Noise in EDFAs**, Laser Focus World, 1996, pp. 93-99.

[13] K. Kikushima and K. Suto, **Polarization Dependent Distortion in AM-SCM Video Transmission Systems**, Journal of Lightwave Technology, Vol. 12, No. 4, 1994, pp. 650-657.

[14] P.E. Green, Jr, **Fiber Optic Networks**, 1993, New York, Prentice Hall.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] G. Keiser, **Optical Communications**, 1991, Singapore, McGraw-Hill.

[16] J. Zhang, V. A. Handerek, I. Cokgor, V. Pantelic, and A. J. Rogers, **Distributed Sensing of Polarization Mode Coupling in High Birefringence Optical Fibers Using Intense Arbitrarily Polarized Coherent Light**, Journal of Lightwave Technology, Vol. 15, No. 5, 1997, pp. 794-802.

[17] C. Tsao, **Optical Fibre Waveguide Analysis**, 1992, New York, Published in the United States by Oxford University Press.

[18] L. A. Buckman, L. P. Chen and K. Y. Lau, **Crosstalk Penalty in All-Optical Distributed Switching Networks**, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 9, No. 2, 1997, pp. 250-252.

[19] E. Udd, **Fiber Optic Sensors**, 1991, New York, John Wiley & Sons Inc.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียมนีออนที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะต้องคำนึงถึงความเข้มของแสงที่จะต้องมีกำลังที่เหมาะสมเพื่อสามารถที่จะใช้งานในงานวิจัยนี้ได้ ความยาวของคลื่นแสงที่ให้ออกมา และมีความเป็นโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นของแสงที่เหมาะสม รวมถึงเสถียรภาพในการใช้งานต้องดีพอสมควร ซึ่งข้อมูลต่างๆของเลเซอร์ฮีเลียมนีออนที่ใช้มีดังนี้

Uniphase รุ่น 155SL

Laser Type:	Helium Neon
Wavelength:	632.8 nm
Output Power:	0.95 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอดที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะต้องคำนึงถึงความเข้มของแสงที่จะต้องมีกำลังที่เหมาะสมเพื่อสามารถที่จะใช้งานในงานวิจัยนี้ได้ ความยาวของคลื่นแสงที่ให้ออกมา และช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานจะต้องมีช่วงที่กว้าง รวมถึงเสถียรภาพในการใช้งานต้องดีพอสมควร และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งข้อมูลต่างๆของเลเซอร์ไดโอดที่ใช้มีดังนี้

Laser Type:	Laser Diode
Wavelength:	670 nm
Output Power:	3 mW
Supply Voltage:	-8 to –12 V
Supply Current:	25-50 mA
Divergence(Full Angle):	<0.5 m rad.
Spot Size(Standard Types):	100 mm
Case(Front Cell):	5 m rad.
MTTF@30°C:	20,000 hrs
Operation Temperratur Range:	-10°C to +40°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

อุปกรณ์รับแสง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้พินโฟโตไดโอดสำหรับงานวิจัยนี้จะต้องคำนึงถึงช่วงความยาวคลื่นที่ตอบสนองต่อพินโฟโตไดโอดที่มีความสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดแสงที่นำมาใช้งาน ความไวในการตอบสนองต่อสัญญาณทางแสงต้องมีการตอบสนองต่อสัญญาณทางแสงที่เข้ามาอย่างรวดเร็ว และช่วงอุณหภูมิที่ต้องใช้งานจะต้องอยู่ในช่วงที่กว้าง ซึ่งรายละเอียดทางเทคนิคสามารถแสดงได้ดังนี้

50 MHz PIN Diode	
Peak Spectral Response(typ):	850 nm
Peak Responsivity 850 nm:	0-58 A/W
Dark Current(max):	2 nA
Capacitance:	2.1 pF
Reverse Breakdown Voltage(typ):	250 V
Rise/Fall Time(5V):	17 ns
(90V):	1 ns
Operating Temperature:	-40°C to +100°C

