

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์แปลงสัญญาณใยแก้วนำแสง - โคแอกเชียล



๑๗. นางสาวธูอนงค์ กงตะโก  
๖๖๓๖๑ นายสภัทร์พร ไทยตรง  
๒๕๓๙

เลขหมู่.....  
ลงทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

๖๑๕๒๑๐๕

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา ๒๕๓๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FIBER OPTIC - COAXIAL SIGNAL CONVERSION SYSTEM



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

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ อุปกรณ์แปลงสัญญาณใยแก้วนำแสง - โคแอกซ์

โดย นางสาวณัฐอนงค์ คงตะโก

นายสภัทร์พร ไทยตรง

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ปรีชา ยูพาพิน

รศ. สุวรรณ กุสุราญ


ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นำโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



( รศ. สุรพล รักวิชัย )

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



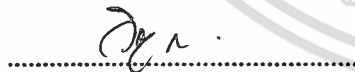
( ผศ.ดร. ปรีชา ยูพาพิน )

ประธานกรรมการ



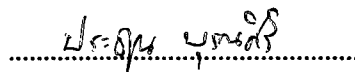
( รศ. สุวรรณ กุสุราญ )

กรรมการ



( อ. วิชาญ เตชิตธีระ )

กรรมการ



( อ. ประธาน บุณศิริ )

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ    อุปกรณ์แปลงสัญญาณใยแก้วนำแสง - โคนแอกซ์  
 โดย                               นางสาวณัฐอนงค์ คงตะโก  
                                       นายสภินทร์พร               ไทยตรง  
 อาจารย์ที่ปรึกษา        ผศ.ดร. ปรีชา    บุพาพิน  
                                       รศ. สุวรรณ    คูสำราญ  
 ภาควิชา                     ฟิสิกส์ประยุกต์  
 ปีการศึกษา                2539

### บทคัดย่อ

อุปกรณ์แปลงสัญญาณใยแก้วนำแสง - โคนแอกซ์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณทางแสงและสัญญาณทางไฟฟ้า สำหรับโครงการพิเศษนี้ได้ออกแบบวงจรที่ใช้กับการแปลงสัญญาณที่มีความถี่ในย่านความถี่สูง ซึ่งในอุปกรณ์นี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณทางแสงโดยใช้ LED เป็นตัวส่งสัญญาณ และส่วนที่แปลงสัญญาณทางแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยใช้ Photodiode ซึ่งทั้งสองวงจรทำงานคนละส่วนกัน ผลการทดลองที่ได้สามารถแปลงสัญญาณทางแสงและทางไฟฟ้าที่ความถี่ 25 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title** Fiber Optic - Coaxial Signal Conversion System

**Name** Miss Nat-anong Khongtako

Mr. Sapatporn Thaitrong

**Special Project Adviser** Asst. Prof. Dr. Preecha Yupapin

Assoc. Prof. Suwan Kusamran

**Department** Applied Physics

**Academic Year** 1996

### Abstract

Fiber Optic - Coaxial Signal Conversion System is a system that can converse between electric and optical signals. In this special project , the circuits are designed for high frequency converting signals . The system is consisted of 2 parts , the electrical to optical signal conversion used LED for emitter and other one is the optical to electrical signal conversion that used photodiode for detection . But both of them are separated to detected , and it can transmit maximum frequency up to 25 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ได้รับความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือทางด้านต่างๆจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ปรีชา ยูพาพิน และ รศ. สุวรรณ คูสำราญ ขอขอบคุณ พ่อและแม่ที่ให้กำเนิดลูกที่ฉลาดหลักแหลม และเลี้ยงดูเป็นอย่างดีมาตลอด ขอขอบคุณ ผศ. อนุพงษ์ สรงประภา ที่ให้ยืมอุปกรณ์ในการทดลอง ขอขอบคุณ พี่ปรเมศร์ เป็นอย่างมากที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือด้านต่างๆ ขอขอบคุณ พี่ ๆ ห้อง optoelectronics ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ขอขอบคุณ บริษัท RS ที่มีอุปกรณ์ให้ทดลอง (แต่แพงไปหน่อย) ขอขอบคุณ โชตชะตาที่ทำให้ Project สำเร็จไปด้วยดี ขอขอบคุณ ทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องในชีวิตการเรียนมาตลอด 4 ปีนี้ และคอยช่วยเหลือในสิ่งต่างๆด้วยความจริงใจ เสมอมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญญัตราวาง	ณ
สารบัญญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน	
2.1 รูปแบบของแสง	7
2.2 คุณสมบัติของแสง	8
2.3 เส้นโยนำแสง	12
2.4 ชนิดของเส้นโยนำแสง	16
2.5 โครงสร้างของเส้นโยนำแสง	19
2.6 คุณสมบัติของเส้นโยนำแสง	24
2.7 อุปกรณ์กำเนิดแสง	35
2.8 แหล่งกำเนิดแสง (Light Sources)	41
2.9 อุปกรณ์รับแสง	46
บทที่ 3 การออกแบบวงจร	
3.1 วงจรส่งสัญญาณแสง	53
3.1.1 วงจรขยายสัญญาณ (amplifier)	53
3.1.2 วงจรขับสัญญาณ (driver)	58
3.2 วงจรรับสัญญาณ	63
3.3 วงจรที่ใช้ในโครงการ	65
3.3.1 วงจรขับสัญญาณ	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

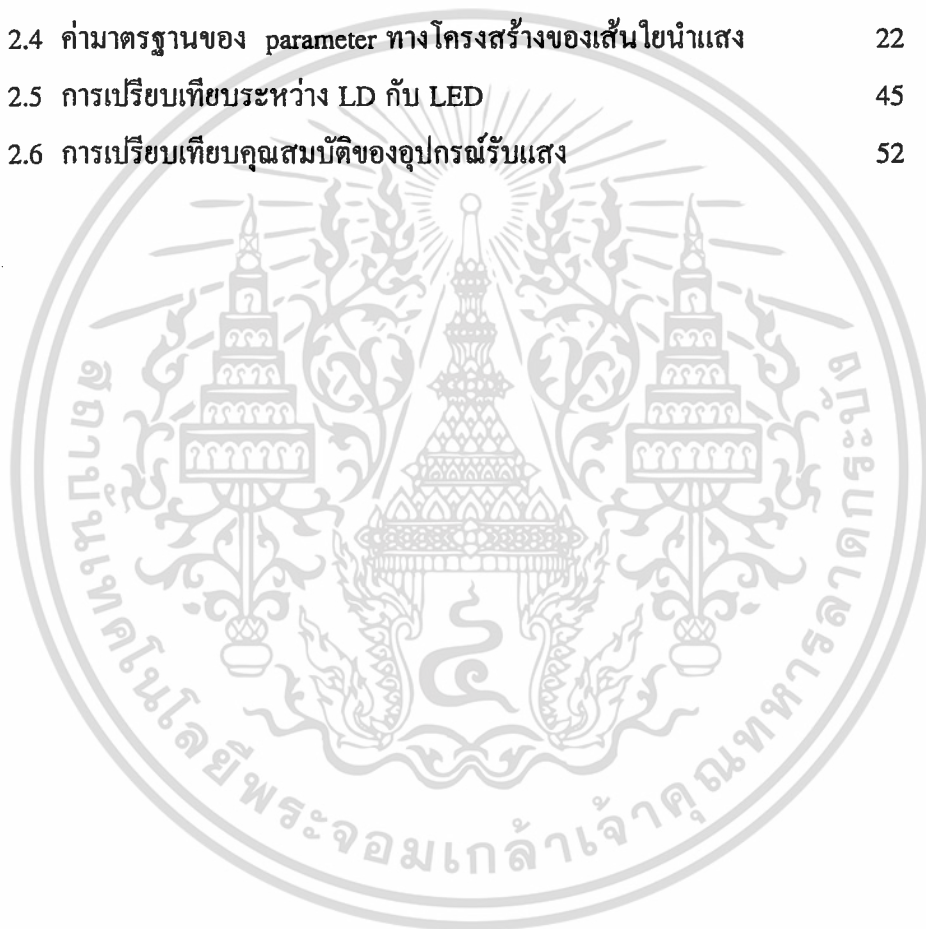
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 วงจรรับสัญญาณ	67
บทที่ 4 ผลการทดลอง	68
บทที่ 5 สรุปผล	71
ภาคผนวก เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางต่าง ๆ	9
ตารางที่ 2.2 Numerical Aperture	15
ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสง	16
ตารางที่ 2.4 ค่ามาตรฐานของ parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสง	22
ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบระหว่าง LD กับ LED	45
ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง	3
รูปที่ 1.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติการส่งของสายเคเบิลโลหะกับเคเบิลเส้นใยนำแสง	4
รูปที่ 1.3 ข้อดีต่างๆ ของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง	6
รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum)	8
รูปที่ 2.2 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง	10
รูปที่ 2.3 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง	11
รูปที่ 2.4 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง	13
รูปที่ 2.5 Acceptance Cone Half Angle	14
รูปที่ 2.6 แสดงผลของ NA และขนาดของ core ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง	15
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน core ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิด	18
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI Fiber	19
รูปที่ 2.9 แสดง parameter ทางโครงสร้างของ Multi Mode Optic Fiber	20
รูปที่ 2.10 แสดงแผนผังคุณสมบัติต่างๆของ Parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสง	21
รูปที่ 2.11 แสดงเส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field	22
รูปที่ 2.12 แสดงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง	25
รูปที่ 2.13 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดแสงของเส้นใยนำแสงที่ทำด้วยแก้ว	26
รูปที่ 2.14 แสดง Scattering ของแสงในบรรยากาศ	28
รูปที่ 2.15 แสดงสาเหตุต่างๆของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง	30
รูปที่ 2.16 แสดงการเกิด Dispersion ของเส้นใยนำแสง	34
รูปที่ 2.17 แสดงขนาดความกว้าง Bandwidth ของการส่งของเส้นใยนำแสง	35

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.18 แผนผังของแถบพลังงาน (Energy Band)	36
รูปที่ 2.19 แถบพลังงานผู้ให้	38
รูปที่ 2.20 แถบพลังงานผู้รับ	39
รูปที่ 2.21 Photon Absorption	40
รูปที่ 2.22 Spontaneous Emission	40
รูปที่ 2.23 Stimulated Emission	41
รูปที่ 2.24 Surface Emitting LED	42
รูปที่ 2.25 Edge Emitting LED	42
รูปที่ 2.26 Gain - Guided Double - Heterostructure LASER	43
รูปที่ 2.27 Index - Guided Buried Heterostructure (BH) LASER	44
รูปที่ 2.28 แสดง Depletion Zone	47
รูปที่ 2.29 แสดงความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด	48
รูปที่ 2.30 แสดงหลักการทํางานรับแสงและระดับพลังงานของ p-i-n PD	49
รูปที่ 2.31 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และ Photo Current	51
รูปที่ 3.1 Operational Amplifier	53
รูปที่ 3.2 Operational Amplifier	54
รูปที่ 3.3 วงจรขยายกลับเฟส (Inverting Amplifier)	54
รูปที่ 3.4 วงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)	55
รูปที่ 3.5 วงจรขยายรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)	56
รูปที่ 3.6 กราฟการตอบสนองต่อความถี่ของออปแอมป์	56
รูปที่ 3.7 กราฟการทํางานของ LED	58
รูปที่ 3.8 ลักษณะของ ac Modulation	59
รูปที่ 3.9 LED driver amplifier	59
รูปที่ 3.10 LED driver and preamplifier	60
รูปที่ 3.11 LED modulator	60
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงการทํางานของ LD (เลเซอร์ไดโอด)	61
รูปที่ 3.13 วงจรจ่ายกระแสคงที่	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.14 Modulating circuit	62
รูปที่ 3.15 วงจร current-to-voltage	64
รูปที่ 3.16 amplifier	65
รูปที่ 3.17 วงจรขับสัญญาณ	65
รูปที่ 3.18 วงจรรับสัญญาณ	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญ/ที่มาของโครงการ

เนื่องจากว่าปัจจุบันการสื่อสารทางแสงได้มีบทบาทอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าการสื่อสารทางแสงนั้นเราสามารถส่งข้อมูลได้จำนวนมาก ๆ เป็นระยะทางไกล ๆ และการส่งข้อมูลด้วยสัญญาณทางแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเป็นไปอย่างรวดเร็ว ในการรับสัญญาณทางแสงนี้จะมีควมคมชัดมากเพราะว่าแสงจะถูกส่งและเดินทางภายในเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งสามารถป้องกันการรบกวนจากสัญญาณต่าง ๆ จากภายนอกได้ และมีการสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นก็น้อยมาก นอกจากนี้ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสงนี้ก็คือ มีขนาดเล็กทำให้สูญเสียพื้นที่ในการติดตั้งน้อยซึ่งทำให้สามารถนำเส้นใยแก้วนำแสงเหล่านี้ไปใช้ในการส่งข้อมูลไปยังจุดต่าง ๆ ตามที่ต้องการ โดยการแปลงสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งเป็นสัญญาณทางแสงแล้วส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ณ จุดหมายปลายทางได้รับสัญญาณทางแสงแล้วก็สามารถนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ส่งมาในรูปของแสงมาแสดงผลได้ตามต้องการด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ แต่เครื่องมือที่เราใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นไม่สามารถนำข้อมูลที่ส่งมาในรูปของแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงนี้มาใช้ได้ทันที เพราะฉะนั้นโครงการนี้จึงทำการสร้างอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนสัญญาณทางแสงมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะนำไปใช้ต่อกับเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ในขณะที่เดียวกันก็สามารถแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณทางแสงได้ด้วย นั่นก็คือเมื่อต้องการที่จะทำการส่งข้อมูลไปยังที่ต่าง ๆ ด้วยสัญญาณทางแสงที่จะให้มีการสูญเสียที่เกิดจากการส่งข้อมูลมีค่าน้อย ส่งได้เร็ว และสามารถส่งข้อมูลได้มาก ๆ ก็สามารถนำสัญญาณข้อมูลนี้มาแปลงเป็นสัญญาณทางแสงโดยใช้อุปกรณ์ที่จะทำการสร้างขั้นนี้

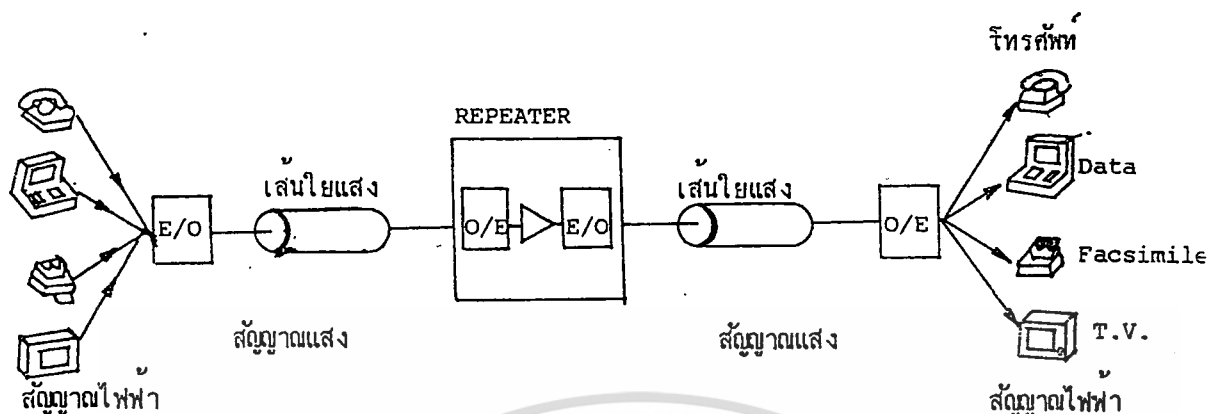
## 1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยแก้วนำแสง
2. เพื่อศึกษาการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง
3. เพื่อศึกษาการ drive LED ที่เป็นต้นกำเนิดของแสง
4. เพื่อศึกษาการ detect สัญญาณแสง
5. เพื่อศึกษาการแปลงสัญญาณทางแสงมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้ามาเป็นสัญญาณทางแสง
6. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรรขยายสัญญาณที่ความถี่สูง
7. เพื่อที่จะทำการส่งข้อมูลหรือรับข้อมูลต่าง ๆ โดยทางแสงได้

## 1.3 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง แสดงดังรูปที่ 1.1 โดยทั่วไปแล้วสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งจากอุปกรณ์ปลาย (Terminal Equipment) ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูล (Data Terminal) โทรสาร (Facsimile) เป็นต้น จะถูกอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง (E/O Convertor) เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแสง (นั่นคือความแรงของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นความเข้มของแสงหรือ “1” “0” ของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นแสงที่สว่าง มืด) และส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง สัญญาณที่เดินทางในเส้นใยนำแสงนั้นกำลังของมันจะอ่อนลง เมื่อเดินทางในระยะทางที่เพิ่มขึ้นพร้อมทั้งรูปคลื่นก็ขยายกว้างออกไปด้วย เมื่อไปถึงอุปกรณ์เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า (O/E Convertor) ของทางด้านรับสัญญาณ แสงที่ส่งมาจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งไปยังอุปกรณ์ปลาย เพื่อทำการเปลี่ยนกลับคืนให้เป็นสัญญาณของโทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูล โทรภาพ และอื่น ๆ

อนึ่งอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงนั้นทำได้ โดยใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงได้แก่ LED, Semiconductor Laser ส่วนอุปกรณ์เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้านั้นทำได้โดยใช้ไดโอดแสง (Photo Diode) ทรานซิสเตอร์แสง (Photo Transistor) นอกจากนั้นกรณีที่ระยะทางของสายส่งยาวอาจจำเป็นต้องติดตั้งตัวทวนสัญญาณ (Repeater) ตรงกึ่งกลางของสายส่งตัวทวนสัญญาณนี้ จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงที่เข้ามาให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการขยายแล้วเปลี่ยนกลับให้เป็นสัญญาณแสงอีกและส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง



รูปที่ 1.1 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

#### 1.4 คุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ ของการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารที่ใช้สายเคเบิล ทำด้วยโลหะ (Metalic Cable) แล้วมีข้อดีต่าง ๆ ที่เกิดจากคุณสมบัติพิเศษของเส้นใยนำแสง อุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง ดังนี้

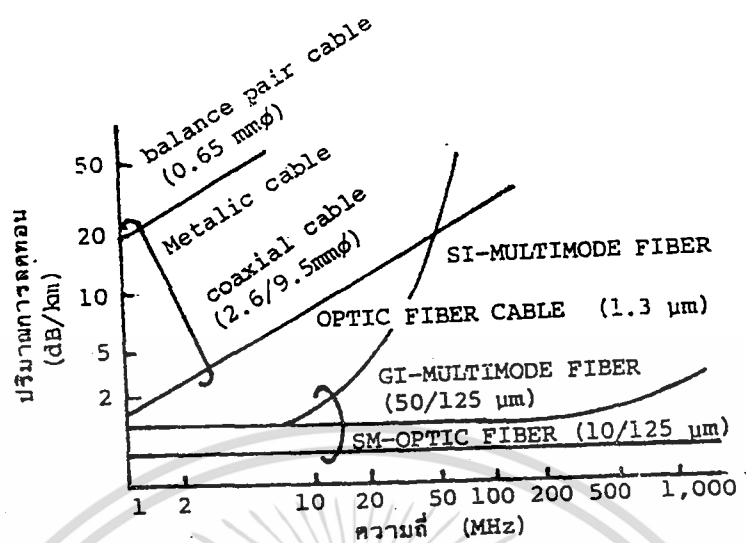
คุณสมบัติพิเศษของเส้นใยนำแสง

1. การสูญเสียของแสงต่ำ เส้นใยนำแสงเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเคเบิลโลหะที่ทำด้วยทองแดง เคเบิลแกนร่วม (Coaxial Cable) ใดๆอย่างหนึ่งแล้วปรากฏว่ามีการสูญเสีย (Loss) ต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 1.2

2. Bandwidth กว้าง เส้นใยนำแสงมี Bandwidth กว้างซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยนำแสงด้วย แต่จากรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเคเบิลแกนร่วมแล้วสามารถส่งสัญญาณที่มีความถี่สูงมากกว่า

3. ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เส้นใยนำแสงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางที่ใช้ส่งอย่างอื่นแล้ว มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เช่น เคเบิลเส้นใยนำแสงขนาด 18 เส้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ Coaxial Cable ขนาด 18 เส้นเหมือนกันแล้วปรากฏว่ามีพื้นที่หน้าตัดประมาณ  $1/30$  มีน้ำหนักเป็น  $1/20$  ดังนั้นถ้าหากเส้นใยนำแสงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกเท่ากับ Metalic Cable แล้วนอกจากจะสามารถบรรจุเส้นใยนำแสงได้จำนวนมากแล้ว ยังให้ความสะดวกในการวางสายเคเบิลด้วยเพราะว่ามีน้ำหนักเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติการส่งของ สายเคเบิลโลหะกับ เคเบิลเส้นใยนำแสง

4. ไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Noninduction) แก้วพวก Silica และอื่น ๆ จะไม่ยอมให้ไฟฟ้าผ่าน ดังนั้นจึงไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก (เช่น สายไฟแรงสูง คลื่นของโทรทัศน์ คลื่นวิทยุ เป็นต้น) จึงมีข้อดีในการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ที่ต้องการความปลอดภัยจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า

5. ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ Silica ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเส้นใยนำแสง เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งทรัพยากรทองแดงที่สำคัญแล้วมีปัญหาเล็กน้อย นอกจากนั้นยังมีข้อดีคือ สามารถผลิตเส้นใยนำแสงได้ยาวมากโดยที่ใช้วัตถุดิบน้อย

### 1.5 คุณสมบัติพิเศษของอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง

1. เนื่องจากสามารถทำการผสมคลื่นด้วยความเร็วสูงจึงสามารถส่งสัญญาณที่มีความเร็วสูงและ Bandwidth กว้าง
2. มีขนาดเล็ก นอกจากนั้นยังมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงได้ดี
3. มีกำลังเอาต์พุต (output power) มาก นอกจากนั้นเนื่องจากสามารถรักษาคุณสมบัติการส่งที่ต้องการได้แม้กำลังแสงที่รับได้มีค่าน้อยก็ตาม จึงทำให้สามารถได้การสูญเสียที่ยอมรับได้ระหว่างอุปกรณ์กำเนิดแสงกับอุปกรณ์รับแสงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้น โดยการผสมของเส้นใยนำแสงที่มีการสูญเสียค่า Bandwidth กว้าง อุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงที่มี เอทพุทสูงและความไวสูง ทำให้สามารถเพิ่มระยะทางของตัวทวนสัญญาณของสายส่งได้มากขึ้นจากหลายกิโลเมตรเป็นหลายสิบกิโลเมตร ด้วยเหตุนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารที่ใช้สายเคเบิลโลหะแล้วจะสามารถลดจำนวนของตัวทวนสัญญาณได้เป็นจำนวนมากหรือสามารถเชื่อมต่อระหว่างชุมสายโทรศัพท์ได้โดยไม่ต้องใช้ตัวทวนสัญญาณ นอกจากนี้จะทำให้เกิดความประหยัดในระบบการสื่อสารและมีความเชื่อถือได้ (Reliability) สูงแล้ว ยังทำการก่อสร้างและบำรุงรักษาได้ง่ายด้วย ยิ่งกว่านั้นสำหรับ Image Service ต่าง ๆ ที่มีความต้องการเพิ่มมากขึ้นในอนาคตก็สามารถส่งสัญญาณจำนวนหลาย ๆ สัญญาณไปบนตัวกลางหรือสายส่งเส้นเดียวที่เรียกการ มัลติเพล็กซ์ ทำให้สามารถให้บริการที่มีราคาถูกลงได้

นอกจากเส้นใยนำแสงที่มีช่องกว้างของการส่งกว้างแล้ว ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงยังสามารถทำการส่งแบบ มัลติเพล็กซ์ ซึ่งทำการส่งแสงความยาวคลื่นต่างกันจำนวนมากในเวลาเดียวกัน โดยใช้เส้นใยนำแสงเส้นเดียวได้ (Wavelength Multiplex) ทำให้สามารถใช้เป็นสายส่งที่มีความจุ (Capacity) ของสัญญาณจำนวนมากได้

อนึ่งการที่เส้นใยนำแสงมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ทำให้สามารถเพิ่มค่า Space Factor ของระยะห่างในการวางสายเคเบิลให้สูงขึ้นได้ นอกจากนี้การวางสายและบำรุงรักษาได้ง่ายแล้วยังช่วยทำให้เกิดความประหยัดในข่ายสายการสื่อสารอีกด้วย นอกจากนี้จากคุณสมบัติ Non induction การไม่เหนี่ยวนำของเส้นใยนำแสงทำให้ไม่ต้องแยกเส้นใยนำแสงออกจากอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นระยะทางมาก ๆ ยิ่งกว่านั้นยังให้ความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน และมีเสถียรภาพ (Stability) คุณสมบัติการสื่อสาร จากข้อดีจำนวนมากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นำมาสรุปเป็นข้อดีต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงได้ดังรูปที่ 1.3

## 1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. วางแผนการดำเนินงาน โครงการพิเศษ
2. ศึกษาการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง
3. ศึกษาค้นคว้าและทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติและหลักการทำงานของวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำโครงการงาน เช่น
  - วงจร drive LED และวงจร detect สัญญาณแสงที่ตอบสนองต่อย่านความถี่สูง
  - วงจรขยายสัญญาณที่ความถี่สูง
4. ทำการออกแบบวงจรและเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมสำหรับใช้ในโครงการงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการทดลองวงจร
6. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 1.3 ข้อดีต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

เนื่องจากการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้น จะมีแสงเป็นตัวนำข้อมูลจากจุดส่งไปยังจุดรับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงคุณสมบัติพื้นฐานของแสง การเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง และ ทฤษฎีการทำงานของอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง

#### 2.1 รูปแบบของแสง

แสงสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

##### 1. แสงขาว (White Light)

เป็นแสงที่เกิดจากการรวมตัวของแสงสีต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดเป็นแสงสีขาว เช่น แสงแดด ซึ่งแสงแต่ละสีจะมีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน

##### 2. แสงโมโนโครม (Monochrome Light)

เป็นแสงที่มีสีเดียวหรือความยาวคลื่นเดียว ที่ประกอบไปด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจำนวนมากเคลื่อนที่ไปในหลายทิศทาง ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละทิศทางนี้จะมีค่าความถี่เดียวกันแต่ต่างเฟสกัน (Out of Phase)

##### 3. แสงโคฮีเรนต์ (Coherent Light)

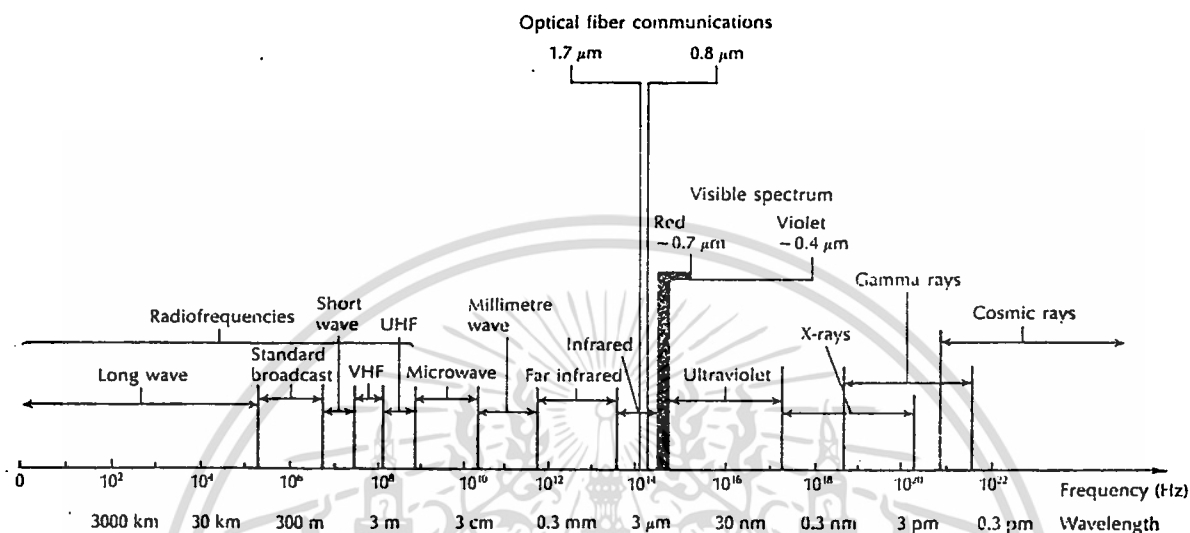
เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวและมีเฟสตรงกัน (Inphase) แสงชนิดนี้สามารถผลิตได้จากตัวกำเนิดแสงแบบ laser

นอกจากนี้รูปแบบหนึ่งในการพิจารณาแสงคือ การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะประกอบด้วยความถี่ (frequency) และความยาวคลื่น (wavelength) อันเป็นคุณลักษณะพื้นฐาน เช่นเดียวกับความถี่วิทยุ ต่างกันเพียงแต่ว่าแสงจะมีความถี่สูงกว่ามาก

จากรูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) จะถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ในย่านความถี่ต่ำจะเป็นไฟฟ้าและความถี่วิทยุ ซึ่งใช้ในด้านการสื่อสาร เสียง และการสื่อสารด้วยไมโครเวฟ ในย่านความถี่สูงจะเป็นย่านของความถี่แสงและรังสีต่าง ๆ

ความถี่แสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงจะมีค่าประมาณ  $3 \times 10^{14}$  Hz ซึ่ง เท่ากับ 300,000 GHz ความถี่แสงนี้จะต่ำกว่าความถี่แสงที่มองเห็น (Visible Light) ซึ่ง จะมีค่าประมาณ

$5 \times 10^{14}$  Hz หมายความว่าแสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงจะเป็นแสงที่มองไม่เห็น (Invisible Light) และความถี่แสงอยู่ในย่านอินฟราเรด (Infrared Light)



รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum)