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

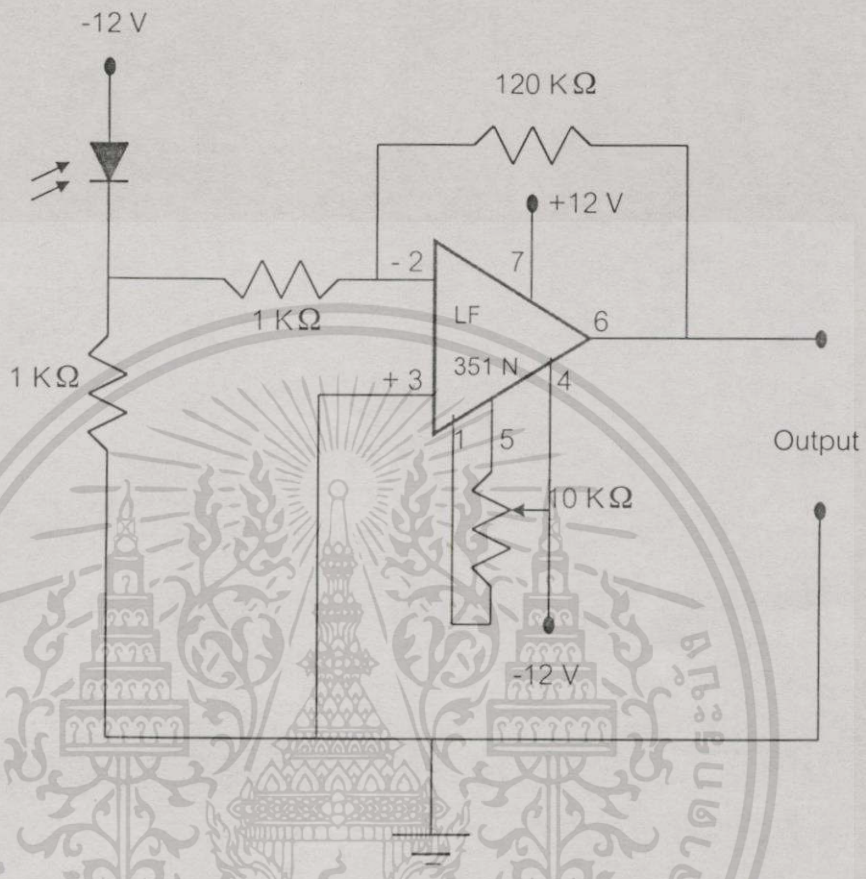


ภาคผนวก ง.

วงจรรับสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือวงจรรับสัญญาณแสง ซึ่งมีรายละเอียดของวงจรดังนี้



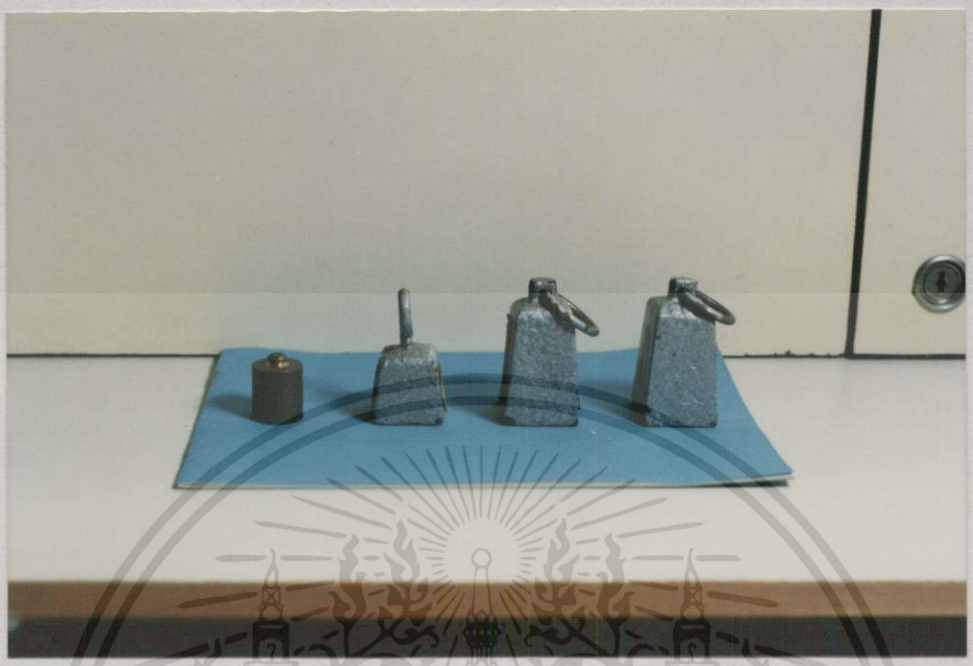
รูปที่ ง -1 แสดงวงจรรับสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

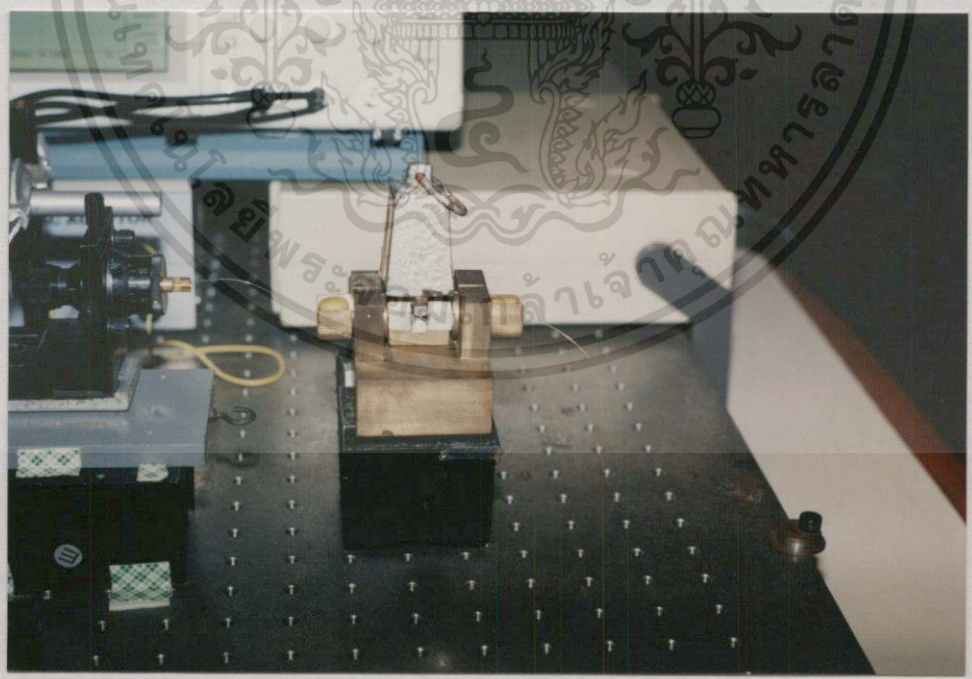
ภาคผนวก จ.