## 2.2 คุณสมบัติของแสง

1. คุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง  
แสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกันหรือมีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากันแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง

2. คุณสมบัติการสะท้อนของแสง  
แสงตกกระทบจะสะท้อนที่รอยต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกัน โดยที่มุมตกกระทบจะเท่ากับมุมสะท้อน

3. คุณสมบัติการหักเหของแสง  
เมื่อแสงตกกระทบที่บริเวณรอยต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกัน จะเกิดการหักเหขึ้น มุมหักเหของแสงสามารถคำนวณได้โดยกฎของสเนลล์

ค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ปกติแล้วแสงจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดเมื่อเดินทางผ่านสุญญากาศ คือประมาณ  $3 \times 10^8$  m/s แต่ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางชนิดอื่น เราจึงเห็นได้ว่า แสงจะเกิดการหักเหขึ้นถ้าหากเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิด ตามคุณสมบัติของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าดัชนีหักเหของแสง ความเร็วของแสงในตัวกลาง และความเร็วของแสงในสุญญากาศได้ดังนี้

$$n = c/v$$

เมื่อ  $n$  = ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางนั้น

$c$  = ความเร็วของแสงในสุญญากาศ ( $3 \times 10^8$  m/s)

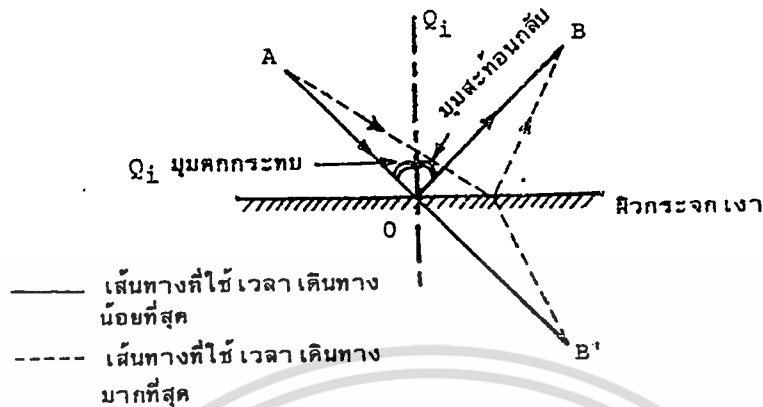
$v$  = ความเร็วของแสงในตัวกลางนั้น

Medium	Refractive Index
Water	1.33
Ethyl alcohol	1.36
Carbon bisulfide	1.63
Air (1 atm and 20 °c)	1.0003
Methylene iodide	1.74
Fused quartz	1.46
Glass, crown	1.52
Glass, dense flint	1.66
Sodium chloride	1.53
Polyethylene	1.50-1.54
Fluorite	1.43

ตารางที่ 2-1 ค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางต่าง ๆ

พิจารณาจากรูป 2.2 สมมติว่าแสงเดินทางจากจุด A สะท้อนกลับที่ผิวของกระจกเงาที่จุด O และเดินทางไปถึงจุด B มุมตกกระทบของแสงที่จุด O คือ  $\phi_i$  และมุมสะท้อนของแสงที่จุด O คือ  $\phi_r$  จะเท่ากัน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การสะท้อนกลับของแสง

ในรูป 2.2 นี้ ถ้าพิจารณาเส้นทางเดินของแสงจากจุด A ไปยังจุด B ด้วยเวลาที่น้อยที่สุด ก็คือเส้นตรง AOB' ซึ่งจุด B' อยู่ตรงข้ามจุด B ดังรูป และกรณีนี้มุมตกกระทบ  $\phi_i$  เท่ากับมุมสะท้อน  $\phi_r$



รูปที่ 2.2 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง

สำหรับกฎการหักเหของแสงนั้นแสดงดังรูป 2.3 รูป 2.3 (a) นั้นเป็นกรณีที่มีค่าดัชนีหักเห  $n_1 < n_2$  และรูป 2.3 (b) เป็นกรณีที่มีค่าดัชนีหักเห  $n_1 > n_2$  โดยที่สมมติว่าแสงที่เดินทางจากต้นกำเนิดแสงเป็นลำแสงขนาน 2 ลำ คือ A และ A' โดยที่แสงทั้งสองเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเห  $n_1$  ไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเห  $n_2$  เมื่อลำแสง A เดินทางไปถึงจุด B ที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสองนั้น ลำแสง A' ยังเดินทางไปไม่ถึงจุด C' เมื่อลำแสง A เดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเห  $n_1$  ไปยังจุด C ของตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเห  $n_2$  นั้น เป็นเวลาพอดีกันกับที่ลำแสง A' เดินทางไปถึงจุด C' ที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสอง โดยที่แสงใช้เวลาเดินทางในเส้นทาง BC และ B'C' เท่ากัน

สมมติว่าความเร็วของแสงในอากาศเป็น  $V$  และให้ความเร็วของแสงในตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเห  $n_1, n_2$  เป็น  $V/n_1$  และ  $V/n_2$  ตามลำดับ

$$\text{จะได้ว่า} \quad BC/(V/n_2) = B'C'/(V/n_1) \quad \text{———— (1)}$$

ถ้ากำหนดให้มุมตกกระทบและมุมหักเหของลำแสง A เป็น  $\phi_i$  และ  $\phi_r$  และมุมตกกระทบของลำแสง A' มีค่าเท่ากับ  $\phi_i$  แล้ว จากความสัมพันธ์ทางตรีโกณจะได้ว่า

$$BC = B'C' \sin \phi_r \quad \text{———— (2)}$$

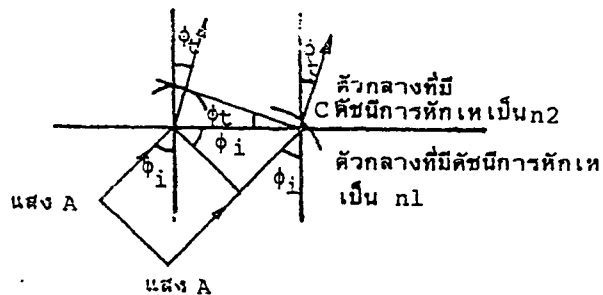
$$B'C' = BC \sin \phi_i \quad \text{———— (3)}$$

โดยการใช้สมการที่ (1) เราสามารถพิสูจน์ได้ว่า

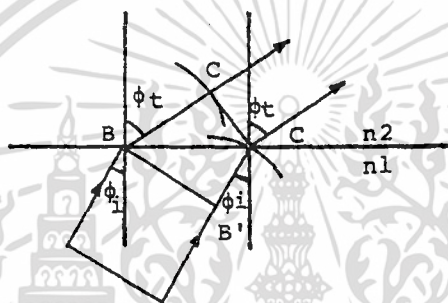
$$n_1 \sin \phi_i = n_2 \sin \phi_r \quad \text{———— (4)}$$

ซึ่งสมการนี้เรียกว่ากฎของสเนลล์ (Snell's law)

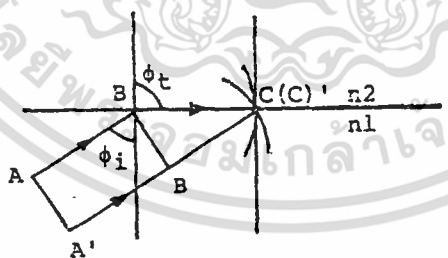
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) กรณี  $n_1 < n_2$



(b) กรณี  $n_1 > n_2$



(c) กรณีสะท้อนกลับหมด (critical angle)

รูปที่ 2.3 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีของรูป 2.3 (c) นั้นเป็นการสะท้อนกลับหมดของแสงในกรณีของ  $n_1 > n_2$  และเมื่อมุมตกกระทบ  $\phi_i$  มีค่ามากถึงค่าหนึ่งแล้วจะทำให้แสงไม่สามารถเดินทางเข้าไปในตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเห  $n_2$  ได้เลย นั่นคือ เกิดการสะท้อนกลับหมดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “การสะท้อนกลับหมด” และมุมตกกระทบที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดนี้เรียกว่า “มุมวิกฤต” (critical angle )

ถ้าให้มุมวิกฤตเป็น  $\phi_c$  ในกรณีนี้มุมหักเห  $\phi_t = 90^\circ$  ดังนั้น  $\sin \phi_t = \sin 90^\circ = 1$  กฎของ Snell ในกรณีเกิดการสะท้อนกลับหมดจะเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\sin \phi_c = n_2 / n_1 \quad \text{----- (5)}$$

จากสมการที่ (5) ก็จะสามารถหาค่าของ  $\phi_c$  ได้

### 2.3 เส้นใยนำแสง

โครงสร้างของเส้นใยนำแสงประกอบด้วยส่วนที่ให้แสงเดินทางผ่านเรียกว่า core และส่วนที่หุ้ม core อยู่เรียกว่า cladding โดยการทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงของ cladding มีค่าน้อยกว่า core เล็กน้อย ประมาณ 0.2 - 3 % และอาศัยปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดของแสง ก็สามารทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน core เดินทางไปได้

#### 2.3.1 ลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง

การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง

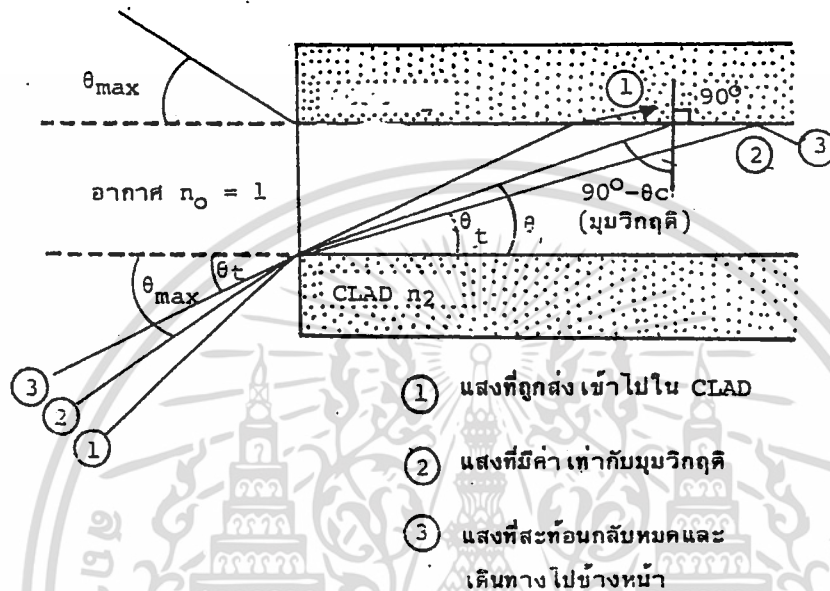
เนื่องจากแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงจะกระจายกว้างออกตามปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง เพื่อให้แสงเดินทางไปในเส้นใยนำแสงได้มาก จึงต้องใช้เลนส์รวมแสง แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับลำแสงที่ตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้น แสงจึงสามารถเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้

พิจารณาจากรูป 2.4 จะเห็นว่าจุดที่ป้อนแสงของเส้นใยนำแสงนั้นจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิด

ตัวกลาง 3 ชนิดนี้คือ อากาศ core ของเส้นใยนำแสง และ cladding ของเส้นใยนำแสง ถ้าให้ค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิดเป็น  $n_0$  ( $n_0 = 1$ )  $n_1$  และ  $n_2$  ตามลำดับ จะเกิดการหักเห การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับ core และ core กับ cladding ในที่นี้ให้มุมรับแสงของเส้นใยนำแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น  $\theta_{max}$  จากรูปจะเห็นว่า ลำแสงที่ 2 นั้นมุมรับแสงตรงรอยต่อของ core กับ cladding นั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤติ (critical angle) ตรงรอยต่อของอากาศกับ core และของ core กับ cladding นั้น จากกฎของ Snell จะได้ว่า

$$\sin \theta_{\max} = n_1 \sin \theta \quad \text{----- (1)}$$

$$\sin (90^\circ - \theta_c) = \cos \theta_c = n_2/n_1 \quad \text{----- (2)}$$



รูปที่ 2.4 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง

ดังนั้นกรณีที่มุมรับแสง  $\theta_{\max}$  มีค่าสูงสุดได้นั้น  $n_1 = n_2$  จากสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

$$\sin \theta_{\max} = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad \text{----- (3)}$$

ในที่นี้  $\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$

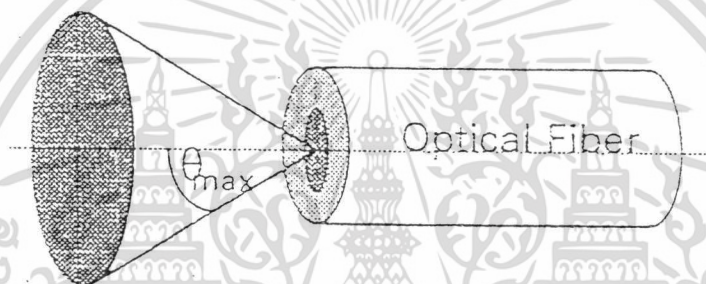
เรียกว่า อัตราส่วนของผลต่างของดัชนีหักเหของแสง

### 2.3.2 Acceptance Angle & Numerical Aperture

เส้นใยนำแสงเป็นสายที่มีขนาดเล็กมากทำจากแก้วบริสุทธิ์ประกอบด้วย core และ cladding สายแบบ multimode จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ core ประมาณ 50  $\mu\text{m}$  (0.05 mm) หุ้มโดยรอบด้วย cladding ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 125  $\mu\text{m}$  (0.125 mm) แสงจะเดินทางอยู่ใน core ของเส้นใยนำแสง และเพื่อให้แน่ใจว่าแสงจะเดินทางอยู่ภายใน core แน่แน่นอน ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีหักเหของแสงของ core จะสูงกว่า cladding เล็กน้อย ในทางปฏิบัติ  $n_{\text{cladding}} \approx 0.99 n_{\text{core}}$  นั่นคือ มีความแตกต่างกันประมาณ 1 % แสงจะเดินทางอยู่ภายใน core และเดินทางจากปลายด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของเส้นใยนำแสง หากมุมตกกระทบของแสงดังกล่าวน้อยกว่ามุมวิกฤติ จะทำให้แสงหักเหเข้าไปสู่ cladding แสงเหล่านี้จะถูกดูดซับที่รอยต่อของ coating หรือถูกดูดซับในเนื้อ coating เอง ซึ่งจะทำให้การลดทอนสัญญาณเกิดขึ้น ดังนั้นในการที่แสงจะเดินทางเข้าสู่ core ได้ในมุมที่ถูกต้องจำเป็นที่ต้นกำเนิดแสงส่งแสงออกมาในมุมที่เหมาะสมด้วย โดยที่มุมสูงสุด ( $\theta_{\text{max}}$ ) ที่แสงเดินทางจากภายนอกมากระทบผิวหน้าของเส้นใยนำแสง แล้วยังคงทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดของแสงภายใน core เรียกว่า Acceptance Angle หรือ Acceptance Cone Half Angle



รูปที่ 2.5 Acceptance Cone Half Angle

ในทางปฏิบัติค่า Acceptance Angle ยิ่งมากขึ้นจะทำให้การนำสัญญาณแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสงง่ายขึ้น และจะใช้เลนส์เพื่อรวมแสงจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่เส้นใยนำแสงตามมุมของ Acceptance Angle

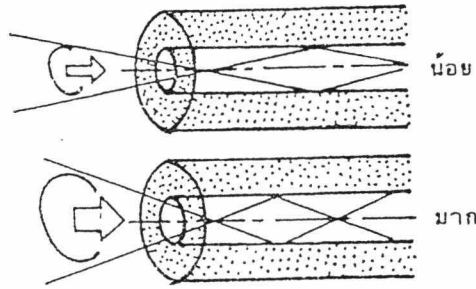
ส่วนค่า Numerical Aperture คือ sin ของ Acceptance Angle เป็นตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าเส้นใยนำแสงนั้นสามารถรับแสงที่ตกกระทบ core เป็นมุมกว้างหรือแคบเพียงใด

$$\text{Numerical Aperture (NA)} = \sin \theta_{\text{max}}$$

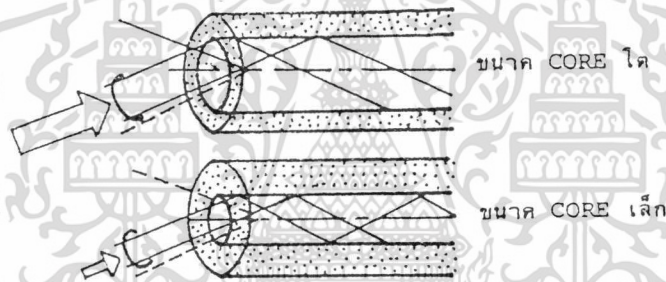
ซึ่งถ้าค่า NA ของเส้นใยนำแสง มีค่ามากจะมีผลทำให้การส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้ง่ายขึ้น

จากรูป 2.6 จะเห็นว่าถ้าหากขนาดของ core และ NA มีค่าคงที่แล้วจะกำหนดปริมาณของแสงที่ป้อนเข้าไปใน core ได้ทันที เส้นใยนำแสงที่มี core ขนาดใหญ่ และมีค่า NA มากจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) กรณีขนาด core เท่ากันแต่ NA ต่างกัน



(b) กรณีค่า NA เท่ากันแต่ขนาด core ต่างกัน

รูปที่ 2.6 แสดงผลของ NA และขนาดของ core ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง

FIBER TYPE	NA
Multimode Grade Index	0.20 - 0.23
Singlemode step Index	0.10 - 0.13

ตารางที่ 2-2 Numerical Aperture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ชนิดของเส้นใยนำแสง

การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงมีหลายวิธี กล่าวคือ แบ่งตามชนิดของสาร dielectric ที่ใช้ แบ่งตามจำนวน propagation mode แบ่งตามลักษณะของดัชนีหักเหของ core ดังแสดงในตารางที่ 2-3

แบ่งตามชนิดของสาร DIELECTRIC ที่ใช้	- Silica glass optic fiber - Multi component glass optic fiber - Plastic optic fiber
แบ่งตามจำนวน PROPAGATION MODE	- Single Mode optic fiber - Multi Mode optic fiber
แบ่งตามลักษณะของ ดัชนีการหักเหของ CORE	- Step Index optic fiber - Graded Index optic fiber

ตารางที่ 2-3 การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสง

### 1. การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามสาร DIELECTRIC ที่ใช้

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1). Silica glass optic fiber ซึ่งใช้ dielectric ที่เป็น Silica glass ซึ่งนอกจากจะใช้ Silica ( $\text{SiO}_2$ ) ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อให้ดัชนีหักเหเปลี่ยนตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปเรียกว่า dopant ได้แก่ Germanium (Ge) Boron (B) Fluorine (F) เป็นต้น

2). Multi component glass optic fiber ซึ่งใช้ dielectric ที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน ส่วนมากจะใช้ Soda Calcium แก้ว แก้วที่มี Boron และ Silicon ผสมและอื่น ๆ เป็นสารหลัก ส่วน dopant ได้แก่ โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca)

3). Plastic optic fiber ซึ่งใช้ dielectric ที่เป็นพลาสติก จะใช้สารพวก Silicon Resin Acryl Resin (เช่น Polymetacryl Methyl Acid : PMMA)

สำหรับเคเบิลเส้นใยแสง ที่ใช้ในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม (Telecommunication Network) นั้นนิยมใช้ Silica glass optic fiber เพราะมีข้อดีคือ การสูญเสีย (Loss) ต่ำ และคุณสมบัติการส่ง (transmission characteristic) คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

แต่สำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งค้อยลงมา ใช้งานง่าย (ต่อง่าย หักยากแม้จะอ เส้นใยนำแสงมาก ๆ เป็นต้น) และใช้กับการสื่อสารระยะทางไกล ใช้กับการเดินสายภายในรถ (wire harness) และอื่น ๆ ในกรณีนี้นิยมใช้ เส้นใยนำแสงที่เป็น Plastic optic fiber

## 2. การแบ่งชนิดเส้นใยนำแสงตามจำนวน PROPAGATION MODE

สามารถแบ่งเส้นใยนำแสงออกได้เป็น 2 ชนิด คือ Single mode และ Multi mode

1). Single mode optic fiber เส้นใยนำแสงชนิดนี้ แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยได้เพียง mode เดียว ดังนั้นจึงต้องผลิตเส้นใยนำแสงชนิดนี้ซึ่งเป็นแบบ step index ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ core มีขนาดเล็กประมาณ  $10 \mu\text{m}$  และมีค่าดัชนีหักเหของแสงระหว่าง core และ cladding แตกต่างกันประมาณ 0.3 % เส้นใยนำแสงแบบ single mode จะเหมาะกับการสื่อสารระยะไกลหรือมีระบบที่มี Transmission Speed สูง ๆ เนื่องจากมีการลดทอนของสัญญาณที่ต่ำมาก และยังมี Dispersion น้อยมาก

2). Multi mode optic fiber เส้นใยนำแสงชนิดนี้ แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยได้หลาย mode เนื่องจาก core มีขนาดโตกว่า มีใช้ทั้งแบบ Step Index และ Graded Index แต่แบบ Graded Index จะได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับ Modal Dispersion ลงได้ เส้นใยนำแสงแบบ multi mode จะเหมาะกับการสื่อสารระยะไม่ไกลมากนักหรือใช้กับระบบที่มี Transmission speed ต่ำ ๆ เนื่องจากค่าใช้จ่ายถูกกว่า

## 3. การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามลักษณะของดัชนีหักเห

สามารถแบ่งเส้นใยนำแสงออกได้ 2 ชนิด คือ

1). Step Index optic fiber (SI fiber) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง core กับ cladding เป็นลักษณะขั้นบันได (step) จึงเรียกว่า Step Index optic fiber

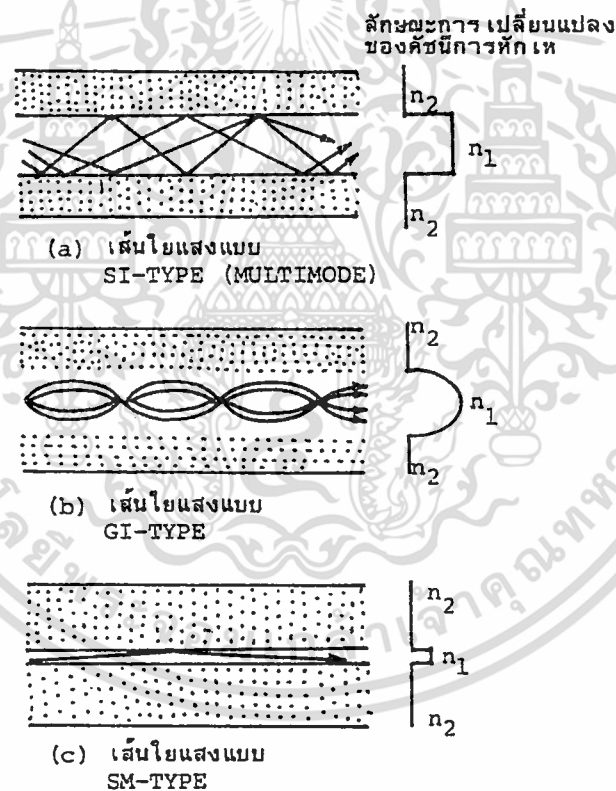
2). Graded Index optic fiber (GI fiber) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง core กับ cladding ค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยต่างกับ (1) จึงเรียกว่า Graded Index optic fiber

SM fiber นั้นจัดอยู่ในพวกของ SI fiber เหมือนกันแต่ทว่าเนื่องจากจุดประสงค์ต้องการให้เป็น Single Mode จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ core และ cladding มีค่าน้อยมาก จึงแบ่งชนิดแยกออกมาต่างหาก ดังนั้นในกรณีที่เรียกว่า SI fiber นั้น โดยทั่วไปจะหมายถึง Multi Mode optic fiber ที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได (step)

ลักษณะการเดินทางของแสงภายใน core ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 2.7

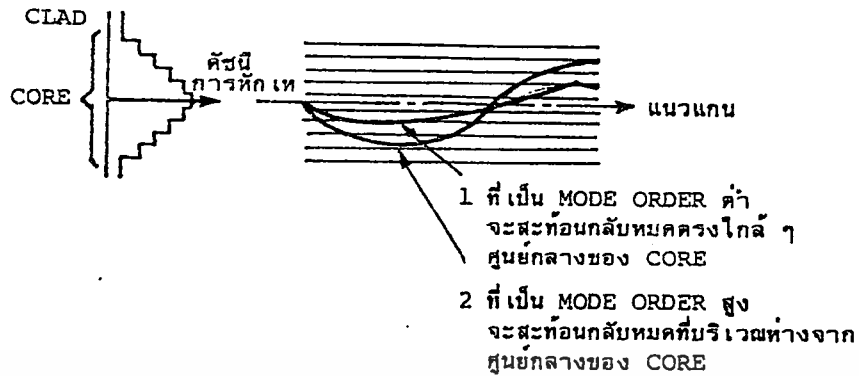
GI fiber เป็นเส้นใยแสงที่จัดทำเป็นพิเศษเพื่อการส่ง Multi Mode รูปที่ 2.8 แสดงถึง Propagation Mode ของ GI fiber

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่า ค่าดัชนีการหักเหของ GI Fiber นี้จะค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยในแนวรัศมีของเส้นใยแสง ดังนั้นลำแสง (1) ที่มี Mode ต่ำและเดินทางในระยะทางสั้นนั้นจะสะท้อนกลับก่อนที่จะเดินทางไปถึงรอยต่อของ core และ cladding ซึ่งกล่าวได้ว่าส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหสูงของ core ส่วนลำแสงที่มี Mode สูงและเดินทางในระยะทางไกลนั้น ส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหต่ำของ core หนึ่งความเร็วในการเดินทางของแสงนั้นจะเป็นสัดส่วนกลับกับค่าดัชนีการหักเห ดังนั้นสำหรับ Propagation Mode (1) และ (2) นั้นโดยการเลือกลักษณะ การเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห (เรียกว่า profile) ให้เหมาะสม



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน core ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

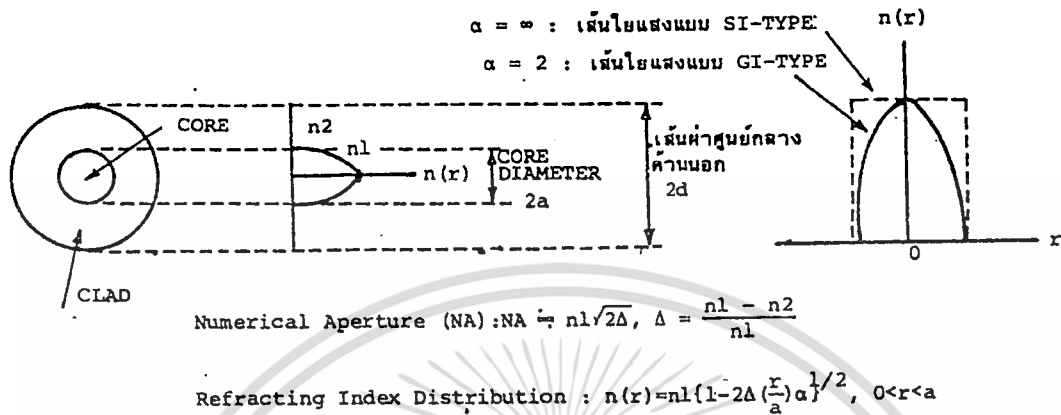


รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI FIBER

แล้วจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางในระยะทางอันหนึ่งของ Propagation Mode (1) และ (2) มีค่าเท่ากันได้ด้วยจุดประสงค์อันนี้ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ผลต่างของเวลาการเดินทางระหว่าง Propagation Mode ต่าง ๆ มีค่าน้อยที่สุดได้นั้นกล่าวกันว่าจะต้องมีรูปร่างเป็นลักษณะพาราโบลา (PARABOLA) ดังนั้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหของ GI fiber จึงต้องทำให้มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2.8

## 2.5 โครงสร้างของเส้นใยนำแสง

องค์ประกอบพื้นฐานที่กำหนด โครงสร้างของเส้นใยนำแสงคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ core, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (เส้นผ่าศูนย์กลางของ cladding) , Numerical Aperture (NA) และอื่น ๆ องค์ประกอบเหล่านี้เรียกว่าเป็น parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแสง parameter ทางโครงสร้างเหล่านี้นอกจากมีผลต่อการสูญเสีย, transmission band width, ความแข็งแรงทางเมคานิกและคุณสมบัติอื่น ๆ ของเส้นใยนำแสงแล้วยังเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อของเส้นใยนำแสงกับเส้นใยนำแสง หรือการต่อของเส้นใยนำแสงกับอุปกรณ์แสง (optic device) อีกด้วย นอกจากนี้ยังมี parameter ประกอบทางโครงสร้างเพิ่มเติมอีกได้แก่ เปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง (ECCENTRICITY), อัตราความเพี้ยนของวงกลม (NON-CIRCULAR RATE) สำหรับ parameter ประกอบนี้จะไม่ผลอะไรทางด้านคุณสมบัติการส่ง (TRANSMISSION CHARACTERISTIC) แต่ทว่ามันจะมีผลอย่างมากต่อการสูญเสียของการต่อ (CONNECTION LOSS) ของเส้นใยนำแสง



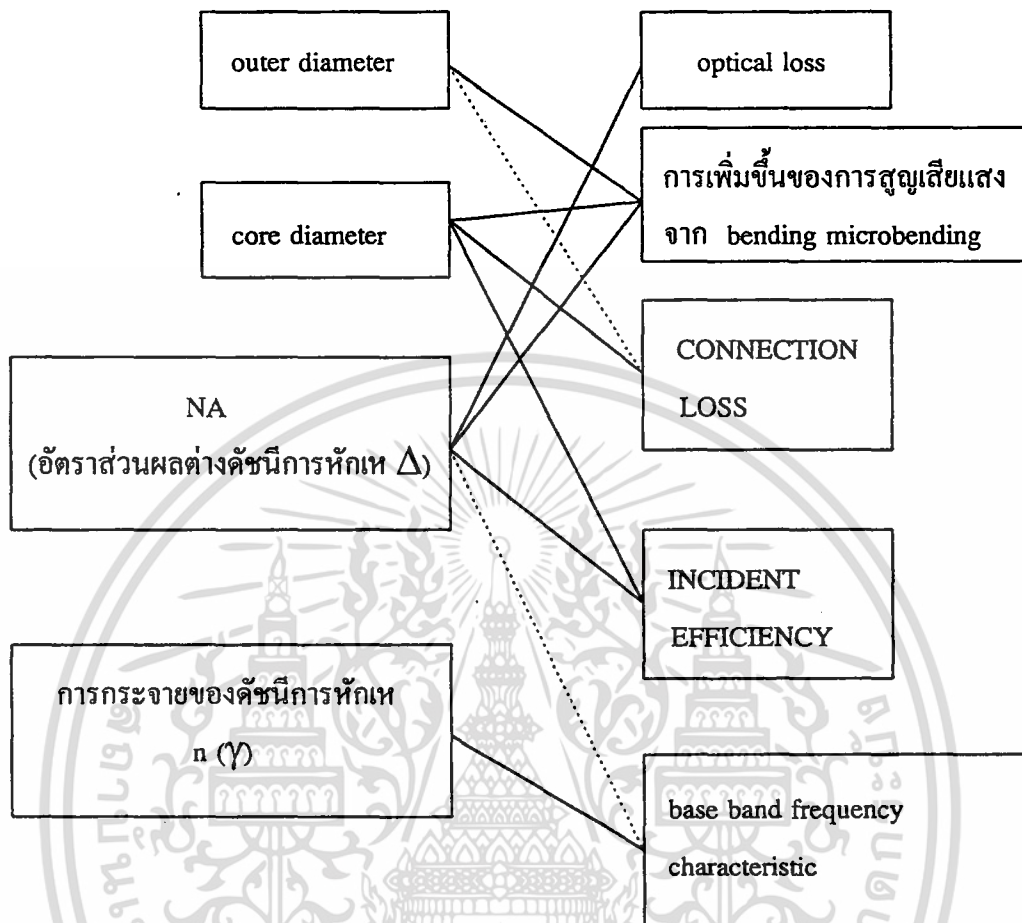
รูปที่ 2.9 แสดง parameter ทางโครงสร้างของ Multi Mode optic fiber

ตัวอย่างเช่น ในการกำหนดโครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิด Multi Mode optic fiber จะต้องอาศัย parameter 4 อันคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ core, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก, Numerical Aperture (NA) และลักษณะของค่าดัชนีการหักเห ดังแสดงในรูปที่ 2.9

ในการกำหนดค่าต่าง ๆ ของ parameter ทางโครงสร้างทั้ง 4 เหล่านี้จำเป็นต้องคำนึงถึงผล parameter ทางโครงสร้างแต่ละอันที่มีต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยนำแสง, การสร้างได้ง่ายและความประหยัด ดังแสดงในแผนผังของรูปที่ 2.10

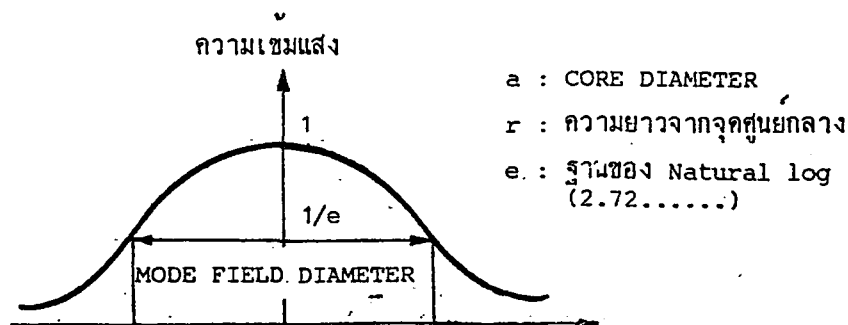
## PARAMETER โครงสร้างของเส้นใยนำแสง

## คุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยนำแสง



รูปที่ 2.10 แสดงแผนผังคุณสมบัติต่าง ๆ ของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสง

สำหรับโครงสร้างของ Single Mode optic fiber จะกำหนดจาก parameter 3 อันคือเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก และ CUT OFF WAVE LENGTH ซึ่งต่างกับกรณีของ Multi Mode optic fiber ที่กล่าวมาแล้ว สาเหตุที่ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD เป็น parameter ทางโครงสร้างของ Single Mode optic fiber แทนการใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ core นั้นก็คือว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD มีค่ามากดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD

กล่าวคือเป็นค่าเส้นผ่าศูนย์กลางตรงจุดที่ความเข้มของแสงลดลงเป็น  $1/e$  ( $e$  ในที่นี้มีค่า 2.71828) ของค่าสูงสุด (คือค่าตรงจุดศูนย์กลางของ core) และค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของ core ของ Single Mode optic fiber มีค่าน้อยยิ่งกว่านั้นอัตราส่วนของผลต่างของค่าดัชนีการหักเหก็มีค่าน้อยด้วยทำให้เป็นการยากที่จะบ่งบอกส่วนที่เป็นรอยต่อของ core กับ cladding ได้ชัดเจน ด้วยเหตุนี้เพื่อความสะดวกจึงใช้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD แทนค่ามาตรฐานของ parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแสงที่ CCITT (INTERNATIONAL TELEGRAPH AND TELEPHONE CONSULTATIVE COMMITTEE) แนะนำ แสดงดังตาราง 2-4

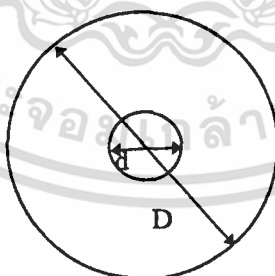
ตารางที่ 2-4 ค่ามาตรฐานของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยนำแสง

หัวข้อ	ชนิด	GRADED INDEX OPTIC FIBER	SINGLE MODE OPTIC FIBER
ความยาวคลื่นที่ใช้		(a) 0.85 $\mu\text{m}$ (b) 1.30 $\mu\text{m}$	(a) 1.30 $\mu\text{m}$ (b) 1.55 $\mu\text{m}$
เส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE		50 $\mu\text{m} \pm 6\%$	—
เส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD		—	9 ~ 10 $\mu\text{m} \pm 10\%$ (1.30 $\mu\text{m}$ )
CUT OFF WAVE LENGTH		—	1.10 ~ 1.28 $\mu\text{m}$ (1)
เส้นผ่าศูนย์กลางนอก		125 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$	125 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ \ ชนิด	GRADED INDEX OPTIC FIBER	SINGLE MODE OPTIC FIBER
เปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง	< 6%	0.5 ~ 3.0 $\mu\text{m}$
อัตราความเพี้ยนของวงกลมของ CORE	< 6 %	—
อัตราความเพี้ยนของวงกลมของ CLADDING	< 2 %	< 2 %
Numerical Aperture	(a) $0.18 \sim 0.24 \pm 0.02$ (0.85 $\mu\text{m}$ ) (b) $0.15 \sim 0.30 \pm 0.02$ (1.3 $\mu\text{m}$ )	(2)

หมายเหตุ : (1) CCITT กำลังพิจารณาอยู่  
 (2) ถ้าบอกค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD และ CUT OFF WAVE LENGTH แล้วไม่จำเป็นต้องบอกค่า NA

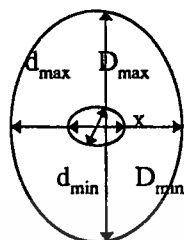


(a) เส้นใยแสงที่ตีเล็ค

CORE DIAMETER : d

OUTER DIAMETER : D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) เส้นใยแสงในทางปฏิบัติ

$$\text{CORE DIAMETER : } d = (d_{max} + d_{min})/2$$

$$\text{OUTER DIAMETER : } D = (D_{max} + D_{min})/2$$

$$\text{อัตราการผลิตไม่เป็นวงกลมของ CORE : } e = (d_{max} - d_{min})/d \times 100(\%)$$

$$\text{อัตราการผลิตไม่เป็นวงกลมของ CLADDING : } E = (D_{max} - D_{min})/D \times 100(\%)$$

$$\text{อัตราความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลาง } C = x/d \times 100(\%)$$

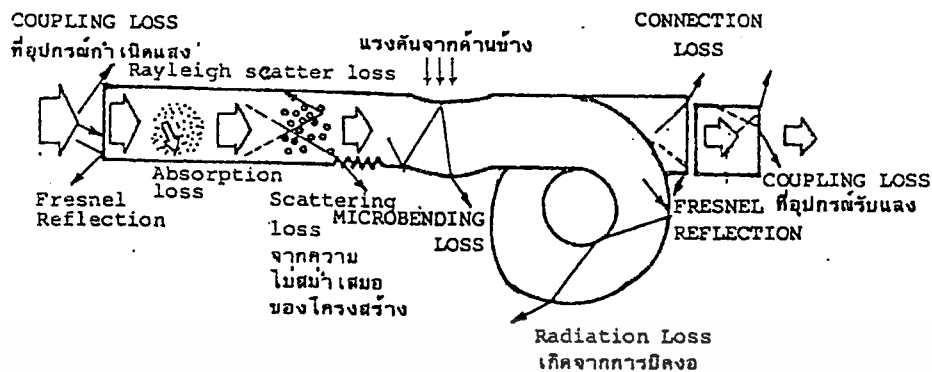
$$\text{ปริมาณความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลาง : } x$$

## 2.8 คุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยนำแสง

### 2.6.1 การสูญเสียแสงในเส้นใยนำแสง

ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง มีองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการที่จะกำหนดความเร็วในการส่ง (Transmission Speed) และระยะห่างของการถ่ายทอคสัญญาณ (Repeater Span) องค์ประกอบเหล่านั้นคือ การสูญเสียแสงกับ Bandwidth ของการส่ง (Transmission Bandwidth) การสูญเสียแสง (Optical Loss) เป็นตัวบอกให้ทราบว่า กำลังของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยนำแสงนั้นจะลดลงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งการสูญเสียแสงนี้ยังมีค่าน้อยเท่าไร จะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลมากยิ่งขึ้น

การสูญเสียแสงแบ่งออกตามความแตกต่างของโครงสร้างที่เกิดขึ้นได้เป็นการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยนำแสงเอง (Fixed Loss) และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมา (Addition Loss) เมื่อค่อนนำเส้นใยนำแสงไปใช้ในระบบการสื่อสาร สาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสงแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง

จากรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยนำแสงเองนั้น เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ การดูดแสง (Absorption Loss) การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering Loss) การกระจัดกระจายแสงเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง (Uniformity Loss) ส่วนการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมานั้นเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ การงอโค้งของเส้นใยนำแสง (Bending Loss) การงอโค้งแบบ Microbending (Microbending Loss) การต่อเส้นใยนำแสง (Connection Loss) ได้แก่การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของแสง จากการที่แสงกระจายแสง) การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงหรืออุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยนำแสง (Coupling Loss) ต่อไปนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของสาเหตุต่าง ๆ ของการเกิดการสูญเสียแสง

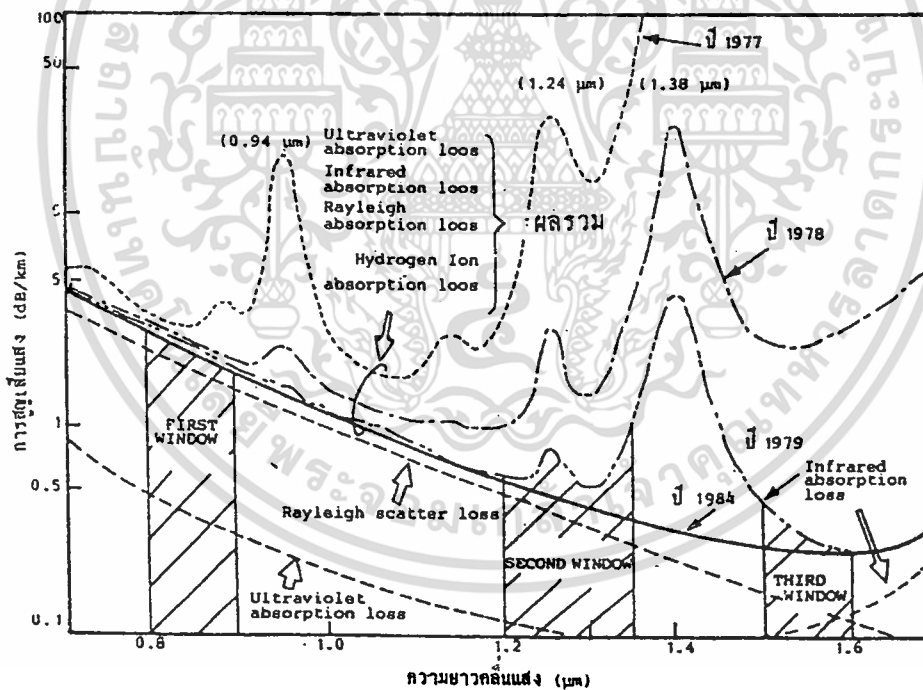
#### 1. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง (Absorption Loss)

การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสงนี้เป็นลักษณะทำนองเดียวกันกับมันสีดำที่ดูดแสงได้ดี กล่าวคือ สารที่ใช้ผลิตเส้นใยนำแสงเองนั้นจะเป็นตัวดูดแสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสง แล้วเปลี่ยนเป็นการสูญเสียทางความร้อน โดยทั่วไปแล้วจะมีการดูดแสงอันเนื่องมาจากแก้วเอง (สารที่ใช้ผลิตเส้นใยนำแสง) และเนื่องมาจากสารอื่นที่เจือปนมาในแก้ว (Impurity)

สำหรับการสูญเสียจากการดูดแสงของแก้วนั้น มันจะดูดแสง Ultraviolet กับแสง Infrared การดูดแสง Ultraviolet นั้นจะดูดแสงมากที่สุดที่ความยาวคลื่นใกล้กับ  $0.1 \mu\text{m}$  ไปจนถึงประมาณ  $1.6 \mu\text{m}$  การสูญเสียจะตกลงเป็นเสมือนหุบเขา (Valley)

การสูญเสียจากการดูดแสงอันเนื่องมาจากสารแปลกปลอม (Impurity) ปนอยู่นั้น ในตอนแรกที่พัฒนาเส้นใยนำแสงใหม่ ๆ นั้นปรากฏว่าส่วนใหญ่เป็น ion ของเหล็ก ion ของทองแดงและ

อื่น ๆ แต่ต่อมาเทคนิคในการทำให้การสูญเสียแสงต่ำลงได้พัฒนาไปมากสามารถกำจัด ion ของโลหะต่าง ๆ ออกไปได้ ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็น Hydroxyl ION (OH<sup>-</sup>) นั่นคือกล่าวได้ว่าประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงที่มีอยู่ในเส้นใยนำแสงให้มีค่าน้อยนั้นเป็นการกำจัด Absorption Loss อันเนื่องมาจาก ION ของโลหะและ Hydroxyl ION เหล่านี้นั่นเองในรูป 2.13 จะเห็นว่าแสดงการสูญเสียแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของแสงในเส้นใยนำแสงที่ทำด้วยแก้วตัวเลข ค.ศ. ที่ค่าสูญเสียสูงสุดต่าง ๆ นั้นบอกให้ทราบถึงประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงน้อยลง ค่าสูญเสียแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 0.94  $\mu\text{m}$ , 1.24  $\mu\text{m}$  และ 1.38  $\mu\text{m}$  นั้นเป็นการสูญเสียที่เกิดจากการดูดของ Hydroxyl ION ที่กล่าวข้างบน และตรงส่วนที่เป็นหุบเขา (เรียกว่า WINDOW ของเส้นใยแสง) บริเวณใกล้ ๆ กับความยาวคลื่น 0.85  $\mu\text{m}$ , 1.3  $\mu\text{m}$  และ 1.55  $\mu\text{m}$  (เรียกว่า Window ที่ 1, ที่ 2, ที่ 3) นั้นมีการสูญเสียแสงต่ำ ซึ่งนำมาใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง



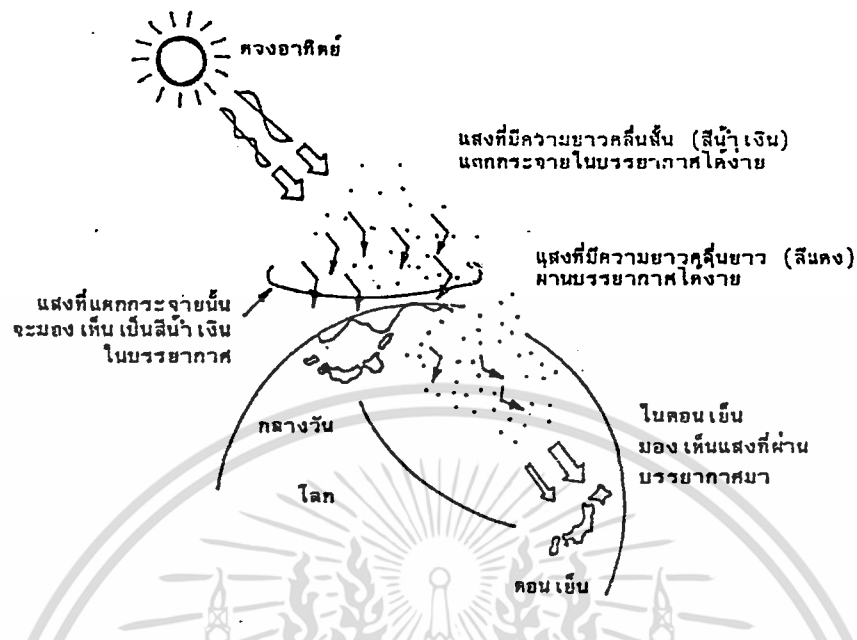
รูปที่ 2.13 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดแสงของเส้นใยนำแสงที่ทำด้วยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering Loss)

การสูญเสียแบบนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อแสงไปกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น แล้วทำให้แสงนั้นแตกกระจัดกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ ตัวอย่างของปรากฏการณ์เช่นนี้แสดงดังรูป 2.14 คือการที่เรามองเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน, และมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีแดงตอนตะวันตกดินนั้นเกิดจากการแตกกระจัดกระจายของแสง ผู้ที่ทำการอธิบายปรากฏการณ์การแตกกระจัดกระจายของแสงนี้คือ นักฟิสิกส์ชื่อ Rayleigh ดังนั้นจึงใช้ชื่อของเขาเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Rayleigh Scattering

สำหรับการผลิตเส้นใยนำแสงนั้น ทำได้โดยการให้ความร้อนประมาณ  $2,000^{\circ}\text{C}$  แก่แท่งแก้วซึ่งเรียกว่า PREFORM ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจากหลายมิลลิเมตรไปจนถึงหลายสิบลิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยแสงขนาดเล็ก และในตอนนี้ต้องทำให้เส้นใยนำแสงนั้นมีอุณหภูมิลดลงจาก  $2,000^{\circ}\text{C}$  เป็นอุณหภูมิห้องประมาณ  $20^{\circ}\text{C}$  อย่างรวดเร็ว โดยการทำเช่นนี้จะทำให้ความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นที่เกิดขึ้นตอนให้ความร้อน  $2,000^{\circ}\text{C}$  (หรือ นั่นคือ ความไม่สม่ำเสมอของค่าดัชนีการหักเห) ตกค้างอยู่อย่างนั้นในเส้นใยแสง และเป็นสาเหตุทำให้เกิด Rayleigh Scattering ขึ้นในเส้นใยแสง จัดเป็นสาเหตุการเกิดการสูญเสียแสงที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในขั้นตอนการผลิตถือเป็นการสูญเสียแสงที่มีประจำอยู่ในตัวของเส้นใยแสง ขนาดของ Rayleigh Scattering จะเป็นสัดส่วนกลับกับความยาวแสงยกกำลัง 4 ด้วยเหตุนี้จะเห็นว่าในรูป 2.13 ความยาวของคลื่นแสงที่เดินทางยังมีค่ามาก Rayleigh Scattering จะมีค่าน้อยลง ยกตัวอย่างเช่นเมื่อความยาวคลื่นเป็น  $1\ \mu\text{m}$  ค่า Rayleigh Loss จะมีค่าประมาณ  $1\ \text{dB/Km}$  และเมื่อความยาวคลื่นเป็น  $1.6\ \mu\text{m}$  ค่า Rayleigh Loss จะมีค่าประมาณ  $0.1\ \text{dB/Km}$



รูป 2.14 แสดง Scattering ของแสงในบรรยากาศ

นอกจากนั้นขนาดของ Rayleigh Scatter ยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิในตอนที่ทำการดึง PREFORM ให้เป็นเส้นใยนำแสง ถ้าหากสามารถทำให้อุณหภูมิต่ำได้ Rayleigh Scattering Loss จะน้อยลง ยกตัวอย่างเช่นอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการดึง glass fiber ที่มีสาร Fluoride ปนอยู่มีค่าประมาณ  $700^{\circ}\text{C}$  ทำให้ Rayleigh Scattering Loss มีค่าเป็น  $1/3$  ของ glass fiber ธรรมดา ยิ่งกว่านั้น สำหรับ glass fiber ที่มีสาร Fluoride ปนอยู่ยังทำให้การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง INFRARED เลื่อนต่ำออกไปในย่านที่มีความยาวคลื่นมากขึ้นดังแสดง WINDOW ที่ 3 ของรูป 2.13 จากข้อคิดอันนี้ร่วมกับ Rayleigh Loss ที่มีค่าต่ำดังกล่าวข้างบนทำให้สามารถได้เส้นใยแสงที่มีการสูญเสียต่ำมาก คือประมาณ  $10^{-3}$  dB/Km ( $= 0.001$  dB/Km)

3. การสูญเสียจากการกระจัดกระจายแสง อันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยนำแสง (Ununiformity Loss)

สำหรับเส้นใยนำแสงที่สร้างขึ้นมาจริง ๆ นั้น จากสาเหตุต่าง ๆ ในการสร้างทำให้ไม่สามารถได้เส้นใยนำแสงที่มีลักษณะกลม 100% นอกจากนั้น CORE และ CLADDING ที่ประกบกันเป็นเส้นใยนำแสงก็ไม่สามารถทำให้ได้ลักษณะรูปทรงกระบอกที่สม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ตลอดความยาวของเส้นใยนำแสงได้ กล่าวคือตรงรอยต่อของ CORE กับ CLADDING นั้นจะไม่

สมำเสมอตลอด กล่าวคือจะมีลักษณะคล้ายถนนขรุขระ เมื่อมีรอยต่อไม่เรียบสมำเสมอเช่นนี้จะทำให้เกิดการกระจายของแสงดังแสดงในรูป 2.12 ทำให้แสงบางส่วนไม่สามารถเดินทางไปใน CORE ได้ จะกระจายออกไปข้างนอก ดังนั้นรอยต่อที่ไม่เรียบสมำเสมอจะทำให้แสงที่เดินทางเกิดการสะท้อนกลับอย่างสะเปะสะปะทำให้การสูญเสียแสงเพิ่มขึ้น การสูญเสียแสงเช่นนี้เรียกว่าการสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สมำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง

4. การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยนำแสง (Bending Loss)

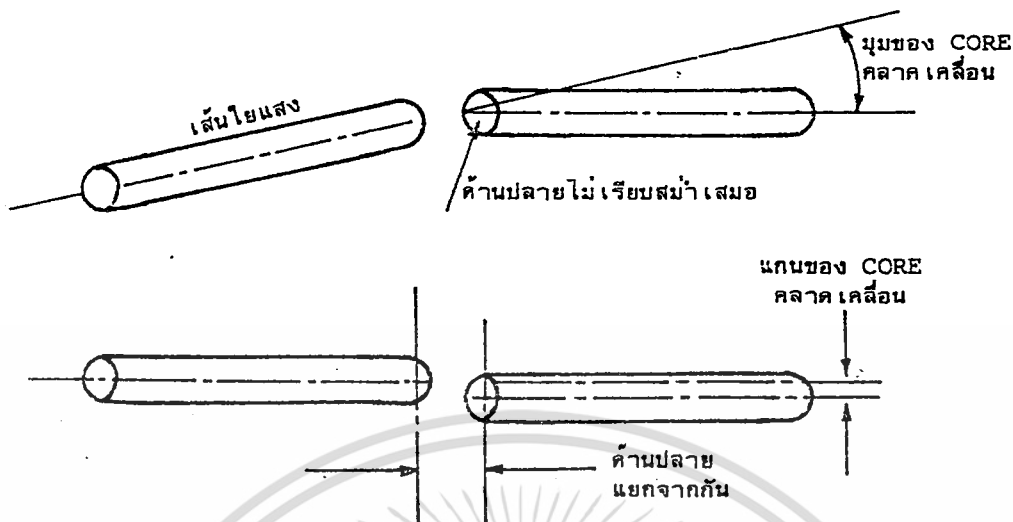
เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยนำแสงถูกทำให้งอโค้งไป สำหรับการงอโค้งเส้นใยนำแสงดังแสดงในรูป 2.12 แสงที่มีมุมงอโค้งมากกว่ามุมวิกฤติแล้ว แสงนั้นจะกระจายออกไปนอก CORE ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ดังนั้นในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง จะต้องระมัดระวังอย่าให้เกิดมีการงอเส้นใยแสงเป็นส่วนโค้งที่มีรัศมีเกินกว่ารัศมีที่ยอมให้งอโค้งได้ เช่นไม่เกิน 40 ม.ม. เป็นต้น

5. การสูญเสียที่เกิดจากการงอโค้งแบบ Micro Bending

เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการที่มีแรงกดที่ไม่สมำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของเส้นใยนำแสง ทำให้แกนของเส้นใยนำแสงบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ  $2,3 \mu\text{m}$ ) เป็นเหตุให้การสูญเสียเพิ่มขึ้น การสูญเสียนี้เรียกว่า MICRO BENDING LOSS ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบโครงสร้างเส้นใยนำแสงจะต้องทำการป้องกันแรงกดจากทางด้านข้าง เช่นทำชั้น (LAYER) ป้องกันการกระแทกหุ้มเส้นใยนำแสง เป็นต้น

6. การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง (Connection Loss)

การต่อเส้นใยนำแสงนั้นคล้ายกับการต่อท่อของน้ำประปาหรือท่อแก๊ส กล่าวคือต้องต่อกันอย่างดีไม่ให้น้ำประปาหรือแก๊สที่อยู่ข้างในท่อรั่วออกไปข้างนอก กรณีที่ทำการต่อเส้นใยนำแสง 2 เส้นเข้าด้วยกันนั้น อันดับแรกจำเป็นต้องทำการปรับ CORE ทั้งสองที่แสงเดินทางผ่านให้ตรงกันพอดี ถ้าหากว่า CORE ทั้งสองต่อกันไม่สนิทอย่างสมบูรณ์นั้น แสงที่ออกจาก CORE ด้านหนึ่งของมันจะไม่เข้าไปใน CORE อีกด้านหนึ่งแต่จะกระจายออกไปข้างนอกทำให้เกิดการสูญเสีย สาเหตุการเกิดการสูญเสียอย่างนี้แสดงในรูปที่ 2.15 กล่าวคือมีทั้งการคลาดเคลื่อนของแกนของ CORE และอื่น ๆ แต่สำหรับค่าการสูญเสียนั้น ส่วนใหญ่จะมาจากคลาดเคลื่อนของแกนของ CORE หนึ่งตรงส่วนที่ทำการต่อกัน กรณีที่มีช่องว่าง (GAP) เพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการสะท้อนกลับ ถ้าหากช่องว่างโตมากขึ้นกว่านี้ จะเกิดการสะท้อนกลับที่เรียกว่า FRESNEL REFLECTION



รูป 2.15 แสดงสาเหตุต่าง ๆ ของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง

#### 7. การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (Coupling Loss)

แสงที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้น มีเงื่อนไขในการที่จะป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง นั่นคือค่า NA (Numerical Aperture) กรณีที่ใช้ต้นกำเนิดแสงได้แก่ Laser Diode (LD) หรือ Light Emitting Diode (LED) จะมีความแตกต่างกันทางความกว้างของลำแสงที่ปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดภายหลังแม้จะใช้เลนส์รวมแสงแล้วก็ตาม LD จะมีการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงน้อยกว่า นอกจากนั้น โครงสร้างของเส้นใยนำแสงที่จะถูกป้อนแสงเข้าไบนั้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ core ของเส้นใยนำแสงแบบ SM และแบบ GI จะมีค่าต่างกัน ทำให้ขนาดของการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงมีค่าต่างกันไปด้วย

เกี่ยวกับการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงระหว่างเส้นใยนำแสงกับอุปกรณ์รับแสงนั้น เส้นใยนำแสงที่มี NA มาก นั่นคือแสงที่ออกมาจากเส้นใยนำแสงแบบ GI จะมีลำแสงกว้างกว่าลำแสงที่ออกจากเส้นใยนำแสงแบบ SM ทำให้การสูญเสียแสงมีมากกว่า

#### 2.6.2 การขยายกว้างออก (Dispersion) และ Transmission Bandwidth ของเส้นใยนำแสง

##### 1. การขยายกว้างออกของ mode (Mode Dispersion)

สำหรับ Multi Mode optic fiber นั้น ความเร็วในการเดินทางของแต่ละ mode ภายในเส้นใยนำแสงจะต่างกัน ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.16 (a) เมื่อป้อน pulse ที่ถูกผสมแบบ Pulse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modulation เข้าไปในเส้นใยนำแสงแบบ Multi Mode optic fiber pulse ของแสงที่ออกมาจากปลายอีกข้างหนึ่งของเส้นใยนำแสง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ pulse ของแสงที่ป้อนเข้าไปจะเห็นว่าขยายออกกว้างกว่า การที่เกิดอย่างนี้นั้นแม้ว่าความยาวคลื่นของต้นกำเนิดแสงจะเหมือนกันก็ตาม แต่ที่ว่า pulse ของแสงที่ป้อนเข้าไปนั้นจะแบ่งออกเป็น mode ต่าง ๆ ที่มีความเร็วในการเดินทางต่างกัน ดังนั้นในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงจึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Mode Dispersion ทำให้ไม่สามารถที่จะทำให้ระยะห่างระหว่าง pulse เล็กลงมาก ๆ ได้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า Multi Mode optic fiber นั้นส่วนใหญ่ Mode Dispersion จะเป็นตัวกำหนด Bandwidth แม้ว่าจะพยายามทำให้ Mode Dispersion นี้น้อยลงโดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ core เป็นลักษณะ parabola ซึ่งเรียกว่า Graded Index optic fiber แล้วก็ตาม แต่เนื่องจากมีขีดจำกัดในความไม่แน่นอนของรูปร่างของค่าดัชนีการหักเห ด้วยเหตุนี้ในระบบการส่งข่าวสารจำนวนมากที่ต้องการคุณสมบัติ Bandwidth กว้างนั้นจะใช้ Single Mode optic fiber ที่ไม่มี Mode Dispersion โดยการทำให้มี mode เดียว