รูปแสดงอุปกรณ์ทดลองเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

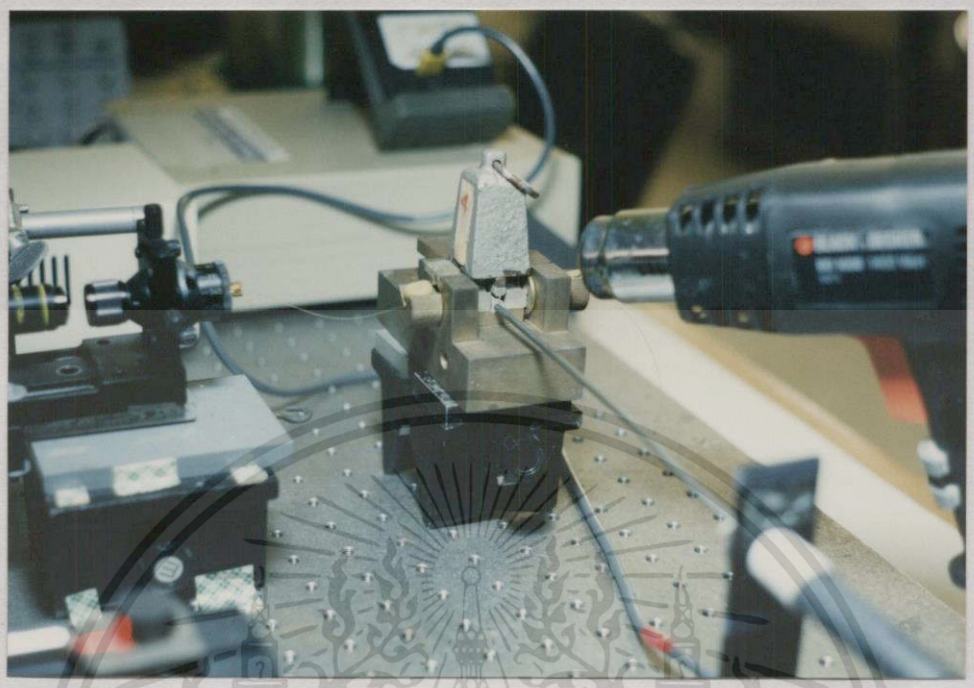


รูปที่ จ – 1 แสดงมวลที่ใช้ในการคัปปลิง

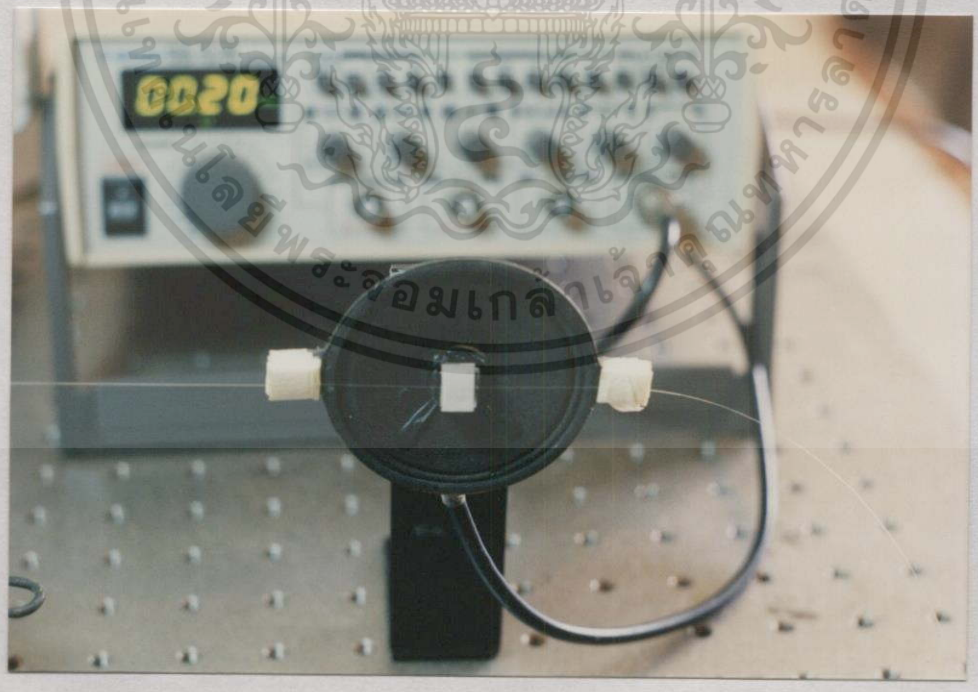


รูปที่ จ – 2 แสดงการคัปปลิงด้วยวิธีการกดเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ – 3 แสดงการคัปปลิงด้วยวิธีการให้ความร้อนกับเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ จ – 4 แสดงการคัปปลิงด้วยวิธีการยืดเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย ธนะศักดิ์ พิพัฒนภิวงศ์ เกิดวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2515 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 2 สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2538 และได้เข้าทำงานในตำแหน่ง วิศวกร ของบริษัท SIEMENS จำกัด ต่อจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2541

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้