## 2. การขยายกว้างออกของความยาวคลื่น (Wavelength Dispersion)

ในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน แต่ถ้าหากความยาวคลื่นต่างกันแล้ว ค่าดัชนีการหักเหจะต่างกัน เป็นผลให้ความเร็วในการเดินทางต่างกันตามค่าความยาวคลื่น ปรากฏการณ์ที่เห็นได้เกี่ยวกับค่าดัชนีการหักเหที่ขึ้นอยู่กับความยาวของแสงคือการกระจายแสงออกเป็นสีต่าง ๆ ของ prism การเกิดรุ้งกินน้ำที่มี 7 สี เกิดขึ้นในตอนหลังจากฝนตก เป็นต้น แสงที่ใช้ในการสื่อสารใยแสงนั้น ความจริงแล้วไม่ใช่แสงที่มีความยาวคลื่นเพียงอันเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (b) กล่าวคือจะมีความยาวคลื่นอื่นอยู่ด้วยแต่น้อยมาก ทำให้เกิดการขยายกว้างออกของความยาวคลื่น ด้วยเหตุนี้จะเกิดความแตกต่างของความเร็วในการเดินทางตามความยาวคลื่นที่ต่างกัน (ความยาวคลื่นยิ่งมีค่ามากเท่าใด ค่าดัชนีการหักเหจะน้อยลงเท่านั้น และจะเป็นผลให้ความเร็วในการเดินทางเพิ่มขึ้น) การขยายกว้างออกของความยาวคลื่นนี้เป็นสาเหตุให้ Bandwidth ถูกจำกัดค่าความกว้างเช่นเดียวกับกรณีของ Mode Dispersion ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ (1) และสาเหตุนี้เรียกว่า Material Dispersion

นอกจากนั้นกรณีที่ค่าผลต่างของดัชนีการหักเหของ core กับ cladding มีค่าน้อยนั้น ปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดของแสงที่รอยต่อของ core กับ cladding จะไม่เหมือนกับที่เกิดในกระจกเงาล้วนคือ ส่วนหนึ่งของแสงจะทะลุเข้าไปใน cladding ก่อน แล้วจึงสะท้อนกลับหมด และขนาดการทะลุเข้าไปนี้จะแตกต่างกันตามความยาวคลื่น เป็นผลให้ระยะทางการเดินทางของแสงนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น (ความยาวคลื่นยิ่งมีค่ามากเท่าใด ขนาดการทะลุเข้าไปใน cladding จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น และจะทำให้เส้นทางการเดินทางยาวมากขึ้น) การขยายกว้างออกของระยะทาง

การเดินทางนี้เรียกว่า Structure Dispersion ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้น การเกิด Material Dispersion และ Structure Dispersion รวมเรียกว่า Wavelength Dispersion

ความสัมพันธ์ระหว่าง Mode Dispersion, Material Dispersion และ Structure Dispersion จะเป็นดังนี้คือ

Mode Dispersion >> Material Dispersion > Structure Dispersion ดังนั้นสำหรับ Multi Mode optic fiber ส่วนใหญ่ Mode Dispersion จะเป็นตัวกำหนด Bandwidth ของการส่ง Wavelength Dispersion นั้นมีผลต่อ Bandwidth ของการส่งน้อยมาก แต่จะเป็นสาเหตุสำคัญในการกำหนด Bandwidth ใน Single Mode optic fiber ด้วยเหตุนี้ใน Single Mode optic fiber จะเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ทำให้ Structure Dispersion ไปหักล้างกับ Material Dispersion ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ความยาวคลื่นนี้เรียกว่า Zero Dispersion Wavelength) และวิธีการต่าง ๆ ในการออกแบบโครงสร้างของเส้นใยนำแสงเพื่อให้มี Wavelength Dispersion น้อยที่สุด

### 3. ขนาดความกว้าง Bandwidth ของการส่ง (Transmission Bandwidth)

ปัจจุบัน Transmission Bandwidth ที่ใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้นเป็นตัวยกให้ทราบว่าสามารถส่งสัญญาณแสงที่ผสมกับสัญญาณของข่าวสารด้วยความถี่สูงมากแค่ไหน ปกติจะแสดงขนาดความกว้างตรงจุดที่คุณสมบัติความถี่ base band (Base Band Frequency Characteristic) ของเส้นใยนำแสงตกลง 6 dB

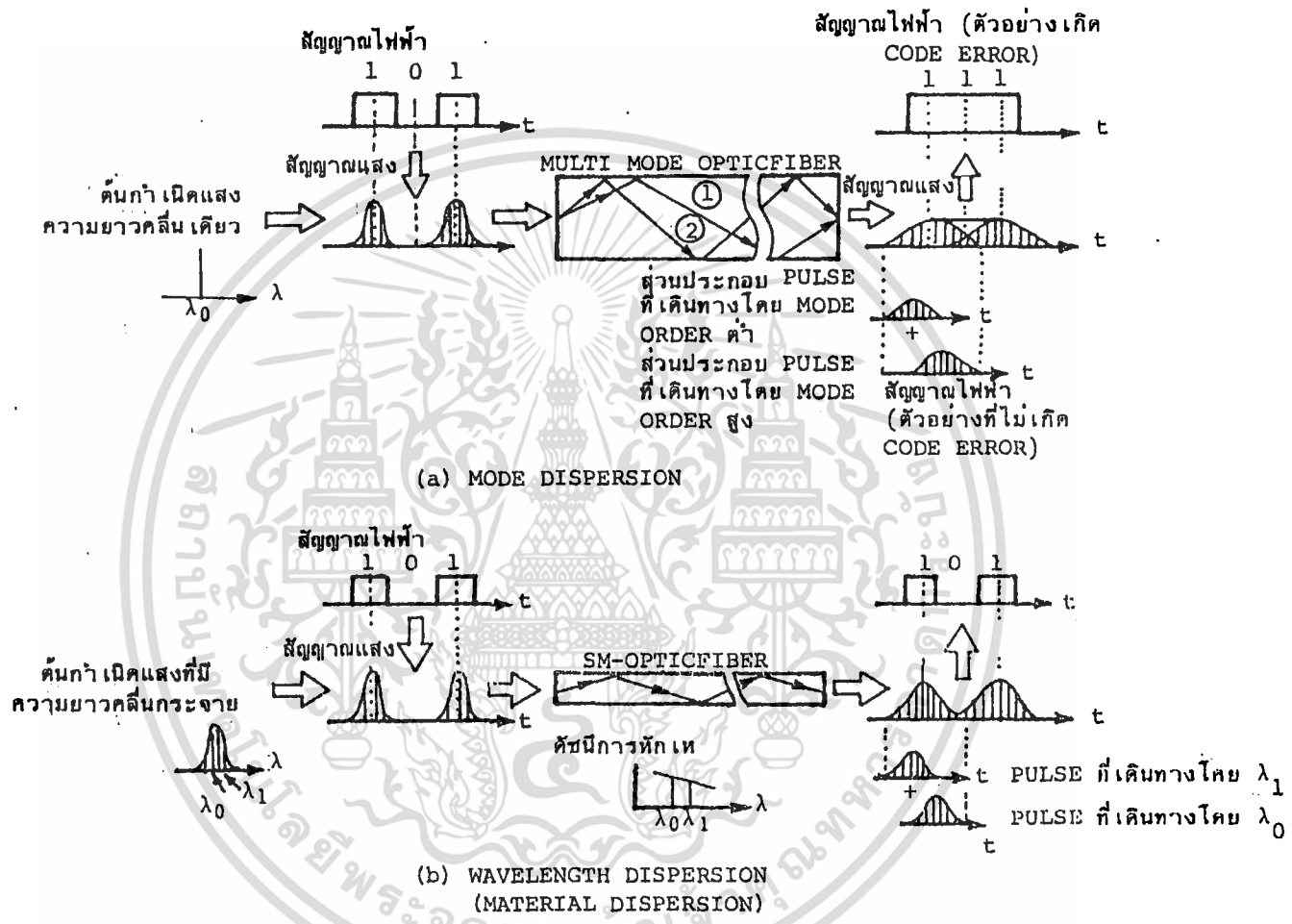
สมมติว่าเราทำการป้อน Impulse ซึ่งเป็น Wave Form ที่สมบูรณ์แบบ กล่าวคือ ตรงฐานของ Wave Form ไม่ขยายกว้างออกดังแสดงในวงเล็บ (  $\square$  ) เมื่อ Impulse นี้เดินทางไปในเส้นใยนำแสงได้ระยะทางค่าหนึ่ง ตรงจุดปลายทางของเส้นใยนำแสงนั้น Impulse ที่เดินมาจะขยายกว้างออก เนื่องจากคุณสมบัติ Dispersion ของแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา แม้ว่าในระหว่างทางที่แสงเดินทางมาจะไม่มี Radiation Mode (แสงกระจายออกจาก core) เลยก็ตาม แต่ทว่าการที่ Impulse ขยายกว้างออกไปนั้น จะต้องทำให้ขนาดของ Impulse ลดลงอย่างแน่นอน จากการตรวจดู Impulse Wave Form ตรงจุดปลายทางของเส้นใยนำแสง (เรียกว่า Impulse Response Wave Form) นี้สามารถใช้เป็นขั้นตอนของการประเมินค่าคุณสมบัติการขยายกว้างออก (Dispersion) ของเส้นใยนำแสงได้ โปรดสังเกตว่าการใช้หลักการเช่นนี้ในย่านของความถี่จึงเรียกว่า Base Band Frequency Characteristic

คำว่า Base Band Frequency Characteristic นั้นหมายถึง คุณสมบัติความถี่ของอัตราส่วนของขนาดของสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็น sine wave ที่นำมาผสมทางด้าน input กับสัญญาณที่แยกออกมาจากการผสม (Demodulation) ทางด้าน output ในสายส่งที่เป็นเส้นใยนำแสงดังแสดงในรูปที่ 2.17 (a) สำหรับเส้นใยนำแสงที่เป็น Multi Mode เนื่องจากผลของ Mode Dispersion ดังที่ได้กล่าว

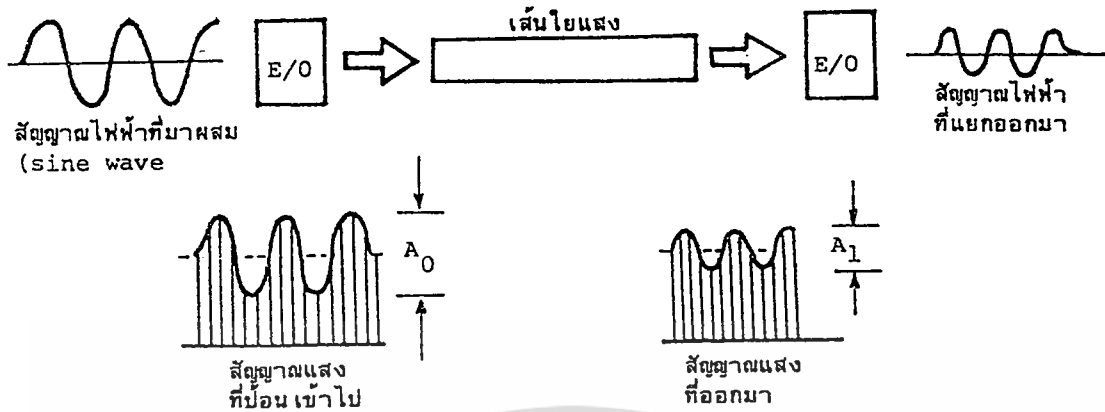
มาแล้วจะทำให้ได้ว่า เมื่อความถี่ที่นำมาผสมทางด้าน input สูงขึ้น ขนาดของสัญญาณที่แยกออกมาจากการผสมทางด้าน output ลดลง ดังแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 2.17 (b) นอกจากนั้นยังขึ้นกับระยะทางด้วย ขนาดความกว้าง Bandwidth ที่ 6 dB นั้น เรียกว่าเป็นช่วงความถี่ที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกมาจากการผสม ภายหลังจากแสงเดินทางได้ 1 กิโลเมตร แล้วปรากฏว่าขนาดของมันลดลงเป็น 1/2 (ปริมาณการสูญเสียกำลังของแสงเป็น 3 dB) เมื่อเทียบกับขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่นำมาผสมทางด้าน input และใช้หน่วยเป็น MHz.Km

Base Band Frequency Characteristic ของเส้นใยนำแสงจะเป็นดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งเปรียบเทียบคุณสมบัติการส่งของเส้นใยนำแสงกับสายเคเบิลโลหะ แบบ Balance และกับสาย Coaxial Cable จะเห็นว่าคุณสมบัติ Base Band Frequency ของเส้นใยนำแสงกว้างกว่าสายเคเบิลโลหะ แบบ Balance และสาย Coaxial Cable ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมากมาย โดยเฉพาะเส้นใยนำแสงแบบ SM นั้นกว้างมากที่สุดโดยทั่วไปกล่าวกันว่า มันมีขนาดความกว้างที่ 6 dB เป็นหลายสิบ GHz.Km

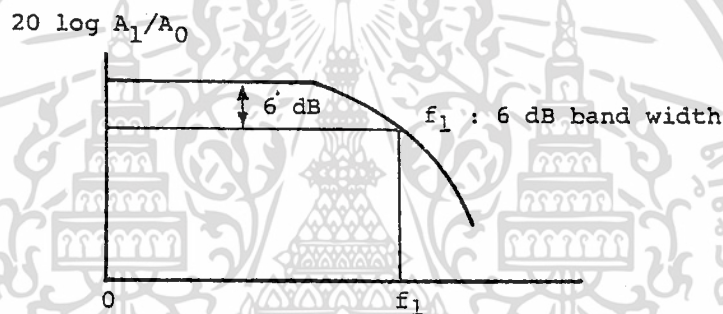




รูปที่ 2.16 แสดงการเกิด DISPERSION ของเส้นใยนำแสง



(a) การจัด Base Band Frequency Characteristic



(b) คุณสมบัติ Base Band Frequency และ 6 dB Bandwidth

รูปที่ 2.17 แสดงขนาดความกว้าง Bandwidth ของการส่งของเส้นใยนำแสง

## 2.7 อุปกรณ์กำเนิดแสง

ในระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสง ลำแสงที่กำเนิดจากแหล่งกำเนิดแสงจะเป็นตัวพาข่าวสารหรือข้อมูลไปยังปลายทาง Laser diode และ LED จะเป็นตัวกำเนิดแสงที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจาก LED มีความเป็นเชิงเส้น (linearity) มากกว่า จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการสื่อสารแบบอนาล็อกที่ใช้ระยะทางไม่มากและไม่ต้องการ Optical Power มากนัก ส่วน Laser Diode จะไม่เป็นเชิงเส้นจึงเหมาะสมที่จะใช้ในการส่งแบบดิจิทัล ใช้ระยะทางไกล อัตราการส่งข้อมูลและต้องการ Optical Power สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

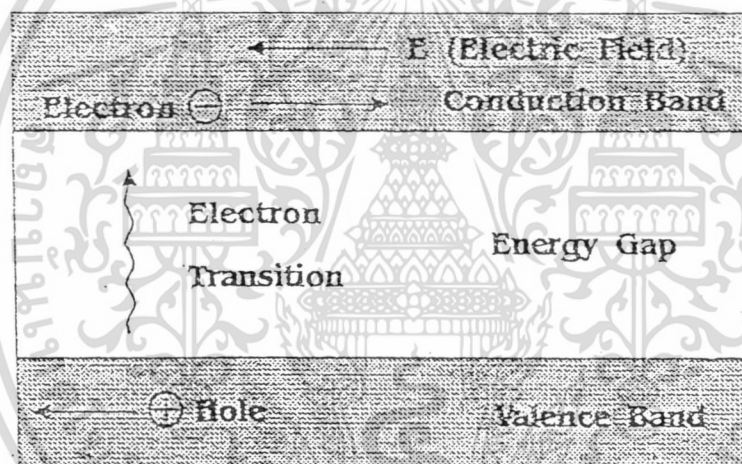
### 2.7.1 หลักการพื้นฐานของการเปล่งแสง (Principle of Light Emission)

สารกึ่งตัวนำจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน ในที่นี้เราจะกล่าวถึงสารกึ่งตัวนำ ซิลิกอน (Si) ซึ่งเป็นธาตุกลุ่มที่ 4 ในตารางธาตุ อะตอมของซิลิกอนจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน จำนวน 4 ตัวซึ่งอยู่รอบนอกสุด สามารถที่จะสร้าง Covalent Bond (การยึดเหนี่ยวของอะตอมโดยใช้วาเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน) กับอะตอมข้างเคียงในรูปผลึก (Crystal) ได้

จากนี้เราจะกล่าวถึงคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำซึ่งจะเป็นพื้นฐานที่ทำให้เข้าใจตัวส่งแสงและตัวรับแสงที่จะกล่าวถึงต่อไปได้ดียิ่งขึ้น

### 2.7.2 แถบพลังงาน (Energy Bands)

คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของสสารสามารถที่จะอธิบายได้โดยแผนผังของแถบพลังงาน (Energy Band) ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แผนผังของแถบพลังงาน (Energy Band)

จากแผนผังจะเห็นว่าแถบพลังงานของสสารประกอบด้วยแถบพลังงานวาเลนซ์ (Valence Band) แถบพลังงานนำกระแส (Conduction Band) และแถบพลังงานช่องว่าง (Energy Gap) โดยที่ระดับพลังงานวาเลนซ์ (Valence Energy) เป็นพลังงานของอิเล็กตรอนที่จะต้องใช้ในการยึดเกาะเพื่อให้อะตอมยึดติดกันได้ ส่วนพลังงานนำกระแส (Conduction Energy) เป็นพลังงานของอิเล็กตรอนที่จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนหลุดออกนอกวงโคจรได้ ในกรณีที่ให้พลังงานแก่อิเล็กตรอนไม่ว่าจะเป็นการให้ความร้อน แสง แรงดันไฟฟ้า รั้งสี หรือวิธีอื่นใดก็ตามพลังงานจะเข้าไปถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาเลนซ์อิเล็กตรอนได้ก่อนสิ่งอื่นใด และหากพลังงานที่มีค่ามากกว่าแถบพลังงานช่องว่าง หรือขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานนำกระแสจะทำให้สารนั้นนำกระแสไฟฟ้าได้

ในผลึกที่บริสุทธิ์จะไม่มีอิเล็กตรอนอิสระ ดังนั้นจึงไม่มีพลังงานหลงเหลืออยู่แต่เมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้น (โดยพลังงานความร้อนหรือแสง เป็นต้น) โดยการให้พลังงานจะทำให้ระดับพลังงานจากแถบพลังงานวาเลนซ์ขึ้นไปอยู่ในแถบพลังงานนำกระแส วาเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมผลึกสามารถที่จะเคลื่อนที่หลุดออกไปนอกวงโคจรได้ ทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้นและสามารถเคลื่อนที่ไปได้กลายเป็นกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงเกิดสนามไฟฟ้าขึ้น อย่างไรก็ตามอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นมีจำนวนไม่มากนัก จึงนำกระแสได้น้อยกว่าอิเล็กตรอนในสารประเภทตัวนำแต่มีมากกว่าสารประเภทฉนวน ดังนั้นเราจึงเรียกสารพวกนี้ว่า สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

สำหรับซิลิกอนพลังงานที่จะกระตุ้นต้องมากกว่า 1.1 eV ซึ่งเป็นค่าพลังงานของแถบพลังงานช่องว่างที่จะทำให้อิเล็กตรอนแต่ละตัวถูกกระตุ้นให้ไปอยู่ในแถบพลังงานนำกระแสจึงทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในแถบพลังงานวาเลนซ์จากการที่อิเล็กตรอนหลุดขึ้นไป ช่องว่างนี้ถูกเรียกว่า โฮล (Hole) โดยปกติเมื่ออิเล็กตรอนอิสระหลุดจากวงโคจร 1 ตัว ก็จะทำให้เกิดโฮลขึ้น 1 ที่ ดังนั้นจำนวนอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์จะมีค่าเท่ากัน เมื่อเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าในเนื้อสารการไหลของโฮลและอิเล็กตรอนอิสระจึงมีจำนวนเท่ากัน แต่มีทิศทางการไหลตรงข้ามกัน เนื่องจากจำนวนโฮลและอิเล็กตรอนอิสระของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์มีจำนวนน้อยเกินกว่าจะนำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจังได้ เรามีวิธีการทำให้จำนวนอิเล็กตรอนอิสระและโฮลเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยใช้ขบวนการที่เรียกว่า การโด๊ป (Doping)

การโด๊ป หมายถึงการเติมอะตอมของสารเจือปน (Impurity) ลงในผลึกของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่โด๊ปแล้วเรียกว่า สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic Semiconductor) ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ยังไม่ถูกโด๊ปเรียกว่า สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor) การโด๊ปทำได้โดยการหลอมสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ให้ละลายแล้วเติมสารเจือปนลงไปให้เป็นเนื้อเดียวกัน สารเจือปนที่เติมจะเป็นธาตุกลุ่ม 3 หรือ 5 ในตารางธาตุ ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 หรือ 5 ตัว

การเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว อะตอมของสารเจือปนหนึ่งตัว จะยึดเกาะกับอะตอมของสารกึ่งตัวนำ 4 ตัว โดยโควาเลนต์ทำให้ขาดอิเล็กตรอนไป 1 ตัว จึงเกิดเป็นที่ว่างที่เรียกว่า โฮล ลักษณะของสารกึ่งตัวนำที่ได้นี้ จึงสามารถรับอิเล็กตรอนจากภายนอกได้อีก เพื่อให้จำนวนอิเล็กตรอนในบอนด์มีครบจำนวน สารเจือปนที่เติมให้นี้จึงมีชื่อเรียกว่า สารเจือปนผู้รับ (Acceptor Impurity) เมื่อเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวน 5 ตัว อะตอมของสารเจือปนหนึ่งตัว จะยึดเกาะกับอะตอมข้างเคียงด้วยโควาเลนต์บอนด์เช่นกัน แต่ในการยึดเกาะกันจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีอิเล็กตรอนหลงเหลืออยู่ 1 ตัว ที่ไม่สามารถจะเข้ามาจับในบอนด์ได้ อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ อะตอมของสารเจือปนที่เติมให้จึงมีชื่อเรียกว่า สารเจือปนผู้ให้ (Donor Impurity)

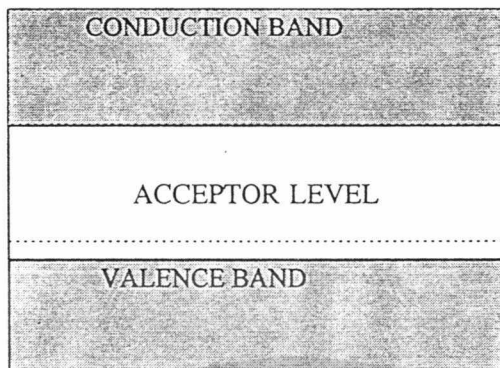
เมื่อเติมธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว เช่น สารหนู (Arsenic) พลวง (Antimony) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้นในเนื้อสาร อิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีค่าพลังงานในตัวมันเองสูงและไม่ต้องใช้พลังงานในการยึดเกาะ ค่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนอิสระนี้ จะอยู่ใกล้เคียงกับระดับพลังงานแถบนำกระแสมากถ้าอิเล็กตรอนเหล่านี้ได้รับพลังงานอีกเพียงเล็กน้อยก็จะนำไฟฟ้าได้ทันที ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนนี้เรียกว่า ระดับพลังงานผู้ให้ (Donor Level) สารกึ่งตัวนำที่ได้เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิด N (N-type Semiconductor) ซึ่ง N มาจากคำว่า Negative หมายถึงอิเล็กตรอนอิสระ



รูปที่ 2.19 แถบพลังงานผู้ให้

เมื่อเติมธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว เช่น โบรอน (Boron) อลูมิเนียม (Aluminium) แกลเลียม (Gallium) เป็นต้น ลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์จะทำให้เกิดโฮลขึ้นในเนื้อสาร ถ้าอิเล็กตรอนที่อยู่ข้างเคียงกับโฮลได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็สามารถเข้ามาแทนที่โฮลเพื่อให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะที่สมดุล เราสมมติให้โฮลมีระดับพลังงานค่าหนึ่งที่อยู่ใกล้กับพลังงานในแถบวาเลนซ์อิเล็กตรอนที่อยู่ในบอนด์ซึ่งมีพลังงานอยู่ในแถบวาเลนซ์สามารถกระโดดเข้ามาที่ระดับพลังงานของโฮล เพื่อเข้าแทนที่โฮลในบอนด์ได้ง่ายเราเรียกค่าระดับพลังงานของโฮลนี้ว่าระดับพลังงานผู้รับ (Acceptor Level) สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปแบบนี้จึงเรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิด P (P-type Semiconductor) ซึ่ง P มาจากคำว่า Positive หมายถึง โฮล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แถบพลังงานผู้รับ

### 2.7.3 การเปล่งและการดูดกลืนแสง (Emission & Absorption)

เมื่อพิจารณาตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงที่ใช้สำหรับการสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง ปัจจุบันนี้จะถูกผลิตขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำตามที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถที่จะสร้างกระแสไฟฟ้าขึ้นมาได้ หากมีพลังงานภายนอกเข้ามากระตุ้น ดังนั้นหากพลังงานภายนอกนั้นเป็นพลังงานแสง สารกึ่งตัวนำนั้นก็จะเป็นตัวรับแสงได้และทำนองกลับกันหากเรากระตุ้นให้สารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่งก็จะทำให้สารกึ่งตัวนำนั้นปลดปล่อยโฟตอนออกมาได้ทำให้เกิดการเปล่งแสงขึ้น สารกึ่งตัวนำนี้ก็จะเป็นตัวกำเนิดแสงได้เช่นเดียวกัน การเปล่งแสงและการดูดกลืนแสงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำซึ่งมีอยู่ 3 ลักษณะ ดังนี้คือ

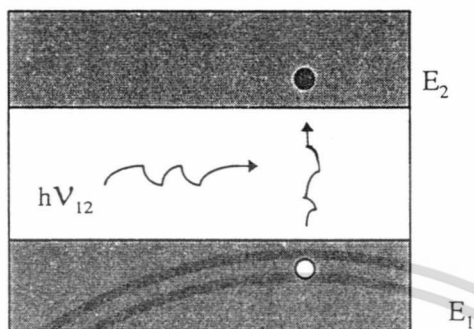
1. การดูดกลืนแสง (Photon Absorption)
2. การเปล่งแสงโดยตนเอง (Spontaneous Emission)
3. การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น (Stimulated Emission)

#### การดูดกลืนแสง

เมื่อแสงตกกระทบสารกึ่งตัวนำ พลังงานแสงที่เรียกว่า พลังงานโฟตอน จะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบพลังงานวาเลนซ์ ทำให้อิเล็กตรอนตัวนั้นเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานขึ้นไปอยู่ในแถบพลังงานนำกระแส นั่นคือพลังงานโฟตอนจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นในสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ จึงมีคุณสมบัติเป็นตัวรับแสงได้ พลังงานโฟตอนที่มากระตุ้นจะต้องมีพลังงานอย่างน้อยเท่ากับพลังงานช่องว่าง (Energy Gap) แต่ขณะเดียวกันพลังงานโฟตอนจะขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับความยาวคลื่นแสง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำนั้นจะรับแสงได้เฉพาะความยาวคลื่นแสงที่แน่นอนเท่านั้น

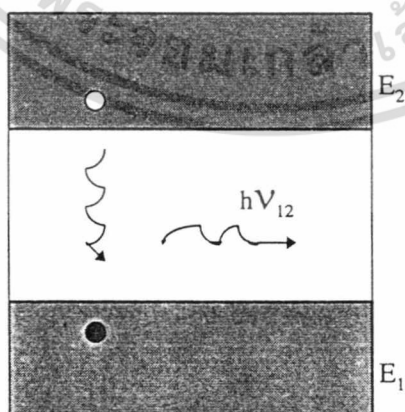


รูปที่ 2.21 Photon Absorption

#### การเปล่งแสงโดยตนเอง

เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบพลังงานนำกระแสและ โฮลที่อยู่ในแถบพลังงานวาเลนซ์มีจำนวนมากเกินกว่าปกติ จะทำให้อิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งสละระดับพลังงานจากแถบพลังงานนำกระแสมารวมกับ โฮลในแถบพลังงานวาเลนซ์ จึงต้องคายพลังงานส่วนหนึ่งออกมาเท่ากับพลังงานช่องว่าง โดยเป็นพลังงานแสงที่เรียกว่า Photo Energy

เนื่องจากอิเล็กตรอนและ โฮลจะรวมตัวกันได้โดยธรรมชาติเป็นไปอย่างอิสระ ดังนั้นแสงที่เกิดขึ้นจึงเป็นแบบโมโนโครม (Monochrome) การเปล่งแสงโดยตัวเองแบบนี้จะพบได้ในตัวกำเนิดแสงแบบ LED

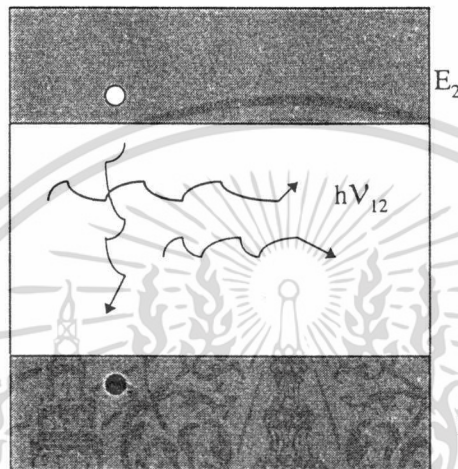


รูปที่ 2.22 Spontaneous Emission

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น

การเปล่งแสงโดยการกระตุ้นนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนและโฮลถูกกระตุ้นให้รวมตัวกันโดยพลังงานโฟตอน พลังงานที่คายออกมาจากอิเล็กตรอนจะกลายเป็นโฟตอนตัวใหม่ที่มีความยาวคลื่นและเฟสตรงกันกับโฟตอนที่ใช้ในการกระตุ้น โฟตอนตัวใหม่นี้จะรวมตัวกับโฟตอนตัวเก่าทำให้กำลังแสงที่เปล่งออกมามีพลังงานเพิ่มขึ้น แสงที่ได้จะเป็นแบบโคฮีเรนต์ (Coherent) ซึ่งการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นจะพบได้ในตัวกำเนิดแสงแบบเลเซอร์ (Laser)



รูปที่ 2.23 Stimulated Emission

## 2.8 แหล่งกำเนิดแสง (Light Sources)

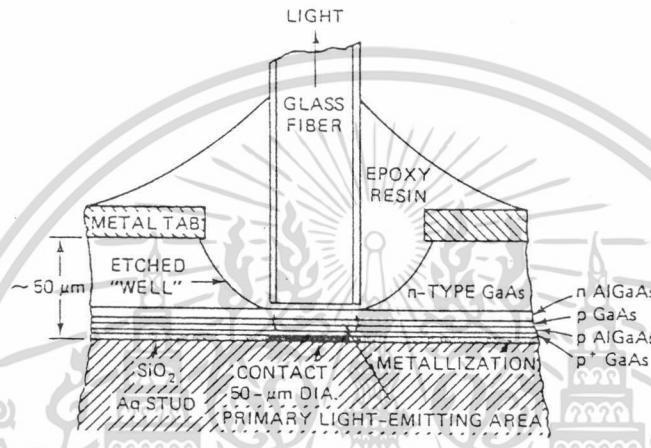
ตัวกำเนิดแสง เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งในการสื่อสารทางแสงซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในแถบความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และแถบอินฟราเรด (Infrared) ซึ่งพลังงานที่กำเนิดออกมาจะเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นหรือความถี่เดียว และมีเฟสสม่ำเสมอ เราเรียกแหล่งกำเนิดแสงนั้นว่า Coherent Source แต่หากแหล่งกำเนิดแสงมีหลายความยาวคลื่นแตกต่างกันและมีเฟสไม่สม่ำเสมอตัวกำเนิดแสงแบบนี้เรียกว่า Incoherent Source

ตัวกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสงได้แก่ เลเซอร์ไดโอด Laser Diodes (LD) และ Light Emitting Diodes (LED) บริเวณที่มีการเปล่งแสงของทั้ง LED และ LD เกิดขึ้นบริเวณ p-n Junction ที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำ กลุ่ม 3 และ 4 ในตารางธาตุ ซึ่งอาจจะเกิดในลักษณะ Radiative Recombination คือคายโฟตอนออกมาหรือคายพลังงานออกมาในรูปอื่นที่เรียกว่า Nonradiative Recombination

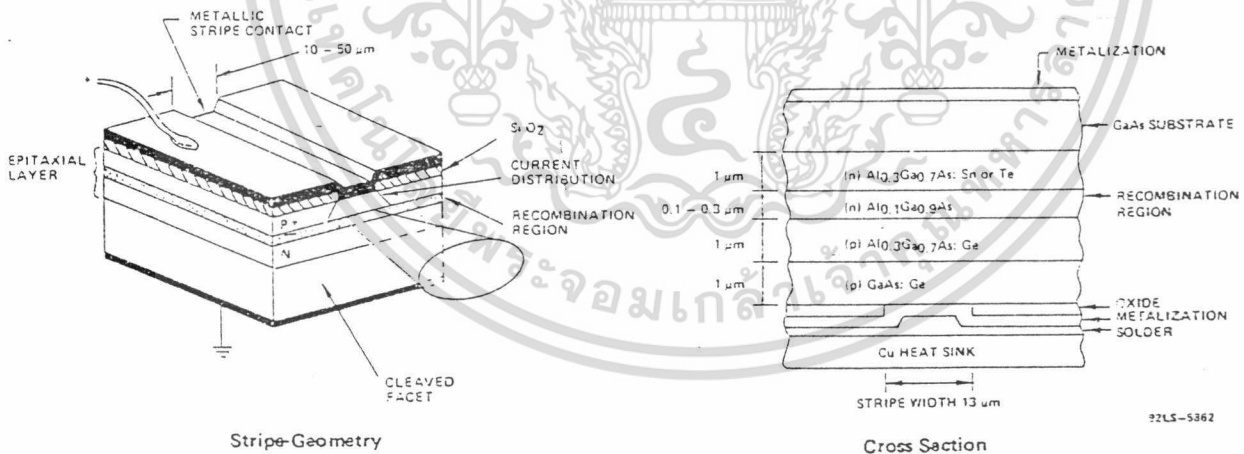
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 Light Emitting Diode (LED)

โครงสร้างที่ทำให้เกิดการเปล่งแสงใช้ p-n Junction โดยใช้การ Bias แบบ Forward Bias การเปล่งแสงใน LED เป็นแบบการเปล่งแสงโดยตนเองแสงที่เปล่งออกมาจะมี Radiation Pattern กว้างมากทำให้ประสิทธิภาพการส่งพลังงานแสงต่ำซึ่งถูกจำกัดโดย NA (Numerical Aperture) เกิด Coupling Loss สูง ดังนั้นเพื่อให้ LED มีประสิทธิภาพสูงจึงได้มีการปรับปรุงโครงสร้างของ LED โดยที่นิยมใช้มี 2 แบบคือ Surface Emitting LED และ Edge Emitting LED



รูปที่ 2.24 Surface Emitting LED



รูปที่ 2.25 Edge Emitting LED

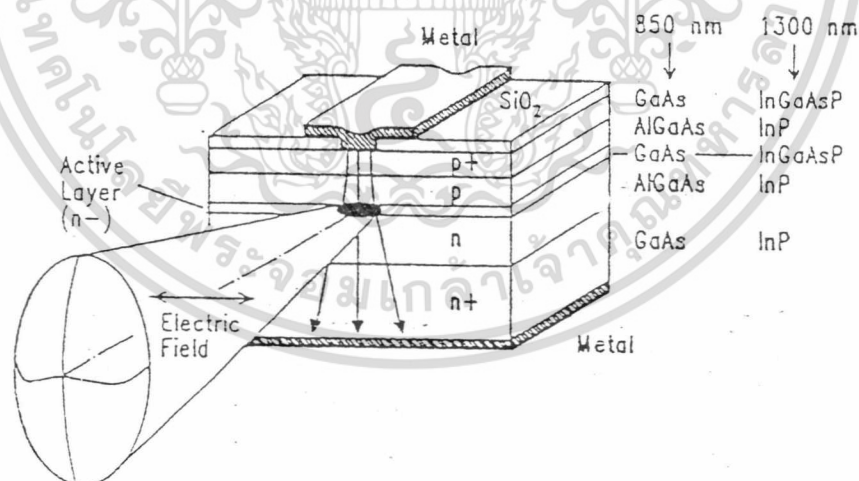
โครงสร้างทั้ง 2 แบบนี้ถูกออกแบบให้สามารถ Coupling เข้ากับเส้นใยนำแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8.2 Laser Diode (LD)

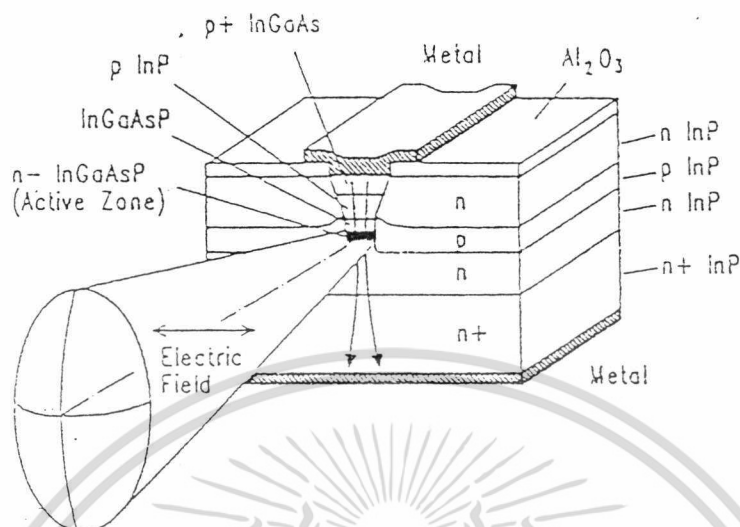
เลเซอร์เป็นตัวกำเนิดแสงที่ให้แสงแบบ Coherent ซึ่งเกิดขึ้นจากการเปล่งแสงโดยการกระตุ้น ภายใต้สภาวะสมดุลจะมีการเปล่งแสงโดยตัวเองเกิดขึ้นในอัตราที่สูงกว่าการเปล่งแสงโดยการกระตุ้น ถ้าตัวกำเนิดแสงทำงานที่อุณหภูมิต่ำและความถี่สูงอัตราการเกิดการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นก็จะยิ่งน้อยมากจะเห็นว่าขบวนการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นจะต้องพยายามเอาชนะขบวนการเปล่งแสงโดยตนเองและการดูดกลืนแสง ดังนั้นหากเราต้องการให้เกิดการขยายแสงด้วยการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นเราต้องเพิ่มอัตราการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นให้สูงกว่าอีก 2 ขบวนการ

การขยายแสงในเลเซอร์เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนตัวหนึ่งไปชนกับอะตอมที่ถูกกระตุ้นแล้วกระตุ้นให้ปล่อยโฟตอนตัวที่ 2 ออกมาโฟตอนทั้ง 2 ตัวนี้ จะไปกระตุ้นให้มีการปล่อยโฟตอนตัวอื่นอีก 2 ตัว ขบวนการนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และทำให้เกิด Avalanche Multiplication และเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ที่สัมพันธ์กับโฟตอนเหล่านี้มีเฟสตรงกัน เราจะได้ Coherent Emission ที่ถูกขยายแล้วออกมา เลเซอร์ผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำที่ไม่แตกต่างจาก LED มากนัก คือเป็น p-n Junction ในการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นจะต้องมีบริเวณที่มีอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นและโฮลอยู่ร่วมกันซึ่งทำได้โดยการ Forward Bias แก่ Junction ที่มีการโคปอย่างหนัก โครงสร้างของตัวกำเนิดแสงแบบเลเซอร์แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.26 และ 2.27



รูปที่ 2.26 Gain-Guided Double-Heterostructure LASER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 Index-Guided Buried Heterostructure (BH) LASER

### 2.8.3 ข้อเปรียบเทียบระหว่าง LD กับ LED

ทั้ง LD และ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่กำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับระบบการสื่อสารทางแสง เพราะมีขนาดเหมาะสมกับเส้นใย เปลี่ยนแสงในช่วงความยาวคลื่น 0.8 - 0.9  $\mu\text{m}$  และ 1.3 - 1.6  $\mu\text{m}$  ซึ่งเป็นบริเวณที่เส้นใยนำแสงมีการสูญเสียต่ำ Output ของทั้ง LD และ LED สามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนค่า Bias Current ทำให้ง่ายต่อการ Modulate ความเชื่อถือได้สูง อายุการใช้งานยาวนาน

ส่วนข้อแตกต่างของ LD กับ LED คือ พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจาก LD จะเป็นแบบ Coherent ส่วน LED พลังงานแสงจะเป็นแบบ Incoherent ดังนั้นการใช้งานก็จะแตกต่างกันไป LD จะเปล่งแสงที่มี Spectral Width แคบกว่า LED ซึ่งมีผลต่อปริมาณของแสงที่สามารถ Coupling เข้าไปในเส้นใยนำแสงและ Chromatic Dispersion ในเส้นใยนำแสง ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งคือ LD จะมี Speed เร็วกว่า LED

ในการเลือกตัวกำเนิดแสงให้เหมาะสมกับเส้นใยนำแสง เราต้องคำนึงถึงการลดทอน, Bandwidth, Power, Spectral Width, Radiation Pattern และ Modulation Capacity ของตัวกำเนิดแสงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2-5 การเปรียบเทียบระหว่าง LD กับ LED

	LED (Light Emitting Diode)	LD (Laser Diode)
Optical Bandwidth	20 - 50 nm	1 - 2 nm
Power in fiber	- 10 dBm	5 dBm
Modulation frequency	300 MHz	5 GHz
Lifetime	$10^7$ hrs	$10^6$ hrs
Temperature dependence	low	high
Construction	simple	complicated
Costs	relatively low	relatively high
Application	multimode fibers	monomode fibers

จากคุณสมบัติของตัวกำเนิดแสงที่ใช้ LD จะเห็นว่าเหมาะสมที่จะใช้กับเส้นใยนำแสงชนิด Single Mode ซึ่งมี core เล็กมากเพราะตัวกำเนิดแสงแบบ LD นี้จะมีลำแสงที่ส่งออกมาเป็นทิศทางเฉพาะคือมีลำแสงแคบ ส่วนตัวกำเนิดแสงแบบ LED นั้นเหมาะสมกับเส้นใยนำแสงแบบ Multi Mode เพราะมีลำแสงกว้างจะไม่สามารถ Coupling ได้อย่างมีประสิทธิภาพหากนำไปใช้กับเส้นใยนำแสงแบบ Single Mode

### 2.8.4 คุณสมบัติของตัวกำเนิดแสง

1. Output Power ตัวกำเนิดแสงที่ดีควรสามารถให้กำเนิดแสงที่มีกำลังงานระหว่าง 10 -100 mw
2. Operating Wavelength ตัวกำเนิดแสงที่ดีควรเปล่งแสงมีความยาวคลื่นประมาณ 1.0 - 1.5  $\mu\text{m}$  ซึ่งเส้นใยนำแสงจะมีการสูญเสียของแสงต่ำที่ความยาวคลื่นช่วงนี้
3. Spectral Width ตัวกำเนิดแสงที่ดีต้องมี Spectral Width แคบ เพราะจะมีผลต่อ Transmission Bandwidth ตามปกติเราต้องการ Bandwidth กว้าง เพื่อจะได้สามารถส่งข้อมูลได้มาก จึงต้องพยายามลด Spectral Width ลง
4. Modulation ตัวกำเนิดแสงที่ดีต้องกำเนิดแสงที่สามารถ Modulation กับสัญญาณไฟฟ้า ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. Reliability ความเชื่อถือได้ของตัวกำเนิดแสงที่ดีขึ้นอยู่กับอายุการใช้งาน ซึ่งต้องมีอายุการใช้งานยาวนานถึง  $10^6$  -  $10^7$  ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. รูปร่างและน้ำหนักตัวกำเนิดแสงที่ดีต้องมีรูปร่างและน้ำหนักที่เหมาะสม
7. ราคา ต้องมีราคาต่ำเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่น ๆ

## 2.9 อุปกรณ์รับแสง

ในระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสง อุปกรณ์รับแสงจัดว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญตัวหนึ่ง ซึ่งจะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณทางแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และต้องมีความสามารถในการทำงานสูง

คุณสมบัติที่ดีของอุปกรณ์รับแสงได้แก่

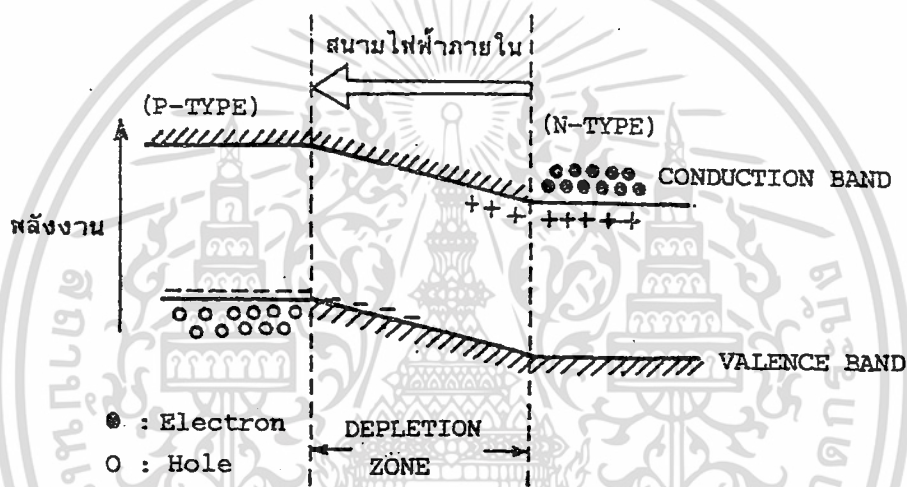
1. ต้องมีความไวสูงเฉพาะในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ เนื่องจากในการส่งสัญญาณแสง จะใช้ความยาวคลื่นแสงในช่วงเฉพาะ ดังนั้นหากมีแสงในช่วงความยาวคลื่นอื่นมาตกกระทบ ก็จะทำให้ข้อมูลมีการผิดพลาดได้
2. มีความถูกต้องและแม่นยำสูงในการตรวจวัดสัญญาณ
3. ช่วงเวลาในการตอบสนองสั้น เพื่อให้การแปลงข้อมูลได้ถูกต้องรวดเร็ว
4. สัญญาณรบกวนจากสภาพแวดล้อมต้องมีค่าน้อยที่สุด กล่าวคือ dark current leakage current และ shunt conductance ต้องมีค่าต่ำ รวมถึง gain mechanism ภายในตัว detector ที่สัมพันธ์กันในวงจร จะต้องมีสัญญาณรบกวนต่ำ
5. ลักษณะการทำงานต้องมีเสถียรภาพ กล่าวคือ อุณหภูมิต้องไม่มีผลต่อการใช้งาน เนื่องจากคุณลักษณะการทำงานของ detector ในทางอุดมคตินั้นจะไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ในทางปฏิบัติ detectors (photodiode) จะมีคุณลักษณะต่าง ๆ (sensitivity , noise , internal gain) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องมีการชดเชยผลของอุณหภูมินี้เท่าที่จำเป็น
6. มีขนาดเล็กเหมาะสมกับเส้นใยนำแสง และสะดวกในการประกอบวงจร
7. มีความน่าเชื่อถือสูง คือมีอายุการใช้งานยาวนาน และสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้เป็นเวลาหลายปี
8. ราคาถูกเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่น

### 2.9.1 หลักการตรวจวัดสัญญาณแสง

หลักการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า จะใช้ขบวนการดูดกลืนพลังงาน กล่าวคือ เมื่อมีแสงมากระทบสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนที่อยู่ใน valence band จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ conduction band แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และ

ในที่สุคนั้นจะไปรวมกันใหม่กับโฮล ใน valence band อีก ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ไฟฟ้าทางแสง (photo electric effect) ด้วยเหตุนี้เพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าจะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับโฮล ก่อนที่มันจะรวมตัวกัน

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำ ก็เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือเพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับโฮลนั้น โดยทั่วไปจะใช้ PN-junction โดยที่รอยต่อของ P-N นั้นจะเกิดสนามไฟฟ้า (Space Electric Field) ขึ้นมา แต่มันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของ N-type และโฮลของ P-type ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็น - และ + ตามลำดับ เป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นตรงรอยต่อนี้เรียกว่า Depletion Zone ดังแสดงในรูปที่ 2.28



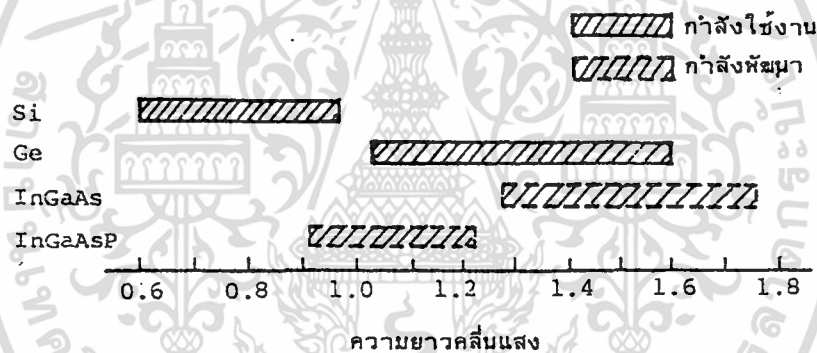
รูปที่ 2.28 แสดง Depletion Zone

ในสภาพเช่นนี้เมื่อมีแสงมาตกกระทบทางด้าน P-type แสงนั้นจะถูกดูดกลืนพร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปทางบริเวณ N-type แต่ที่ Depletion Zone อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากการดูดพลังงานแสงจะถูกสนามไฟฟ้าแยกไปในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ อิเล็กตรอนเคลื่อนไปทางด้าน N-type และโฮลไปทางด้าน P-type หนึ่งทีบริเวณซึ่งอยู่ห่างจาก Depletion Zone นั้น เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจาก Photo Electric Effect จะรวมตัวกันใหม่ในระหว่างเคลื่อนที่ แต่สำหรับอิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่เข้าไปในสนามไฟฟ้าแล้วนั้น จะสามารถเข้าไปยังบริเวณตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้คือจะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับปริมาณอิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกแยกกันระหว่างปลายทั้งสองของ P-type และ N-type ถ้าหากนำวงจรภายนอกมาต่อกับกับปลายทั้งสองนี้ จะทำให้อิเล็กตรอนและโฮลสามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรภายนอก นั่นคือมีกระแสไหลนั้น

เอง กระแสที่เกิดขึ้นที่ Depletion Zone นี้เรียกว่า Drift Current ส่วนกระแสที่เกิดขึ้นตรงบริเวณที่อยู่ห่างจาก Depletion Zone ออกไป เรียกว่า Diffusion Current และกระแสนี้เป็นหลักการของการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า

## 2.9.2 สารที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์รับแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นก็จะมีสารหลายชนิด นอกจากนั้นผลต่างของพลังงานของ Conduction Band และ Valence Band ของอุปกรณ์รับแสงมีค่าแตกต่างกัน ทำให้มีย่านความยาวคลื่นต่างกันที่ดูดกลืนแสงที่เข้ามาได้ง่าย (ความไวในการรับแสงดี) คุณสมบัติความไวในการรับแสงของสารแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 2.29



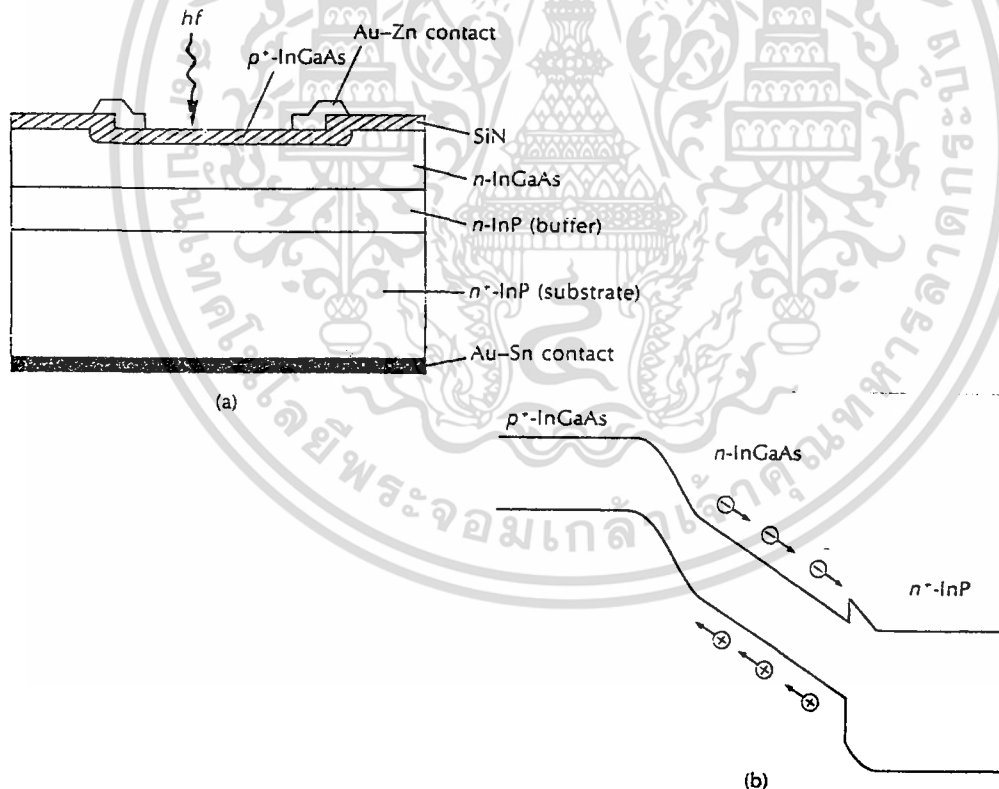
รูปที่ 2.29 แสดงความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้นจะต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 1  $\mu\text{m}$  จะใช้ Si (Silicon) สำหรับย่านความยาวคลื่นจาก 1 ~ 1.7  $\mu\text{m}$  ใช้ Ge (Germanium) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นในปัจจุบันสำหรับความยาวคลื่นในช่วง 1.55  $\mu\text{m}$  เป็นความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียในเส้นใยนำแสงน้อยมาก การใช้งานอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจากสารที่เป็นสารประกอบของสารกึ่งตัวนำ InGaAs และอื่น ๆ ซึ่งมีความไวในการรับแสงดีมากนั้น กำลังได้รับความนิยมนำไปใช้เรื่อย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.3 PHOTO DIODE (PD)

PD เป็นพวกที่ได้รับความนิยมแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ตัวอย่างของ PD คือ p-i-n PD ดังแสดงในรูปที่ 2.30 p-i-n หมายถึง ในสารกึ่งตัวนำ P-type และ N-type มีสารกึ่งตัวนำแบบ Intrinsic (I) คั่นอยู่ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า Drift Current นั้นเกิดขึ้นใน Depletion Zone และผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองเร็ว แต่ในทางตรงกันข้าม Diffusion Current ที่เกิดขึ้นภายนอก Depletion Zone นั้นมีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของ Depletion Zone ยิ่งมีความกว้างมากเท่าใด Quantum Efficiency และความเร็วของการตอบสนองความถี่ยิ่งดีขึ้น ความกว้างของ Depletion Zone นี้ ถ้าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮลของ P และ N ยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบ I ที่คั่นกลางระหว่าง P กับ N จึงทำหน้าที่เพื่อให้ความกว้างของ Depletion Zone กว้างขึ้นนั่นเอง เนื่องจาก PD ที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้นโดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้ p-i-n PD



รูปที่ 2.30 แสดงหลักการทำงานรับแสงและระดับพลังงานของ p-i-n PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.9.4 AVALANCHE PHOTO DIODE (APD)

APD นั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย Avalanche ของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับ PD แล้ว APD เป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสจำนวนมาก หลักการทำงานของ APD แสดงดังรูปที่ 2.31 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้าน P ของ p-n Junction จะมีสารกึ่งตัวนำแบบ P-type ที่มีความหนาแน่นของโฮลสูง ( $P^+$  ในรูป) โดยการทำให้เช่นนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้เคียง ๆ รอบต่อที่มี P-LAYER เป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ดูดแสงที่มาจากกระทบจากด้าน  $P^+$  และถูกกระตุ้นจาก Valence Band ไปยัง Conduction Band ในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่งและผ่าน P-LAYER นั้นมันจะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่าผลต่างของพลังงานของ Conduction Band กับ Valence Band จากผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ใน Valence Band และทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่ได้ และอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่นี้ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีก ทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่ออกมาอีก เมื่อขบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่องกัน จำนวนของอิเล็กตรอนกับโฮลจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากมาย เป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า Avalanche Multiplication ผลนี้ทำให้กระแสถูกขยายนั่นเอง

#### 2.9.5 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินจากคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ Quantum Efficiency ซึ่งแสดงว่าแสงที่รับมานั้นถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากเท่าไร ความไวการรับแสง (ระดับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบระยะเวลาการถ่ายภาพของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้น และความเร็วของการตอบสนองการทำงาน สำหรับ Quantum Efficiency กำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

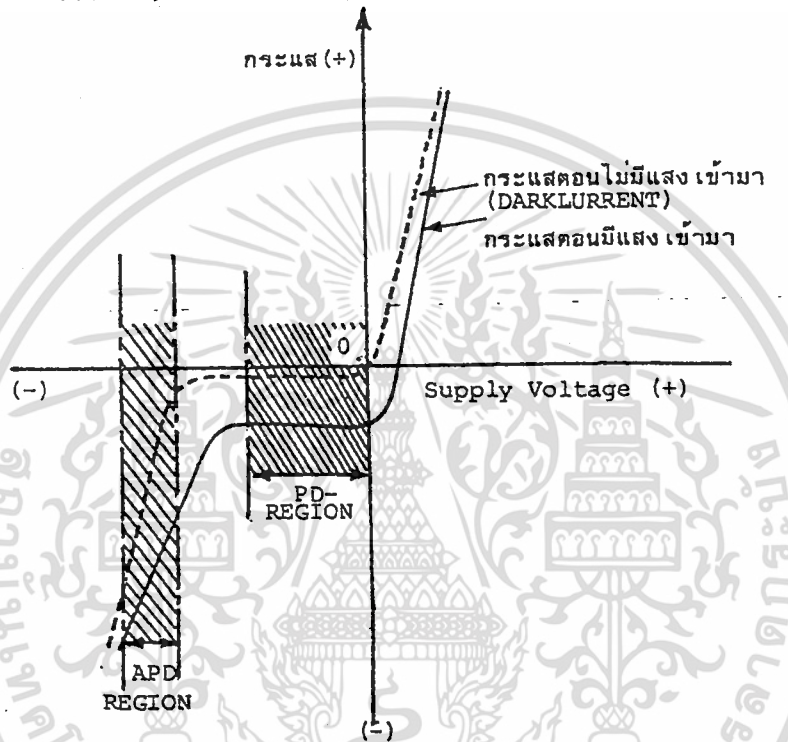
เนื่องจาก APD ใช้ปรากฏการณ์การขยาย Avalanche ตามที่กล่าวมาแล้วในตอนต้นดังนั้นมีความไวสูงประมาณ 10-20 dB (10-100 เท่า) เมื่อเทียบกับ PD สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งๆที่เรียกว่า Shot Noise ซึ่งเป็น Noise อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ Photo Current ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบทางเวลาหรือทาง Space คุณสมบัติของ Shot Noise เป็นดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\text{Shot Noise Current} \propto I_0 M^{2+F}$$

- ในที่นี้
- M เป็นอัตราขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง
  - $I_0$  เป็น Photo Current เมื่อ  $M=1$  (กรณีของ PD)
  - F เป็น Excess Noise Figure มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

นั่นคือ จากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงเท่ากัน ถ้าหากทำให้แรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับที่ป้อนให้มีค่าสูงและทำให้อัตราการขยายของกระแสเพิ่มมากขึ้นนั้น สัญญาณออก (Output Signal,  $I_0 M^2$ ) จะเพิ่มมากขึ้นด้วยแต่ Shot Noise ก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงทั่วไปแสดงดังรูป 2.31 จากรูปจะช่วยให้เข้าใจความแตกต่างของบริเวณการทำงานของ APD และ PD ได้ดี และในรูป 2.31 นี้ ได้แสดงการไหลของกระแสที่เรียกว่า Dark Current ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับป้อนให้แต่ไม่มีแสงเข้ามาด้วย



รูป 2.31 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และ Photo Current

กระแส Dark Current นี้ มีลักษณะพิเศษคือ มันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณออก (Output Signal) Shot Noise เป็นสิ่งที่เกิดจาก Dark Current และอื่น ๆ ที่เป็นแหล่งต้นกำเนิดกรณิของ PD เนื่องจาก  $M = 1$  ดังนั้น Shot Noise จึงไม่มีค่ามากแต่สำหรับกรณิของ APD จำเป็นต้องระวังเกี่ยวกับค่าของ  $M$

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง นอกจากจะต้องคำนึงถึง Shot Noise นี้แล้วยังมี Thermal Noise ที่เกิดในวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่เกี่ยวกับสัญญาณแสงที่เข้ามา ดังนั้นในการออกแบบระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแสง จำเป็นต้องเลือกค่า  $M$  ที่เหมาะสมที่ทำให้ผลรวมของ Thermal Noise กับ Shot Noise มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับระดับของสัญญาณ

ความเร็วของการตอบสนองความถี่เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณแสงเข้ามาจนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์ดูดแสง แต่ในปัจจุบันเนื่องจากทั้ง PD และ APD สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GHz จึงไม่มีปัญหาในการใช้งาน การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของ PD กับ APD แสดงดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

หัวข้อ	Photo Diode	Avalanche Photo Diode
QUANTUM EFFICIENCY	~ 80 %	~ 80 %
ความไวการรับแสง (1)	- 15 ~ 20 dBm 0	- 30 ~ 40 dBm 0
ความเร็วการตอบสนองความถี่	~ หลาย GHz	~ หลาย GHz
อัตราขยาย	1	~ 500
ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน	0 ~ 20 V	30 ~ 200 V

(1) : เป็นค่าตรงจุดที่ code error rate เป็น  $10^{-11}$

## บทที่ 3

### การออกแบบวงจร

ในบทนี้จะกล่าวถึงวงจรที่ใช้ในโครงการ ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูล (เปลี่ยนจากไฟฟ้าเป็นแสง) และรับสัญญาณข้อมูล (เปลี่ยนจากแสงเป็นไฟฟ้า) โดยจะแยกอธิบายเป็นส่วนๆ ในแต่ละวงจรดังต่อไปนี้

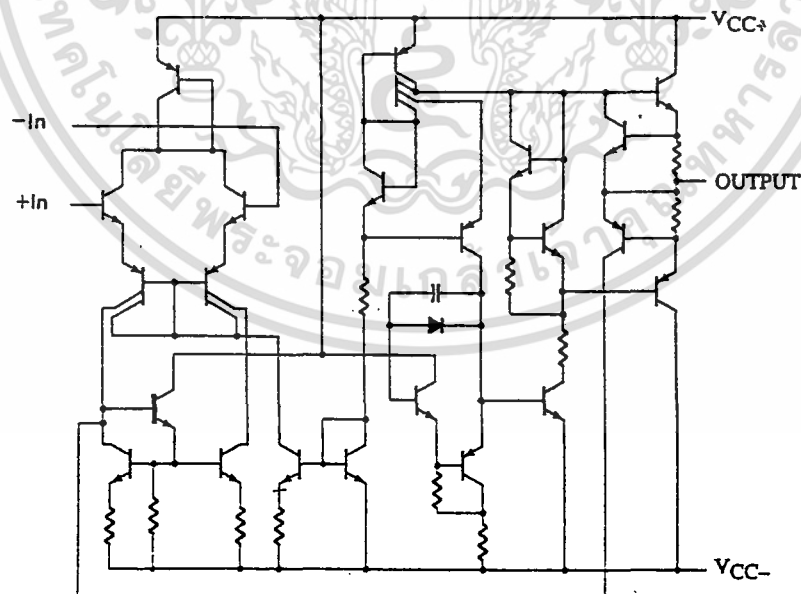
3.1 วงจรส่งสัญญาณแสง ซึ่งมี 2 ส่วนใหญ่ๆคือ

- วงจรขยายสัญญาณ (amplifier)
- วงจร driver LED และ LD (เลเซอร์ไดโอด)

#### 3.1.1 วงจรขยายสัญญาณ (amplifier)

ในส่วนของการขยายสัญญาณนี้เราจะใช้ ออปแอมป์ (Op-Amp) ในการขยายสัญญาณต่างๆ ที่เราจะนำมาขับ LED โดยเราจะกล่าวถึงดังนี้

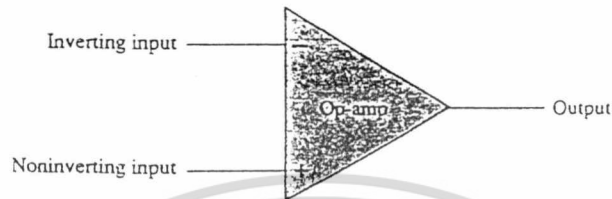
#### Operational Amplifier



รูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราขยายและอิมพีแดนซ์อินพุต  $Z_i$  หรือ  $R_i$  สูงมาก (มักเป็น  $M\Omega$ ) และมีอิมพีแดนซ์เอาต์พุต  $Z_o$  หรือ  $R_o$  ต่ำ (ต่ำกว่า  $100 \Omega$ ) วงจรอย่างง่ายของออปแอมป์ประกอบด้วย ขั้วอินพุต 2 ขั้ว และขั้วเอาต์พุต 1 ขั้วดังรูป



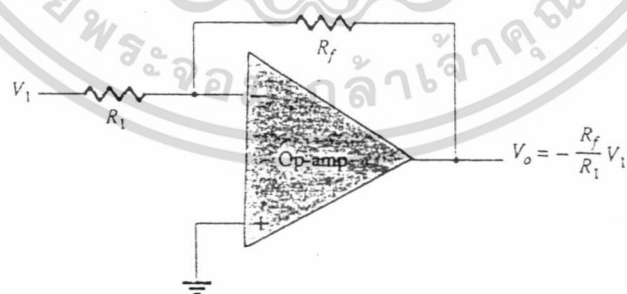
รูปที่ 3.2

ถ้าจ่ายสัญญาณอินพุตให้กับขั้วบวกของออปแอมป์ จะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีมุมอินเฟสกับสัญญาณอินพุต แต่ถ้าจ่ายสัญญาณอินพุตให้ขั้วลบของออปแอมป์ก็จะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีมุมต่างเฟสกับสัญญาณอินพุต  $180^\circ$  หรือมีมุมตรงกันข้ามกัน

### 1.) การใช้งานออปแอมป์

ออปแอมป์นำมาประกอบเป็นวงจรได้หลายประเภท แต่จะกล่าวถึงบางประเภทที่ใช้ในการขยายสัญญาณได้แก่ วงจรขยายกลับเฟส (Inverting Amplifier) วงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) วงจรขยายสัญญาณรวม (Summing Amplifier)

#### -- วงจรขยายกลับเฟส (Inverting Amplifier)



รูปที่ 3.3

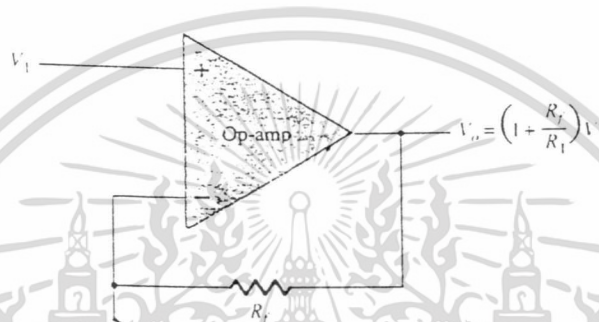
หาค่า  $V_o$  โดยการคูณ  $V_i$  ด้วยอัตราส่วนของความต้านทานป้อนกลับ ( $R_f$ ) ต่อความต้านทานอินพุต ( $R_i$ ) ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1}V_i$$

เครื่องหมายลบในสมการแสดงว่า สัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตมีมุมต่างเฟสกัน  $180^\circ$

-- วงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)



รูปที่ 3.4

เนื่องจาก  $V_i = 0$  จึงหาค่า  $V_i$  ได้โดยใช้กฎการแบ่งแรงดันไฟฟ้า ดังนี้

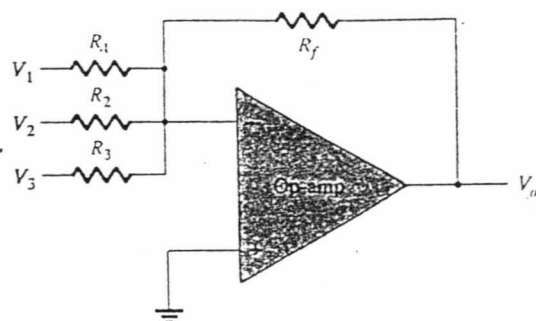
$$V_i = \frac{R_1 + R_f}{R_1}V_o$$

นอกจากนี้ 
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

-- วงจรขยายรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)

วงจรขยายรวมสัญญาณ คือวงจรขยายที่ให้ค่า  $V_o$  เท่ากับผลรวมของอัตราขยายสัญญาณอินพุตดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5

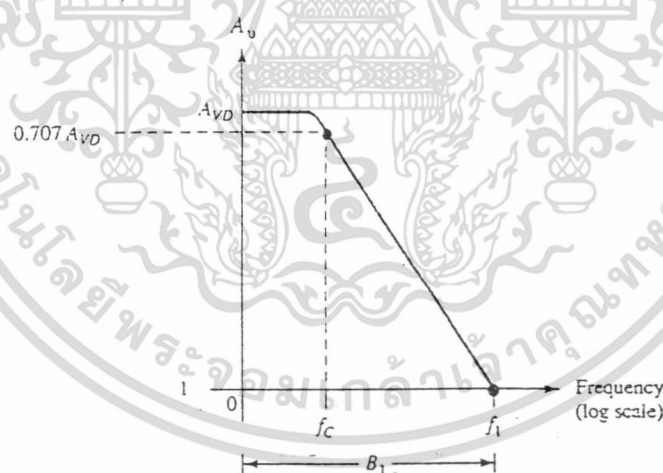
วงจรรวมสัญญาณคั่งรูป มีสัญญาณอินพุต 3 สัญญาณ ค่าแรงดันเอาต์พุตเกิดจากผลรวมของอัตราขยายสัญญาณอินพุตทั้งสาม

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3\right)$$

## 2.) การตอบสนองต่อความถี่ของออปแอมป์

-- อัตราขยายสัญญาณกับแบนด์วิดท์ (Gain - Bandwidth)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย ( $A_v$ ) กับความถี่ (frequency) แสดงให้ดูดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6

ที่ความถี่ศูนย์ ในสเปคกำหนดค่าสูงสุดของอัตราขยายรูปเปิด ( $A_{vo}$ ) ไว้ในรูปของอัตราขยายแรงดันดิฟเฟอเรนเชียล (Voltage Differential Gain) เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึง  $f_c$  อัตราขยายรูปเปิด ( $A_{vo}$ ) จะมีค่าลดลงเท่ากับ 1 เราจึงเรียกความถี่  $f_c$  นี้ว่า ความถี่ที่อัตราขยายเท่ากับ 1

สเปคกำหนดความถี่  $f$  นี้ไว้ในรูปแบบแบนด์วิดท์อัตราขยายเท่ากับ 1 (Unity Gain Bandwidth ; B) เนื่องจากช่วงความถี่จาก 0 จนถึง  $f$  นั้นเป็นช่วงของแบนด์วิดท์ด้วย

จากรูป จะสังเกตได้ว่าความถี่ ณ ตำแหน่งที่อัตราขยายลดลงเป็น 0.707A เราเรียกว่า ความถี่ตัดออฟ (Cut Off Frequency ;  $f$ ) ของออปแอมป์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ  $f$  ดังนี้คือ

$$f_1 = A_{VD} f_c$$

## -- อัตราสลัว (Slew Rate ; SR)

อัตราสลัว คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของ  $V_o$  ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ เวลาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t} \quad \text{V/}\mu\text{s}$$

เมื่อ  $\Delta V_o =$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุต  
 $\Delta t =$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลา

อัตราสลัวเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดอัตราสูงสุดในการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุต หากพยายามจะขับเอาต์พุตที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสูงกว่าอัตราสลัว เอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงได้ช้าและไม่เปลี่ยนแปลงตามพิกัดเต็มทีที่คาดไว้ ทำให้เกิดการตัดสัญญาณหรือการเพี้ยนของสัญญาณอินพุตได้

## -- ความถี่สูงสุดของสัญญาณ (Maximum Signal Frequency)

ระดับความถี่สูงสุดของสัญญาณ ที่ทำให้ออปแอมป์ยังคงทำงานได้ตามปกติหรือให้สัญญาณไม่เพี้ยนนั้น ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์แบนด์วิดท์ (B) และอัตราสลัว (SR) ของออปแอมป์ สำหรับเหตุผลพิจารณาได้จากสมการแรงดันเอาต์พุตชั่วขณะของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ดังนี้คือ

$$V_o = K \sin(2\pi ft)$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสูงสุด

$$K = A_{CL} V_i$$

เมื่อ  $K =$  แรงดันเอาต์พุตสูงสุด

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเพี้ยนของสัญญาณเอาต์พุต อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุดต้องมีค่าต่ำกว่า อัตราสลัวหรือ

$$2\pi f < SR$$

$$\omega K < SR$$

ดังนั้นความถี่สูงสุด ( $f$ ) จึงหาได้จาก

$$f \leq \frac{SR}{2\pi K}$$

$$\omega \leq \frac{SR}{K}$$

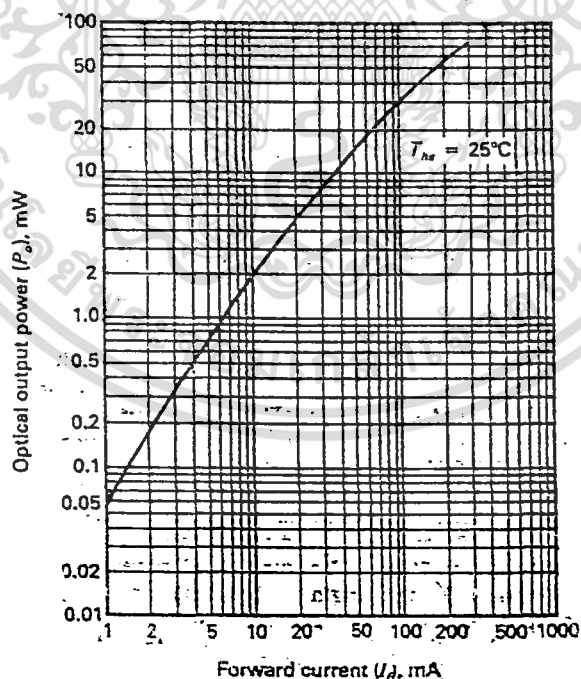
### 3.1.2 วงจร driver

- วงจร driver นั้นสามารถแบ่งได้ดังนี้

- 1.) วงจร driver LED
- 2.) วงจร driver LD (เลเซอร์ไดโอด)

-- วงจร driver LED

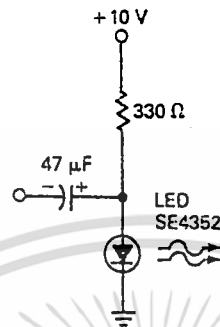
ในวงจร driver LED ที่เป็นการส่งสัญญาณแบบอนาลอกนั้นจะทำในลักษณะของ ac Modulation โดยจะดูจากกราฟการทำงานของ LED



รูปที่ 3.7 กราฟการทำงานของ LED

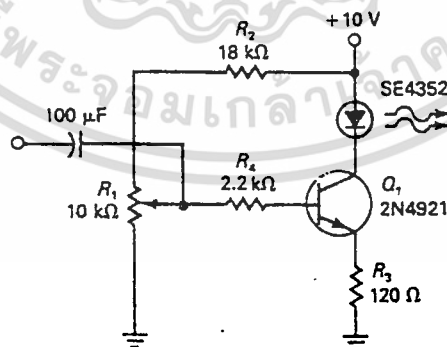
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อดูจากกราฟจะเป็นได้ว่าความเข้มแสงที่เปล่งออกมาจาก LED นั้น มีความสัมพันธ์กับกระแส ( $I_f$ ) ที่ไหลผ่าน LED คือเมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวมันมากขึ้นความเข้มแสงที่เปล่งออกมาจาก LED ก็จะมีค่ามากขึ้นตามด้วย



รูปที่ 3.8 เป็นลักษณะของ ac Modulation

เมื่อทำการไบอัสตรงกระแส ( $I_f$ ) ก็จะไหลผ่าน LED ก็จะทำให้ LED สว่าง โดยความเข้มแสงที่เปล่งออกมาจาก LED นั้นจะคงที่ในขณะที่ยังไม่ได้ทำการ Modulation สัญญาณ ac เข้าไป แต่เมื่อเราทำการให้ ac เข้ามา Modulation กระแส ( $I_f$ ) ที่ไหลผ่าน LED นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยค่ากระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณ ac ที่เข้ามา Modulation เป็นผลทำให้ความเข้มแสงของ LED นั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามไปด้วย โดยค่า R และแหล่งจ่ายไฟจะเป็นตัวกำหนดค่ากระแส ( $I_f$ ) ที่ไหลผ่าน LED โดยทั่วไปค่ากระแส ( $I_f$ ) นี้จะมีช่วงระหว่าง 10-50 mA. และ Voltage ที่ตกคร่อม LED ประมาณ 1.2-1.6 V.

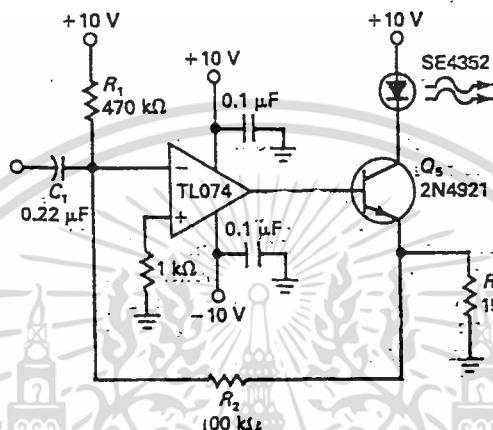


รูปที่ 3.9 LED driver amplifier

ดังรูปนี้เป็น วงจร driver LED ที่ใช้ Transistor เป็นตัวควบคุมตามสัญญาณที่เข้ามา มอดูเลต โดยที่  $R_1$  และ  $R_2$  ใช้ทำหน้าที่ในการกำหนดจุดไบอัสให้กับ Transistor เพื่อให้

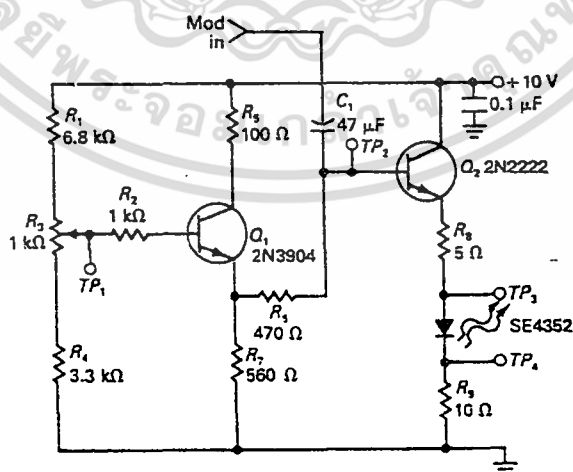
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistor ทำงานและควบคุมกระแส  $I_c$  โดยที่กระแส  $I_c = I_f$  เราจะทำการควบคุมกระแสที่ไหลผ่าน LED ได้โดยการปรับเปลี่ยนที่  $R_1$  โดย  $R_3$  เป็นตัวจำกัดกระแสของ LED และ  $Q_1$  เป็นตัวขยายสัญญาณที่นำเข้ามาออกดูเลต ส่วน  $R_4$  เป็นโหลดของ Transistor ความเข้มแสงที่เปล่งออกมาจาก LED นั้นมีความแตกต่างกัน ตามลักษณะของสัญญาณที่นำเข้ามาออกดูเลตเข้าที่ขาเบสของ Transistor



รูปที่ 3.10 LED driver and preamplifier

วงจรดังรูปที่ 3.10 นี้เป็นวงจร driver LED เหมือนดังวงจรที่แล้ว แต่เพิ่ม IC TL074 ขึ้นมาเพื่อเป็นการขยายสัญญาณที่จะนำเข้ามาออกดูเลตครั้งหนึ่ง ก่อนที่จะนำไป Trig ที่ขาเบสของ Transistor เพราะว่าบางคร้งนั้นสัญญาณที่เราจะนำเข้ามาทำการมอดูเลตนั้นมีขนาดของสัญญาณหรือแอมพลิจูดน้อยเกินไป



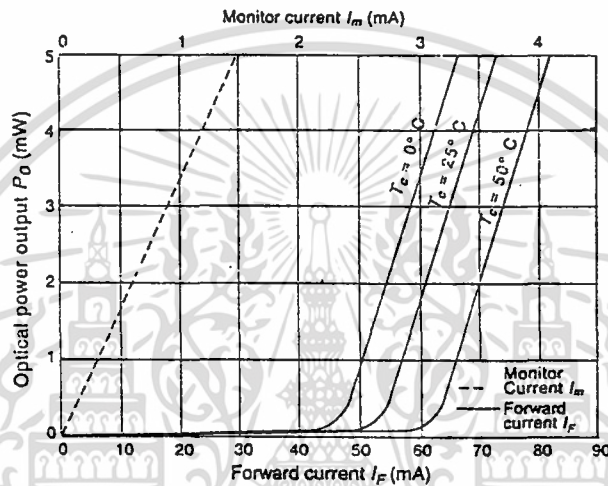
รูปที่ 3.11 LED modulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรมอดูเลชันนั้น กระแสที่ไหลผ่าน LED จะถูกควบคุมด้วยการ Modulation Transistor ( $Q_2$ ) นั้นจะเป็นตัวกำหนดระดับของกระแสที่ไหลผ่าน LED ส่วน Transistor ( $Q_1$ ) เป็นตัวขยายสัญญาณที่จะนำเข้ามาอดูเลต และเปลี่ยนไปตามการไบอัสที่ขาเบสจากคอลเล็กเตอร์ที่ควบคุมด้วยขาเบสของ  $Q_2$

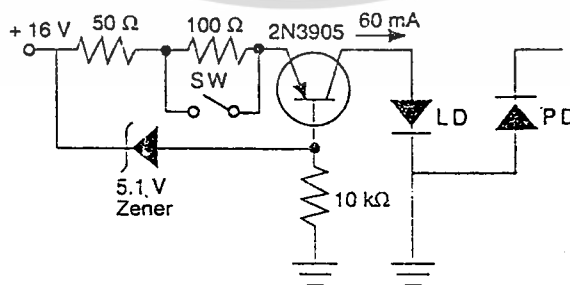
สัญญาณ ac ที่จะนำเข้าไปทำการมอดูเลตนั้นจะต้องผ่านตัวเก็บประจุก่อน เพื่อทำการบล็อก dc ไว้ ให้สัญญาณ ac ผ่านได้อย่างเดียว แล้วผ่านไปยัง Transistor  $Q_1$  หรือ  $Q_2$

-- วงจร driver LD (เลเซอร์ไดโอด)



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงการทำงานของ LD (เลเซอร์ไดโอด)

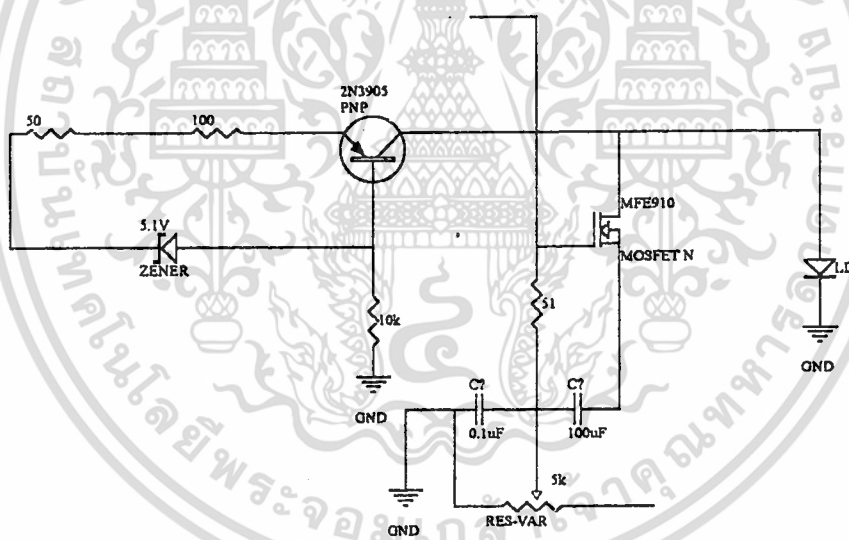
การใช้วงจรสำหรับขับ LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้น จะมีลักษณะแตกต่างไปจากวงจรขับ LED ตรงจุดที่จะให้ทำงาน โดยที่เมื่อดูจากกราฟจะเห็นว่าจุดทำงานของ LD (เลเซอร์ไดโอด) ไม่ได้เริ่มจากศูนย์แต่จะทำงานเมื่อถึงค่าที่กำหนดแล้วจึงจะทำงาน เพราะฉะนั้นเราจึงต้องทำการกระตุ้นหรือให้กระแส ( $I_p$ ) ไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) ก่อน จนถึงจุดที่ LD (เลเซอร์ไดโอด) ทำงาน แล้วจึงทำการมอดูเลตสัญญาณ ac เข้าไปในวงจร แล้วค่ากระแสไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสัญญาณ



รูปที่ 3.13 วงจรจ่ายกระแสคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรดังรูป เป็นวงจรสำหรับจ่ายกระแสคงที่ สำหรับใช้เป็นวงจรขับ LD (เลเซอร์ไดโอด) โดย LD (เลเซอร์ไดโอด) จะถูกขับจากแหล่งจ่ายกระแสคงที่ ซึ่งจะป้องกันการเปลี่ยนแปลงหรือ Transient ที่มาจากแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งอาจจะทำให้ LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้นพังได้ ตามวงจรมันสามารถปรับระดับกระแสได้ 2 ระดับที่แตกต่างกัน โดยการใช้สวิตช์เพื่อที่จะทำการลดหรือเพิ่มระดับของกระแสที่จะนำไปขับ LD (เลเซอร์ไดโอด)  $V_{be}$  ของ Transistor นั้นถูกกำหนดโดย Zener diode จะมีกระแสประมาณ 1.1 mA ไหลผ่านความต้านทาน  $10\text{ k}\Omega$  เมื่อผ่าน Transistor 2N3905 แล้ว ก็จะมีกระแสประมาณ 60 mA ไหลออกมาจากขาคอลเล็กเตอร์ นำไปขับ LD (เลเซอร์ไดโอด) ค่าความเข้มแสงที่เปล่งออกมาจาก LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้นจะมีค่าคงที่ตามกระแสที่ขับ เมื่อเราจะใช้ในการส่งสัญญาณอนาลอกนั้นเราต้องทำให้ลักษณะของ ac Modulation ซึ่งลักษณะของการมอดูเลตนั้นจะเหมือนกับการมอดูเลตสัญญาณของ LED



รูปที่ 3.14 Modulating circuit

จากรูปเป็นวงจรที่ใช้ในการส่งสัญญาณอนาลอก โดยเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง โดยใช้ขบวนการ ac Modulation ตามรูปจะเห็นว่าเราจะทำการขับ LD (เลเซอร์ไดโอด) ด้วยกระแสคงที่ ค่ากระแสที่ใช้ในการขับ LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้นจะต้องเกินจุดทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

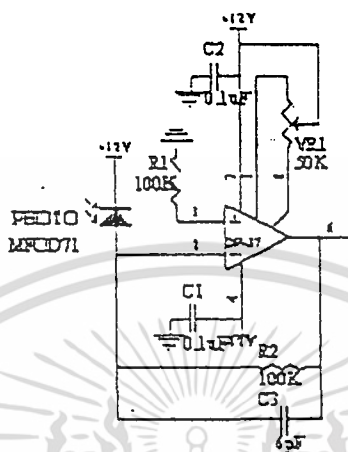
มันด้วย ซึ่งค่านี้จะแล้วแต่ชนิดของ LD (เลเซอร์ไดโอด) แล้วค่ากระแสที่กระตุ้นการทำงานของมันนั้นยังขึ้นกับอุณหภูมิอีกด้วย เมื่อเรายังไม่มีการใส่สัญญาณมอดูเลตเข้าไปในวงจรนั้น ก็จะมีกระแสไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) คงที่ ทำให้ความเข้มของแสงที่เปล่งออกมานั้นคงที่ด้วย แต่เมื่อนำสัญญาณเข้ามามอดูเลตก็จะทำให้ค่ากระแสที่ไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณ และการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ขึ้นอยู่กัขนาดหรือแอมพลิจูดของสัญญาณด้วย คือเมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีขนาดใหญ่ ค่ากระแสที่ไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้นก็มีการเปลี่ยนแปลงไปมากและถ้าสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีขนาดเล็ก ค่ากระแสที่ไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้นก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไปน้อย

ตามวงจรนั้น ในส่วนของ ac Modulation นั้น ประกอบด้วย MOSFET Transistor ที่ต่อขนานกับ LD (เลเซอร์ไดโอด) ในตอนที่ยังไม่มีสัญญาณเข้ามามอดูเลตนั้นก็จะมีกระแสที่ไหลผ่าน MOSFET Transistor อยู่แล้วค่าหนึ่ง เพราะว่าในวงจรนั้นได้ทำการไปอัสให้กับขาเกตของ MOSFET Transistor จึงทำให้มีกระแสไหลจากขาเดรนไปซอส ซึ่งกระแสนี้แบ่งไหลมาจากกระแสที่ไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) เมื่อมีสัญญาณ ac เข้ามามอดูเลตก็จะทำให้กระแสที่ไหลผ่าน MOSFET Transistor นั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้ระดับกระแสที่ไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วยเพราะว่าทั้ง MOSFET Transistor และ LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้นต่อขนานกัน การต่อวงจรดังนี้เป็นการต่อแบบ Negative ก็ว่าตัว MOSFET Transistor นี้จะเป็นตัวดึงกระแสมาก่อนที่จะไหลเข้า LD (เลเซอร์ไดโอด) นั่นคือเมื่อระดับสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตนั้นมีระดับเพิ่มขึ้นก็จะทำให้กระแสที่ไหลผ่าน MOSFET Transistor นั้นมีค่ามากขึ้นตามด้วย เป็นผลทำให้ระดับกระแสที่ไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) มีค่าน้อยลง แต่ถ้าระดับสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตนั้นมีระดับลดลงก็จะทำให้กระแสที่ไหลผ่าน MOSFET Transistor นั้นมีค่าน้อยลงตามด้วย เป็นผลทำให้ระดับกระแสที่ไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) มีค่ามากขึ้น ซึ่งการมอดูเลตแบบ Negative นี้ เป็นการป้องกัน LD (เลเซอร์ไดโอด) เพื่อมิให้เกิดการพังเพราะกระแสที่ไหลผ่าน LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้นมีค่ามากเกินไป สามารถสร้างจุดทำงานของการ Modulation โดยการปรับค่าที่ความต้านทานปรับค่าได้ก่อนที่จะเข้าขาเกต

### 3.2 วงจรรับสัญญาณ

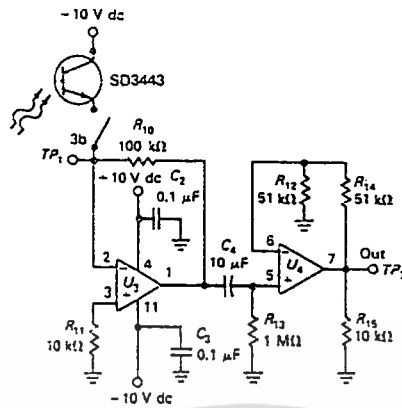
วงจรรับสัญญาณนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า ซึ่งจะไม่ยุ่งยากเท่ากับวงจรทางด้านส่ง เพราะว่าไม่ว่าตัวส่งสัญญาณจะใช้ LED หรือ LD (เลเซอร์ไดโอด) วงจรทางภาครับก็สามารถใช้วงจรเดียวกันในการรับสัญญาณแสงได้ แต่ในทางด้านส่งนั้นวงจรที่ใช้ในการ driver นั้นจะแตกต่างกัน คือวงจรที่ใช้ในการ driver LD (เลเซอร์ไดโอด) นั้นสามารถนำไปใช้

ในการ driver LED ได้ แต่วจรที่ใช้ในการ driver LED นั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการ driver LD (เลเซอร์ไดโอด) ได้ โดยรูปแบบวงจรเป็นดังนี้



รูปที่ 3.15 วงจร current - to-voltage

แสดงวงจรที่ใช้ ออปแอมป์แบบ current-to-voltage ซึ่งการออกแบบวงจรทางภาครับสัญญาณนั้นจะต้องคำนึงถึงระดับสัญญาณต่ำสุดที่วงจรทางภาครับนั้นสามารถรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง รวมทั้งคุณสมบัติของโฟโตรีซิสเตอร์ด้วย การทำงานของโฟโตรีซิสเตอร์จะต่อเข้ากับไฟเลี้ยงเป็นลักษณะของการ Reverse Bias และทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มแสงที่รับได้ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนขั้วแอนโนดของโฟโตรีซิสเตอร์จะต่อเข้ากับออปแอมป์ การทำงานของวงจร current-to voltage จากรูปโฟโตรีซิสเตอร์ถูกต่อกลับขั้วแบบ Reverse Bias เมื่อมีแสงมาตกกระทบโฟโตรีซิสเตอร์ ความต้านทานภายในจะลดลง เป็นผลทำให้มีกระแสย้อนกลับ ( $I_r$ ) เพิ่มขึ้น ทำให้โวลต์เตจเอาต์พุต ( $V_{out}$ ) มีค่ามากขึ้น



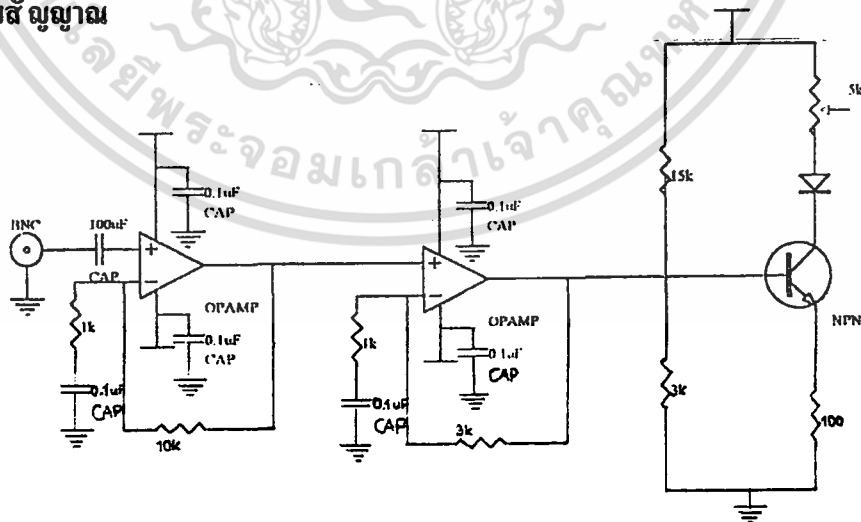
รูปที่ 3.16 amplifier

จากรูปเมื่อเราผ่านวงจร current-to-voltage แล้ว เราก็จะทำการขยายสัญญาณอีกทีหนึ่ง เพราะว่าปกติแล้วสัญญาณหรือความเข้มแสงที่รับได้นั้นจะมีค่าน้อยมาก ยิ่งส่งเป็นระยะทางไกลๆ ยิ่งจะทำให้ขนาดของสัญญาณหรือแอมพลิจูดลดลงมากยิ่งขึ้นตามระยะทาง การที่จะเพิ่มขนาดของสัญญาณนั้น เราสามารถที่จะใช้ออปแอมป์หลาย ๆ ตัวในการขยายสัญญาณก็ได้ ถ้าสัญญาณที่ได้ นั้นมีขนาดน้อยหรือต่ำมาก

### 3.3 วงจรที่ใช้ในโครงการ

มีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วนคือ วงจรขับสัญญาณและวงจรรับสัญญาณแสง

#### 3.3.1 วงจรขับสัญญาณ



รูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบวงจรขับ LED ที่ใช้ในโครงการนี้ เป็นวงจรความถี่สูงจะต้องเลือกอุปกรณ์ต่างๆให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งโครงการนี้จะนำไปใช้งานที่ความถี่สูง ประมาณ 20 MHz ออปแอมป์และ Transistor ที่มี Bandwidth กว้างๆ ซึ่งวงจรขับ LED นี้ประกอบไปด้วยออปแอมป์ 2 ตัว ใช้ในการขยายขนาดสัญญาณหรือแอมพลิฟายของสัญญาณ เพราะว่าสัญญาณที่เข้ามานั้นมีขนาดเล็กหรือน้อยมาก วงจรขยายสัญญาณนี้เราจะใช้ออปแอมป์ เบอร์ EL2045 ที่มี Gain Bandwidth product ประมาณ 200 MHz โดยใช้วงจรขยายเป็นแบบ Noninverting ที่มีอัตราขยาย 10 เท่า ออปแอมป์ตัวแรกทำหน้าที่เป็นภาคก่อนขยาย ออปแอมป์ตัวที่สองทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะนำสัญญาณที่ได้ออกมาให้นำไปมอดูเลตเข้าที่ขาเบสของ Transistor ตามรูปที่ 2.17 โดยใช้ Transistor เบอร์ ZTX314 ชนิด npn วงจรขับสัญญาณแสงนี้เราใช้ Transistor เป็นตัวขับ LED โดยต่อวงจรของ transistor เป็นแบบ voltage-divider ดังวงจรข้างต้น โดยการส่งแบบ Analog นั้น เราต่อแบบวงจรของ Transistor เป็นแบบ voltage-divider เพื่อที่จะทำให้ LED นั้น ON อยู่เสมอ  $I_b$  ขึ้นอยู่กับ Voltage ที่ขาเบส เมื่อมีกระแส  $I_b$  ไหลมา Trig ที่ขาเบส Transistor ก็จะทำงาน ทำให้มีกระแสไหลผ่าน LED เป็นผลให้ LED นั้น เปล่งแสงออกมา ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน โดยค่ากระแส ( $I_c$ ) นั้นจะคงที่ในขณะที่ยังไม่นำสัญญาณเข้ามามอดูเลต แต่เมื่อมีสัญญาณ ac เข้ามามอดูเลตที่ขาเบส เป็นผลให้กระแสเบส ( $I_b$ ) เกิดการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต เมื่อกระแสเบส ( $I_b$ ) เปลี่ยนแปลงไป ก็มีผลทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์ ( $I_c$ ) หรือกระแสที่ไหลผ่าน LED นั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไป

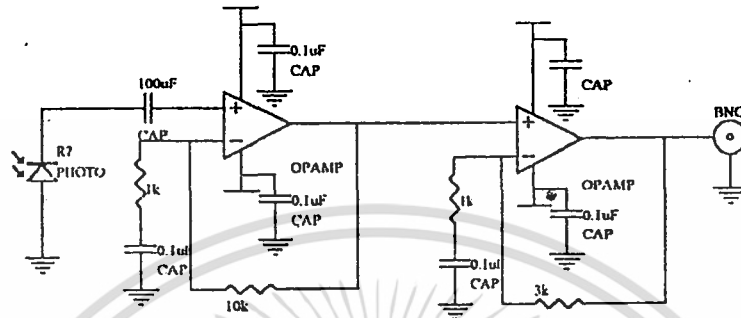
ตัวต้านทาน  $5\text{ k}\Omega$  ที่ต่อเข้ากับขา anode ของ LED ทำหน้าที่จำกัดค่ากระแสที่ไหลผ่าน LED ไม่มากเกินไป ซึ่งถ้ามีกระแสคอลเล็กเตอร์ ( $I_c$ ) มากเกินไป ก็จะทำให้ LED เสียหายได้

ตัวเก็บประจุ  $100\ \mu\text{F}$  ทำหน้าที่คัปปลิงสัญญาณ

ตัวเก็บประจุ  $0.1\ \mu\text{F}$  ที่ขาของไฟเลี้ยงทั้ง 2 ของออปแอมป์นั้น ทำหน้าที่ลดสัญญาณรบกวนที่มาจากไฟเลี้ยงลงสู่กราวด์

ตัวเก็บประจุ  $0.1\ \mu\text{F}$  ที่ขาลบของออปแอมป์มีผลให้ output ของออปแอมป์มีแต่ ac ออกมาเท่านั้น

### 3.3.2 วงจรรับสัญญาณ



รูปที่ 3.18

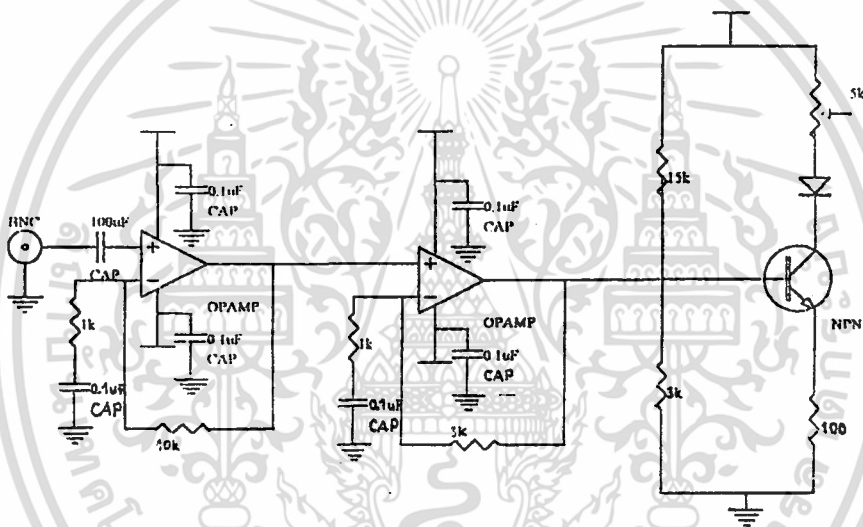
ในโครงงานนี้ใช้ โฟโตไดโอดที่สามารถตอบสนองได้เร็วคือประมาณ 10 ns การออกแบบวงจรทางภาครับต้องคำนึงถึงระดับพลังงานต่ำสุดที่วงจรทางภาครับสามารถรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง รวมทั้งคุณสมบัติของโฟโตไดโอดและออปแอมป์ที่ใช้ การทำงานของโฟโตไดโอดจะมีลักษณะตรงข้ามกับการทำงานของ LED คือขั้วคาโทดของโฟโตไดโอดจะต่อเข้ากับออปแอมป์เบอร์ EL2045 ซึ่งมีเกนแบนด์วิดท์โปรดักต์ 200 MHz โดยในส่วนแรกทำการต่อวงจรของออปแอมป์แบบวงจรแปลงกระแสเป็นศักย์ (Current-to-Voltage) โดยการทำงานของวงจร Current-to-Voltage จากวงจรนั้นโฟโตไดโอดจะต่อกลับขั้วแบบ Reverse Bias เมื่อมีแสงตกกระทบบโฟโตไดโอด ความต้านทานภายในจะลดลง เป็นผลให้กระแสป้อนกลับมากขึ้นและทำให้โวลต์เดจเอาท์พุท ( $V_{OUT}$ ) มีค่าสูงขึ้นด้วย แต่ output ที่ได้จากส่วนของวงจรแรกนั้นมีค่าน้อย เพราะฉะนั้นจึงทำการต่อ amplifier เพิ่มขึ้นดังรูปวงจร เพื่อที่จะทำให้ Voltage output มีค่ามากขึ้นเพียงพอที่จะเอาไปใช้ในวงจรถัดไป

## บทที่ 4

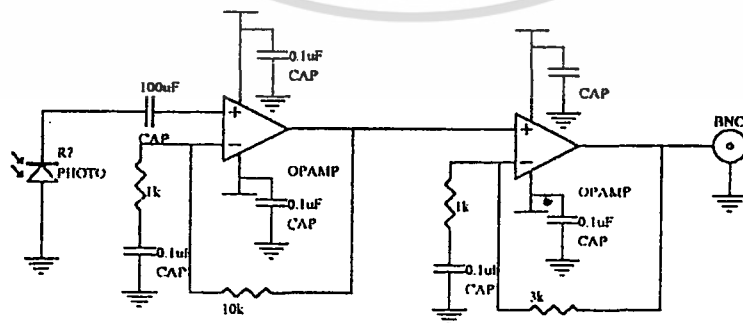
### ผลการทดลอง

จากการใช้วงจรที่ได้ออกแบบมาในโครงงานนี้ เมื่อทำการทดลองส่งและรับสัญญาณ จะ  
ได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

#### วงจรส่งสัญญาณ

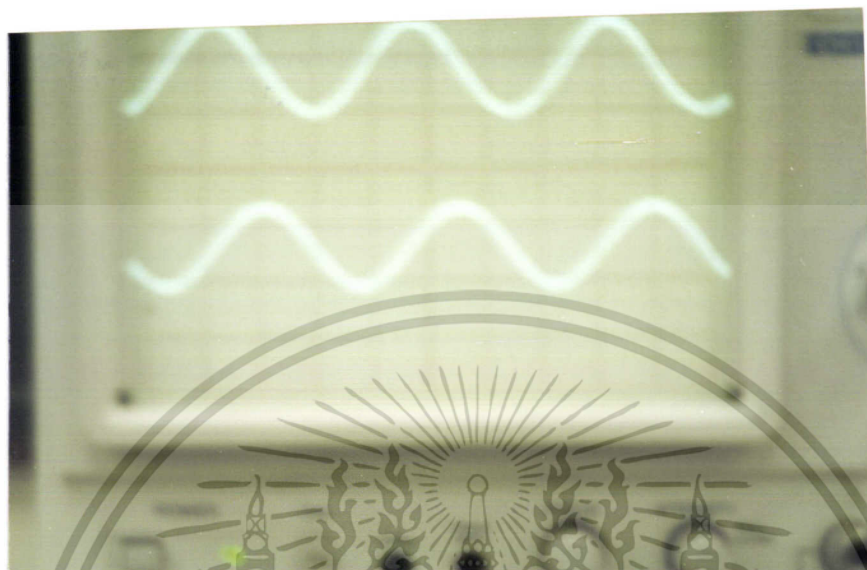


#### วงจรรับสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

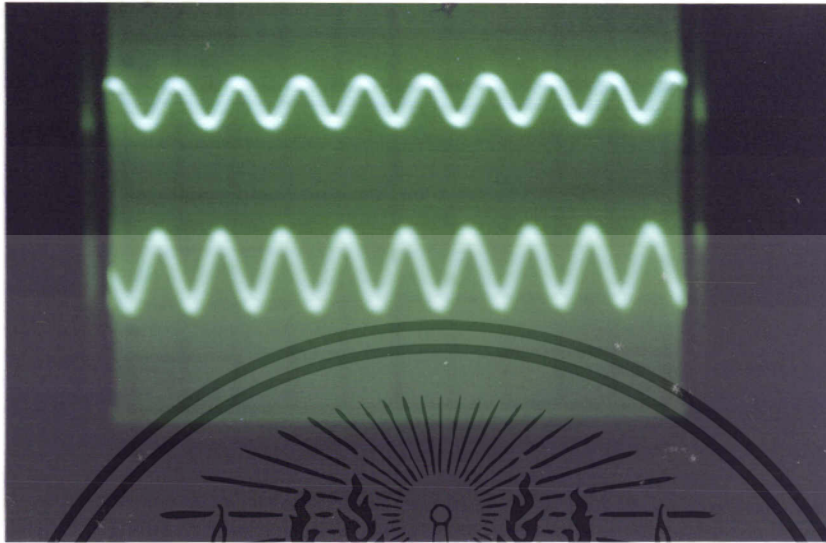


รูปสัญญาณที่รับส่งที่ความถี่ 200 kHz  
รูปสัญญาณที่รับได้มีลักษณะของสัญญาณเหมือนทางด้านส่ง แต่มีแอมพลิจูดลดลง



รูปสัญญาณที่รับส่งที่ความถี่ 2 MHz  
รูปสัญญาณที่รับได้มีลักษณะของสัญญาณเหมือนกับด้านส่ง แต่แอมพลิจูดมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปสัญญาณที่รับส่งที่ความถี่ 10 MHz  
รูปสัญญาณที่รับได้นั้นมีแอมพลิจูดลดลง และรูปสัญญาณไม่ค่อยชัดเจน



รูปสัญญาณที่รับส่งที่ความถี่ 20 MHz  
รูปสัญญาณที่รับได้นั้นมีความคมชัดพอสมควร และมีแอมพลิจูดลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากความต้องการที่จะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณทางแสง และแปลงจากสัญญาณทางแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อให้สามารถส่งไปตามสาย Fiber Optic แทนการส่งผ่านสัญญาณผ่านสายโคแอกซ์ เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากแหล่งต่างๆที่มารบกวนการเดินทางของสัญญาณไฟฟ้าในสายโคแอกซ์และเพิ่มค่าความจุของสัญญาณที่ส่ง โดยใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาซึ่งสามารถแปลงสัญญาณต่างๆได้สูง 25 MHz ผลของสัญญาณที่ได้มีบางความถี่ที่วงจรรับได้ไม่ดีและความคมของสัญญาณที่รับได้นั้นไม่คมชัดเท่าสัญญาณทางค้ำส่ง

#### แนวทางในการพัฒนา

ในการศึกษาและทำอุปกรณ์แปลงสัญญาณนี้ขึ้นมา เราสามารถที่จะนำไปพัฒนาให้นำไปใช้งานในการเป็นตัวแปลงสัญญาณในระบบต่างๆ เช่น OPTICAL ITV OPTICAL CATV OPTICAL LAN โดยในการพัฒนานั้นจะต้องพยายามทำให้ความถี่ที่ใช้งานนั้นสูงมากกว่านี้ และควรจะเปลี่ยนการรับส่งสัญญาณจากแบบอนาลอกเป็นแบบดิจิทัล

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modules Solar Shunt Regulator



S.S.M. = 1

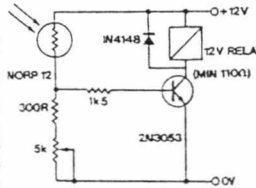
stock no.

NSL19-MS51

596-141

**RS Data Sheet**  
 RS Data Sheet No. F14891, March 93 is available on request. See complete sets of RS Data Sheets in the Technical Books Section.

NORP12



Cadmium sulphide light dependent resistor with clear end window. The resistance reduces as the light falling on the device increases.

technical specification

Peak spectral response	NORP-12	530nm
Cell resistance:		
at 10 lux	9kΩ	
at 1000 lux	400Ω	
Dark resistance (min.)	1MΩ	
Max. voltage d.c. or a.c. peak	320V	
Max. dissipation at 25°C	250mW	
Typ. resistance rise time	18ms	
Typ. resistance fall time	120ms	
* Relay energised when light falling on LDR exceeds sensitivity set by 5 kΩ pre-set resistor.		

S.S.M. = 1

type

stock no.

NORP-12

651-507

**RS Data Sheet**  
 RS Data Sheet No. F14188, March 94 is available on request. See complete sets of RS Data Sheets in the Technical Books Section.

Laser Diode Modules Visible/Infrared Modulating

NEW



size can easily be adjusted by shining the beam onto a suitable target and adjusting the size with the focusing tool provided. With the infrared lasers the same process can be used this time viewing the spot with a TV camera and monitor. The lasers can be amplitude modulated using digital or analogue signals over a frequency range of 100Hz to 50MHz making them ideal for use in data transmission and audio/video communications.

For suitable detectors, refer to the RS range of photodiodes in this section.

A replacement standard singlet lens and a line generator lens are available and are suitable for use with these modules, refer to this section.

**technical specification**

	Visible	Infrared
Output power (max.) (+0%, -10%)	1mW and 3mW	1mW
Wavelength range (min. to max.) (typ.)	660-680nm	775-795nm
Supply voltage	-8V to -12V d.c.	
Supply current (V <sub>s</sub> = 8V)	75mA	85mA
(V <sub>s</sub> = 12V)	110mA	115mA
Divergence (full range)	<0.5m Radians	
Spot size	100µm	
Angular deviation of beam to case (front cell)	5mRad typ.	
Modulation (AM) Signal (50Q)	Analogue or digital Upto 5V peak to peak	
Frequency	100Hz to 50MHz	
Modulation depth	90% max. 50% typ.	
MTTF (@30 = C ambient)	20 000hrs	32 000hrs
Operating temperature	-10°C to +40°C	-10°C to +50°C

**Note:** The spot size is obtained by optical measurement at a distance of 25mm.

**WARNING:** These laser diode modules are OEM devices and conform to the emission criteria of BS (EN) 60825. The 1mW visible module is class II, the 3mW visible is class IIIa and the 3mW infrared is a class IIIb. It is recommended that BS (EN) 60825 and the RS data sheet F17250 are read before these lasers are used.

S.S.M. = 1

type

stock no.

Visible	
1mW 670nm	564-504
3mW 670nm	194-004
Infrared	
3mW 785nm	111-368

**RS Data Sheet**  
 RS Data Sheet No. F18534, November 94 is available on request. See complete sets of RS Data Sheets in the Technical Books Section.

Solar shunt regulator is designed to ensure the output from the solar panels does not exceed 13.8V charging dryfit batteries.

Operation is as follows: The unit will start regulating at 13.8V and the green LED will be illuminated. When battery voltage falls to 12.8V, the LED will be extinguished and the unit will stop regulating. If the battery is disconnected whilst the regulator remains connected and there is sufficient daylight then the LED will flash indicating that an open circuit voltage of 14V will have been reached.

Installation is very simple via the mounting holes in the back anodised heatsink. The integral flying leads allow easy connection of the regulator to the panel and battery.

The unit is supplied with comprehensive data and instructions.

**technical specification**

Supply voltage	12V
Regulating threshold voltage	13.8V
Reference voltage	1V
Regulating diode voltage drop	0.4V
Output current	6A
Quiescent current (max.)	1mA
Temp. coeff. V <sub>out</sub> /°C	-45mV

**RS Data Sheet**  
 RS Data Sheet No. F14891, March 93 is available on request. See complete sets of RS Data Sheets in the Technical Books Section.

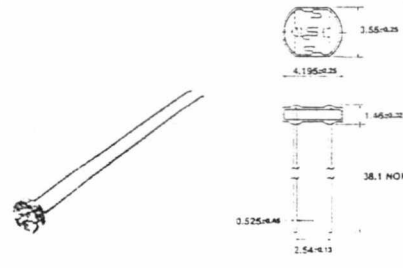
Important: refer to the RS batteries and solar panels data sheets before attempting to charge any batteries.

S.S.M. = 1

stock no.

194-082

Light Dependent Resistor Miniature



Cadmium sulphide light dependent resistor housed in epoxy coated open frame TO-18 package.

**technical specification**

Peak spectral response (typ)	530nm
Resistance	
at 10 Lux (min-max)	10-100kΩ
at 100 Lux (typ)	5kΩ
Dark resistance (min.)	20MΩ
Max. voltage d.c. or a.c. peak	100V
Max. dissipation (max.)	50mW
Typ. resistance rise time	45ms
Typ. resistance fall time	55ms
Operating temperature range	-50°C to +75°C

Electrical connections: Green OV, black-V<sub>s</sub>, White interlock, Blue TTL disable, Green and yellow (twisted pair) modulation

A range of high quality visible and infrared laser diode modules. Each module consists of a laser diode, driver and modulation circuitry and collimating lens all housed in a black powder coated brass body. The high quality adjustable lens provides a highly collimated beam making these visible ideal for precision applications such as alignment, edge detection and targeting. For the visible lasers the spot

**How to Order**

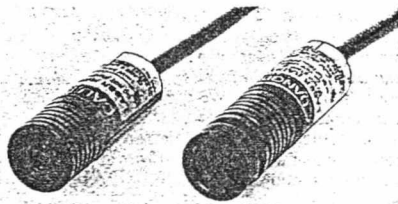
- Please order the number of priced units you require of each stock number ensuring that the quantity ordered is divisible by the S.S.M.
- Products are only available in multiples of the S.S.M.
- For more information, see the introductory pages of this catalogue.

Standard Supply Multiple

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Visible/Infrared Continuous Wave NEW N



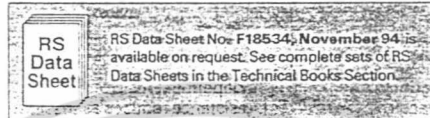
Standard  
L. 46 D. 15-25  
Lead L. 240

Line generator  
L. 55 D. 15-25  
Lead L. 240

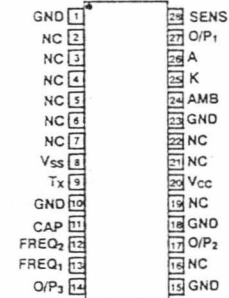


**WARNING:** These laser diode modules are OEM devices and conform to the emission criteria or BS(EN)60825 the 1mW visible 670nm module is class II, the visible 633nm 1.5mW module is class IIIa, the visible 670nm 3mW modules are class IIIa and the infrared 785nm 3mW module is a class IIIb. It is recommended that BS(EN)60825 and the RS data sheet F17250 are read before these lasers are used.

S.S.M. = 1	
type	stock no.
Visible	
1.5mW 633nm CW	111-346
1mW 670nm CW	194-010
3mW 670nm CW	194-026
3mW 670nm line generator	194-032
Infrared	
3mW 785nm CW	111-352



## Laser Integrated Detector



TOP VIEW  
DEPTH EXCLUDING PINS 7.5

The LiD3010 is a multi-function hybrid laser integrated detector consisting of an input amplifier, high pass filter, ambient compensator, tone decoders and modulation circuitry all housed in an industry standard 28 d.i.l. plastic package. The module may be configured as a simple light intensity detector or as a modulated detector. A tone decoder is also included which may be tuned to lock onto a particular modulating frequency, this facility is needed where high noise levels exist. The detector can also drive both the RS modulating laser diode modules allowing a simple and easy method of developing a synchronous (closed loop) detection system. For suitable PIN diodes, refer to this section.

- Other features include:
- d.c. to 6MHz bandwidth
  - Ambient light compensated
  - 100Hz flicker filter (fluorescent lights)
  - Asynchronous/synchronous detection
  - 5kHz - 500kHz tunable tone decoder
  - Reverse polarity protection
  - Hybrid reliability

Typical applications include: intensity stability checking, security beam break monitoring, fog/particle detection, alignment, data transmission and audio/video communications.

### technical specification

Overall characteristics	
Supply voltage	10V to 14V
V <sub>cc</sub>	-10V to -14V
Supply current	
I <sub>cc</sub> (typ.)	30mA
I <sub>ss</sub> (typ.)	20mA
Input amplifier	
Bandwidth	d.c. to 6MHz
Noise voltage (typ.)	10µV p to p
Slew rate (typ.)	12V/µs
Input bias current (max.)	100pA
Input offset current (max.)	50pA
High pass filter	
Bandwidth (3dB)	1kHz to 1MHz
Ambient compensator	
Output offset voltage (typ.)	2mV
Tone decoder	
Centre frequency	27kHz
Frequency stability	50 = 200ppm/°C
Detection bandwidth	10% of f <sub>0</sub>
Modulator	
Output voltage (typ.)	= 400mV
Output impedance	50Ω
Outputs	
Output voltage swing	
OP1/2 (typ.)	10V p to p
OP3	0V to 5V

S.S.M. = 1	
type	stock no.
LiD3010	194-379

## Lenses

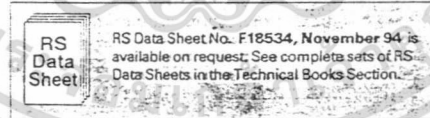


Singlet lens L.6-5 Thread M11X0.5  
Line generator lens L.9 (extending beyond laser) D. 15-25

Two high quality adjustable lenses. The singlet lens is a single element unit designed to produce a highly collimated beam over short, medium and long distances. The line generator lens is a combination system consisting of a lens to focus or collimate the beam and a cylindrical lens to generate the line. Both units are suitable for use with any of the RS laser diode modules.

**WARNING:** It is recommended that BS(EN)60825 and the RS data sheet F17250 are read before these lenses are used.

S.S.M. = 1	
type	stock no.
singlet lens	194-048
line generator lens	194-054



A range of high quality continuous wave visible and infrared laser diode modules consisting of a laser diode, driver circuitry and collimating lens, all housed in a black powder coated brass body. Each unit incorporates a high quality adjustable lens. The standard units produce a highly collimated beam. For the visible lasers the spot size can easily be adjusted by shining the beam onto a suitable target and adjusting the size with the focusing tool provided, making them ideal for alignment, position sensing and targetting applications. With the infrared laser the same process can be used this time viewing the spot with a TV camera and monitor. The line generator unit produces a fan shaped output beam with an angle of 8.5°. This can be altered to produce a fine clean line using the focusing tool provided making it ideal for alignment and profile vision applications. For suitable detectors, refer to the RS range of photodiodes in this section. A replacement standard singlet lens and a line generator lens are available and are suitable for use with these modules, refer to this section.

**WARNING:** When using the infrared laser diode modules, eye protection should be worn as aversion or blink response is not sufficient to protect the human eye. For suitable protective goggles, refer to the Health and Safety Equipment section of the catalogue.

### technical specification

	Visible 633nm	Visible 670nm	Infrared 785nm
Output power (max.) (-0%, +10%)	1.5mW	1mW and 3mW	3mW
Wavelength range (min. to max.) (typ.)	625-640nm 633nm	660-670nm	775-795nm
Supply voltage	-5V	-8V to -12V	-12V
Supply current (typ.)	70mA	60mA 95mA	70mA 100mA
Divergence (full angle)		< 0.5m rad	< 0.5m rad
Spot size (standard types)		100µm	100µm
Angular deviation of beam to case (front cell)		5m rad (typ.)	5m rad (typ.)
M.T.F.F. @ 30°C	2450hrs.	20 000hrs.	32 000hrs.
Operating temperature range	0 - 30°C	0 - 40°C	0 - 50°C

**Note:** The spot size is obtained by optical measurement at a distance of 25mm.

## Phone or Fax the Orderline

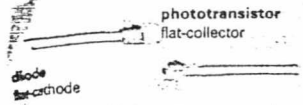


For ordering information refer to the introductory pages

และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Infrared Emitters and Detectors

## 3mm GaAs



A specially matched infrared source and sensor housed in similar clear epoxy housings. The source is a high efficiency Gallium Arsenide LED and the sensor is an NPN silicon phototransistor. When used as a coupled pair separation up to 25 mm may be achieved. May be readily interfaced with logic circuits. Applications include end of tape detection, punched tape reading, event counting, limit switching. The diode is distinguished from the phototransistor by the shorter lead.

**technical specification**

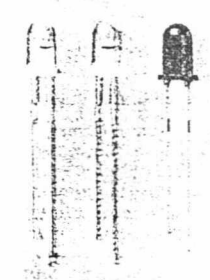
<b>diode</b>	
$I_f$ (max.)	20 mA
$V_f$ (max.)	1.6 V
$I_r$ (max.)	2 V
$I_{max}$	50 mA at 25°C
Radiant power	1-4 mW min.
<b>phototransistor</b>	
$V_c$ (max.)	30 V
$V_{ce}$ (max.)	5 V
Max. dissipation	100 mW at 25°C
On state collector current	0.55 mA (min.)
Dark current at $V_{ce} = 10 V$	100 nA max.
$V_{ce}$	0-4 V (max.)
$\tau_{rise}$ and fall times	60 ns at $R_L = 5 k\Omega$

S.S.M. = 1

type	stock no.
emitter OP165	585-977
phototransistor OP505	585-983

RS Data Sheet No. F18528, November 94 is available on request. See complete sets of RS Data Sheets in the Technical Books Section.

### Sharp GaAs Emitters and Silicon Phototransistors/Darlington



PT360/GL360 devices  
Body L: 5-25 Body D: 3-2  
PT/GL380/381 devices  
Body L: 5-3 Body D: 3  
Lead spacing 2-54  
GL360 - pink tint package  
GL380/PT381 - blue package  
PT360/380 - clear package  
PT360F/380F/381F - black package  
Short lead denotes cathode/collector

#### Supplied to RS by Sharp

A range of spectrally matched high power GaAs infrared emitters and filtered and unfiltered narrow acceptance angle silicon phototransistors/photodarlington. Each device is housed in a T1 plastic package. The photodarlington offers higher sensitivity, the filtered versions have an integral visible light cut-off filter.

#### technical specification

<b>Emitters</b>			
$V_f$ (max.)	$I_f$ (100mA)	$I_f$ (max.)	10 $\mu$ A
$V_c$ (max.)	3V	Peak wavelength	930nm
$I_c$ (max.)	60mA	Max. dissipation	90mW
Radiant power (typ.)		GL360	90mW
GL360	5mW/sr	GL380	150mW
GL380	11mW/sr	Beam angle	
		GL360	40°
		GL380	26°
Operating temp.	-25°C to +85°C		
<b>Detectors</b>			
PT360/360F		Peak sensitivity	800nm
$V_c$ (max.)	35V	PT360	860nm
$I_c$ (max.)	20mA	PT360F	10 $\mu$ s
Photocurrent	200 $\mu$ A		8 $\mu$ s
Dark current	2nA	Rise time	
		Fall time	
Power dissipation	50mW		
Operating temp.	-25°C to +85°C		
<b>PT380/380F</b>			
$V_c$ (max.)	35V	Peak sensitivity	800nm
$I_c$ (max.)	20mA	PT380	860nm
Photocurrent		PT380F	10 $\mu$ s
PT380	1.17mA	Rise time	
PT380F	0.9mA	Fall time	
Dark current	0.1 $\mu$ A		
Power dissipation	50mW		
Operating temp.	-25°C to +85°C		
<b>PT381/381F</b>			
$V_c$ (max.)	35V	Peak sensitivity	800nm
$I_c$ (max.)	20mA	PT381	860nm
Photocurrent		PT381F	400 $\mu$ s
PT381	1.8mA	Rise/fall time	
PT381F	1.08mA		
Dark current	1 $\mu$ A		
Power dissipation	50mW		
Operating temp.	-25°C to +85°C		

S.S.M. = 1

type	stock no.
emitters	
GL360	194-363
GL380	195-489
phototransistors	
PT360	194-357
PT380	195-502
filtered phototransistor	
PT360F	195-495
PT380F	195-518
photodarlington	
PT381	195-524
filtered photodarlington	
PT381F	195-530

### Siemens GaAs/GaAlAs Emitters and Silicon Phototransistors



Body L: 4-85  
Body D: 3  
Lead spacing 2-54  
SFH309/309F short lead collector, SFH409, short lead cathode, SFH487 short lead anode  
SFH409, grey package  
SFH309 clear package  
SFH487 blue tint package  
SFH309F black package

#### Supplied to RS by Siemens

A range of spectrally matched high power GaAlAs infrared emitters and filtered and unfiltered narrow acceptance angle silicon phototransistors. The GaAlAs emitter offers very high launch power and the filtered phototransistor has an integral black daylight cut-off filter. All devices are housed in standard T1 plastic packages.

#### technical specification

<b>Emitters</b>			
$V_f$ (max.)	$I_f$ (100mA)	Peak wavelength	
SFH409	1-3V	SFH409	950nm
SFH487	1-5V	SFH487	880nm
$V_c$ (max.)	5V	Power dissipation	
$I_c$ (max.)	100mA	SFH409	165mW
Surge current (tp = 10 $\mu$ s)		SFH487	200mW
SFH409	3A	Beam angle	40°
SFH487	2.5A		
Operating temp.	-55°C to +100°C		
Radiant power (typ.) ( $I_f = 100mA$ )			
SFH409	15mW		
SFH487	25mW		
<b>Detectors</b>			
$V_{ce}$ (max.)	35V	Peak wavelength	
$I_c$ (max.)	15mA	SFH309	860nm
		SFH309F	900nm
$I_c$ peak (tp < 10 $\mu$ s)	75mA	Rise/fall time	
Dark current	200nA	SFH309	8 $\mu$ s
		SFH309F	7 $\mu$ s
Power dissipation	165mW	Photocurrent	
		SFH309	0.4 to 3.2mA
		SFH309F	0.4 to 2mA
		( $\lambda = 950nm, 0.5mV/cm^2$	
		$V_{ce} = 5V$ )	
Operating temp.	-55°C to +100°C		

S.S.M. = 1

type	stock no.
emitters	
GaAs SFH409	195-625
GaAlAs SFH487	195-653
phototransistor SFH309	195-631
filtered phototransistor SFH309F	195-647

### Honeywell GaAs/GaAlAs Emitters and Silicon Phototransistor



body L: 5.84  
Body D: 3  
Lead spacing 1-27  
Flat on body denotes cathode/collector  
SEP8505 - red package  
SEP8705 - grey package  
SEP8405 - clear package

#### Supplied to RS by Honeywell

A range of spectrally matched high power GaAs and GaAlAs infrared emitters and a narrow acceptance angle silicon phototransistor. The GaAlAs device offers very high launch powers at low drive currents, the high sensitivity phototransistor ensures high output currents. All devices are housed in T1 plastic packages.

#### technical specification

<b>Emitters</b>			
$V_f$ (max.)		Peak wavelength	
SEP8505	1-5V	SEP8505	935nm
SEP8705	1-3V	SEP8705	880nm
$V_c$ (max.)	5V	Beam angle	15°
$I_c$ (max.)	50mA	Power dissipation	70mW
Radiant power (min.)			
SEP8505	2mW/cm <sup>2</sup>		
SEP8705	2.7mW/cm <sup>2</sup>		
Operating temp.	-40°C to +100°C		
<b>Detector</b>			
$V_c$ (max.)	30V	Peak sensitivity	880nm
$I_c$ (max.)	24mA	Rise/fall time	15 $\mu$ s
Photocurrent	12mA	Power dissipation	70mW
Dark current	100nA		
Operating temp.	-40°C to +100°C		

S.S.M. = 1

type	stock no.
emitters	
GaAs SEP8505	195-776
GaAlAs SEP8705	195-782
phototransistor SDP8405	195-827

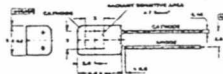
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ผ่านการคำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

## Kodenshi GaAs Emitter and Silicon Phototransistor



Body L: 5-2 Body D: 3-2 Lead spacing 2-54  
filtered version - black package  
Short lead denotes cathode/collector

\* Irradiance = 1 mW/cm<sup>2</sup> at 950 nm; all other parameters measured at Irradiance = 0



S.S.M. = 1

type stock no.

Emitter TSU5402 229-201  
Photodiode BPW41N 229-217

S.S.M. = 1

type stock no.

**emitters**  
GaAs LD274 195-669  
GaAlAs SFH485 585-242  
GaAlAs SFH485P 585-236  
**GaAs/GaAlAs**  
SFH415-T 195-675  
**photodiodes:**  
SFH2030 195-681  
filtered SFH2030F 195-697  
**phototransistor:**  
BP103B 585-220

### Supplied to RS by Kodenshi

A spectrally matched high power GaAs infrared emitter and filtered and unfiltered narrow acceptance angle silicon phototransistors. The filtered version has an integral visible light cut-off filter. Each device is housed in a T1 plastic package.

#### technical specification

**Emitters**  
V<sub>f</sub> (max.) (I<sub>f</sub> = 40mA) 1-5V I<sub>f</sub> (max.) 10μA  
V<sub>r</sub> (max.) 4V Peak wavelength 940nm  
I<sub>r</sub> (max.) 60mA Power dissipation 80mW  
Radiant power 75mW/sr Beam angle 34°  
Operating temp. -20°C to +70°C

**Detectors**  
V<sub>c</sub> (max.) 20V Peak sensitivity 800nm  
I<sub>c</sub> (max.) 20mA Rise time 2-5μs  
Photocurrent 5mA Fall time 3-8μs  
Dark current (max.) 100nA Acceptance angle 30°  
Power dissipation 75mW  
Operating temp. -20°C to +80°C

S.S.M. = 1

type stock no.

emitter OPE5794 195-300  
phototransistor ST8L 195-316  
filtered phototransistor ST8LR2 195-322

## 5mm GaAs



L (body) 8-7 Dia. 5

emitter cathode sensor cathode  
identified by flat on body directly below chamfered edge

A spectrally matched near infrared emitter and sensor primarily designed for use with the remote control ICs 308-073 (refer to Semiconductors section). They will, however, suit many other applications. The infrared emitter has a high power output and is housed in the standard T1½ plastic package. The sensor is a high-speed PIN photodiode with high photosensitivity housed in a black infra-red transmissive moulding which reduces ambient white light interference.

#### technical specification

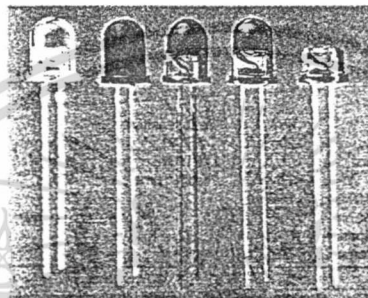
**Emitter**  
Radiant output power: 15 mW (typ.)  
Wavelength: 950 nm  
Forward voltage V<sub>F</sub>: 1-3 V (typ.)  
(I<sub>F</sub> = 100 mA)  
(I<sub>F</sub> = 1-5 A, t<sub>on</sub> = 100 μs): 2-4 V (typ.)  
Forward current, I<sub>F</sub> max.: 150 mA  
Forward surge current: 2-5 A  
t<sub>r</sub> ≤ 10 μs  
Viewing angle: 50°  
Power dissipation (T<sub>amb</sub> ≤ 25°C): 210 mW\*  
Operating temperature range: -40°C to +80°C

\* From 25°C derating factor is: -0.6%/°C

#### Sensor

Breakdown voltage (I<sub>r</sub> = 100 μA): 32 V (min.)  
Reverse dark current (V<sub>r</sub> = 10 V): 2 nA (typ.)  
Light reverse current (V<sub>r</sub> = 5 V): 45 μA (typ.)  
Junction capacitance (V<sub>r</sub> = 0 V, f = 1 MHz): 25 pF (typ.)  
Power dissipation (T<sub>amb</sub> ≤ 25°C): 150 mW  
Operating temperature range: -40°C to +80°C

## Siemens GaAs/GaAlAs Emitters and Silicon Photodiode/Phototransistors



Body L: 8-6 (except SFH485P L: 5-1) Body D: 5  
Lead spacing 2-54. Flat on body denotes cathode/collector  
BP103B, SFH2030/2030F - clear package, SFH415 - black package  
SFH485/485P - blue tint package, LD274 - grey package

### Supplied to RS by Siemens

A range of spectrally matched GaAs/GaAlAs high power infrared emitters and filtered and unfiltered silicon PIN photodiodes/phototransistors. The LD274 is a high power GaAs emitter with a narrow beam angle. The SFH485/485P are high power GaAlAs emitters with medium and wide beam angles respectively. The SFH415 is a unique device which combines both GaAs and GaAlAs technology on the same chip providing low forward voltages yet with a very high output power. The SFH2030 and 2030F are high speed PIN photodiodes with the 2030F combining an integral daylight cut-off filter. The BP103B is a high gain narrow acceptance angle phototransistor. All devices are housed in standard T1½ plastic package.

#### technical specification

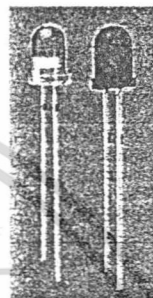
**Emitters**  
LD274 and SFH415  
V<sub>f</sub> (max.) (I<sub>f</sub> = 100mA) 1-3V I<sub>f</sub> (max.) 10nA  
V<sub>r</sub> (I<sub>r</sub> 1mA) Peak wavelength 950nm  
LD274 1.9V Power dissipation 165mW  
SFH415 2-3V Beam angle  
V<sub>r</sub> (max.) 5V  
I<sub>r</sub> (max.) 100mA LD574 20°  
Radiant power SFH415 34°  
LD274 15mW/sr  
SFH415 22mW/sr  
Operating temp. -55°C to +100°C

SFH485/485P  
V<sub>f</sub> (max.) (I<sub>f</sub> = 100mA) 1-5V Peak wavelength 880nm  
V<sub>r</sub> (max.) 5V Power dissipation 200mW  
I<sub>r</sub> (max.) 100mA Beam angle  
Radiant power SFH485 40°  
SFH485P 80°  
SFH485 16mW/sr  
SFH485P 4-75mW/sr  
Operating temp. -55°C to +100°C

**Detectors**  
SFH2030/2030F  
V<sub>c</sub> (max.) 50V I<sub>c</sub>  
Dark current (max.) 5nA SFH2030 80μA  
Power dissipation 100mW SFH2030F 25μA  
Peak wavelength Rise/fall time 5ns  
SFH2030 850nm Acceptance angle 40°  
SFH2030F 900nm  
Operating temp. -55°C to +100°C

BP103B  
V<sub>c</sub> (max.) 35V Peak wavelength 850nm  
I<sub>c</sub> (max.) 50mA Rise/fall time 75ns  
Photocurrent 2mA Power dissipation 200mW  
Dark current (max.) 100nA Acceptance angle 30°  
Operating temp. -55°C to +100°C

## Kodenshi GaAs Emitters and Silicon Photodiode



Body L: 8-7  
Body D: 5  
Lead spacing 2-54  
Short lead denotes cathode  
Emitter - clear package  
Detector - black package

### Supplied to RS by Kodenshi

A range of spectrally matched high power GaAs infrared emitters and a high sensitivity, high speed, narrow acceptance angle filtered silicon photodiode. The emitters have narrow and medium beam angles and offer very high launch powers. The photodiode has an integral daylight cut-off filter. Each device is housed in a T1½ plastic package.

#### technical specification

**Emitters**  
V<sub>f</sub> (max.) 1-7V Peak wavelength 940nm  
V<sub>r</sub> (max.) 5V Power dissipation 100mW  
I<sub>f</sub> (max.) 100mA Beam angle  
Radiant power OPE5594 20°  
OPE5594 120mW/sr OPE5699 60°  
OPE5694 80mW/sr  
Operating temp. -30°C to +70°C

**Detector**  
V<sub>c</sub> (max.) 20V I<sub>c</sub> 45μA  
Dark current (max.) 0.5μA Rise/fall time 180ns  
Power dissipation 30mW Acceptance angle 20°  
Peak wavelength 940nm  
Operating temp. -25°C to +70°C

S.S.M. = 1

type stock no.

**emitters**  
OPE5594 195-344  
OPE5694 195-338  
**photodiode**  
HP-1LR1 850-631

Phone or Fax the Orderline

For ordering information refer to the introductory pages.



ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Opto-Diode GaAlAs Emitters



Body L: 8.9  
 (except OD8812 L5:5)  
 Body D: 5  
 Lead spacing 2.54  
 Short lead denotes cathode

Supplied to RS by Opto-Diode

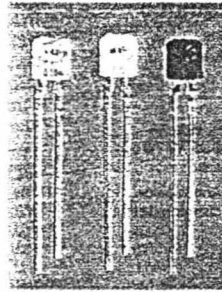
A range of high power GaAlAs infrared emitters. These devices are available with narrow, medium and wide beam angles and are housed in T1 1/4 plastic packages.

technical specification			
V <sub>i</sub> (max.)	1.5V	Peak wavelength	880nm
V <sub>e</sub> (max.)	5V	Power dissipation	190mW
I <sub>e</sub> (max.)	100mA	Beam angle	
Radiant power		OD8810	18°
OD8810	28mW/sr	OD8811	50°
OD8811	7.9mW/sr	OD8812	115°
OD8812	2.4mW/sr	Rise/fall time	0.5µs
Operating temp.	-55°C to +100°C		

S.S.M. = 1

type	stock no.
008810	195-401
008811	195-417
008812	195-423

Sharp GaAs Emitter and Silicon Phototransistor



Body L: 4.0  
 Body W: 2.95  
 Lead spacing 2.54  
 Short lead denotes anode/collector  
 Emitter - pink tint package PT480 - clear package  
 PT481 - blue tint package PT480F/481F - black package

Supplied to RS by Sharp

A spectrally matched narrow beam angle GaAs infrared emitter and filtered and unfiltered narrow acceptance angle silicon phototransistors. The PT481 is a high sensitivity device, the filtered versions include an integral daylight cut-off filter. Each device is housed in a 3mm right angle mount plastic package making them suitable for PC board mounting for slotted switch and photo-interrupter type applications.

technical specification			
<b>Emitters</b>			
V <sub>i</sub> (max.)	1.4V	I <sub>e</sub> (max.)	10µA
V <sub>e</sub> (max.)	5V	Peak wavelength	950nm
I <sub>e</sub> (max.)	50mA	Beam angle	30°
Radiant power	3mW	Power dissipation	75mW
Operating temp.	-25°C to +85°C		
<b>Detectors</b>			
V <sub>e</sub> (max.)	35V	Peak sensitivity	
I <sub>e</sub> (max.)		PT480/481	800nm
PT480/480F	20mA	PT480F/481F	860nm
PT481/481F	50mA	Rise time	
Photocurrent		PT480/480F	3µs
PT480	1.7mA	PT481/481F	80µs
PT480F	0.8mA	Fall time	
PT481	10mA	PT480/480F	3.5µs
PT481F	6mA	PT481/481F	70µs
Dark current		Power dissipation	75mW
PT480/480F (max.)	100nA	Acceptance angle	26°
PT481/481F (max.)	10µA		
Operating temp.	-25°C to +85°C		

S.S.M. = 1

type	stock no.
emitter	
GL480	577-538
phototransistor	
PT480	577-544
PT481	195-552
filtered phototransistor	
PT480F	195-546
PT481F	195-558

Sharp Silicon Photodiode



Body L: 5  
 Body W: 3.25  
 Lead spacing 2.54  
 Short lead cathode

Supplied to RS by Sharp

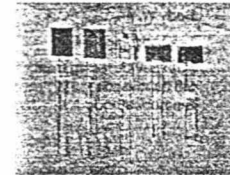
The PD410PI is a high speed silicon photodiode with integral daylight cut-off filter. This device has excellent signal to noise ratio characteristics making it ideal for use in low light level applications.

technical specification			
V <sub>e</sub> (max.)	32V	I <sub>e</sub>	3µA
Dark current (max.)	10nA	Rise/fall time	200ns
Power dissipation	150mW	Acceptance angle	30°
Peak sensitivity	1000nm		
Operating temp.	-25°C to +85°C		

S.S.M. = 1

type	stock no.
emitter	
PD410PI	195-619

5mm Side Looker Honeywell GaAs/AlGaAs Emitters and Silicon Phototransistors



Body L: 5.72 (except SEP8736/5436) L: 3.3  
 Body W: 4.45  
 Lead spacing 2.54  
 Width device facing front - left hand lead  
 Emitters - cathode  
 Detector - emitter

SEP8506 - red package; SEP8706/8736 - smoke grey package; SDP8406 - clear package; SDP8436 - black package.

Supplied to RS by Honeywell

A range of spectrally matched GaAs and AlGaAs infrared emitters and filtered and unfiltered silicon phototransistors. The SEP8506 is a general purpose emitter, SEP8706 and SEP8736 are high power emitters, the latter having a narrow beam angle. The SDP8406 is a general purpose phototransistor, the SDP8436 is a filtered narrow acceptance angle device. Each device is housed in a standard side looker plastic package except SEP8736/8436 which is housed in an ultra compact package. All these devices are ideal for PC board mounting, slotted switch and photo-interrupter type applications.

technical specification			
<b>Emitters</b>			
V <sub>i</sub> (max.) (I <sub>e</sub> = 20mA)	1.5V	Peak wavelength	935nm
SEP8506		SEP8706/8736	880nm
SEP8706/8736	1.7V	Beam angle	
V <sub>e</sub> (max.)	3V	SEP8506/8706	50°
I <sub>e</sub> (max.)	50mA	SEP8736	10°
Radiant power (min.)		Power dissipation	100mW
SEP8506	0.45mW/cm <sup>2</sup>		
SEP8706	0.65mW/cm <sup>2</sup>		
SEP8736	1.7mW/cm <sup>2</sup>		
Operating temp.	-40°C to +100°C		
<b>Detectors</b>			
SDP8406		Peak sensitivity	935nm
V <sub>e</sub> (max.)	30V	Rise/fall time	15µs
I <sub>e</sub> (max.)	5-5mA	Power dissipation	100mW
Photocurrent	3-4mA		
Dark current (max.)	100nA		
Operating temp.	-40°C to +100°C		
SDP8436		Peak sensitivity	880nm
V <sub>e</sub> (max.)	30V	Rise/fall time	10µs
I <sub>e</sub> (max.)	17.5mA	Power dissipation	60mW
Photocurrent	7mA		
Dark current	100nA		
Operating temp.	-40°C to +100°C		

S.S.M. = 1

type	stock no.
emitters	
SEP8506	195-798
SEP8706	195-805
SEP8736	195-811
phototransistor	
SDP8406	195-833
SDP8436	195-849

How to Order

- Please order the number of priced units you require of each stock number ensuring that the quantity ordered is divisible by the S.S.M.
- Products are only available in multiples of the S.S.M.
- For more information, see the introductory pages of this catalogue

S.S.M. = Standard Supply Multiple

3mm Side Looking Kodenshi GaAs Emitter and Silicon Phototransistor



Body L: 2.8  
 Body W: 3.2  
 Lead spacing 2.54  
 With device facing front - left hand lead  
 Emitter - anode  
 Detector - Emitter  
 Detector has red spot on package. Devices housed in clear packages.

Supplied to RS by Kodenshi

A spectrally matched high power GaAs infrared emitter and high sensitivity silicon phototransistor. Each device is housed in a low profile compact right angle mount package making them ideal for PC board mounting for slotted switch and photo-interrupter type applications.

technical specification			
<b>Emitter</b>			
V <sub>i</sub> (max.) (I <sub>e</sub> = 50mA)	1.6V	I <sub>e</sub> (max.)	10µA
V <sub>e</sub> (max.)	5V	Peak wavelength	940nm
I <sub>e</sub> (max.)	50mA	Power dissipation	75mW
Radiant power	0.7mW/sr	Beam angle	50°
Operating temp.	-25°C to +85°C		
<b>Detector</b>			
V <sub>e</sub> (max.)	30V	Peak sensitivity	880nm
I <sub>e</sub> (max.)	20mA	Rise time	3.2µs
Photocurrent	1.5mA	Fall time	4.8µs
Dark current (max.)	100nA	Acceptance angle	60°
Power dissipation	75mW		
Operating temp.	-25°C to +80°C		

S.S.M. = 1

type	stock no.
emitter	
E-302	195-388
phototransistor	
PT-302	195-394

อุปกรณ์นี้เป็น 195-388 ที่ส่งมอบไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำมาขาย  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทางสน. อีกทั้งห้ามมิให้ตัด photodiode นี้ออก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร S.S.M. เท่านั้นที่ถือครองต่อไปใช้  
 PD410PI 195-619

## Kodenshi GaAs Emitter and Silicon Phototransistor



Body L. 4.6  
Body W. 4.6  
Lead spacing 2.54  
With device facing front -  
left hand lead  
Emitter/cathode

Emitter - black top, phototransistor - red top

Supplied to RS by Kodenshi

A spectrally matched GaAs infrared emitter and silicon phototransistor. Each device is housed in a plastic side looker package making them ideal for PC board mounting. These general purpose devices offer a low cost solution to many applications including slotted switches and photo-interrupters.

### technical specification

Emitters			
V <sub>e</sub> (max.)	1.6V	I <sub>e</sub> (max.)	10μA
V <sub>e</sub> (max.)	5V	Peak wavelength	940nm
I <sub>e</sub> (max.)	50mA	Beam angle	60°
Radiant power	2mW/sr	Power dissipation	100mW
Operating temp.	-20°C to +100°C		

Detectors			
V <sub>e</sub> (max.)	30V	Peak sensitivity	880nm
I <sub>c</sub> (max.)	40mA	Rise time	3.2μs
Dark current (max.)	100nA	Fall time	4.8μs
Power dissipation	100mW		
Operating temp.	-20°C to +100°C		

S.S.M. = 1

type stock no.

emitter		
EL23G		195-366
phototransistor		
ST23G		195-372

Data

Reproduction Manufacturers  
Data Sheets Available On Request

type	stock no.
EL23G	062-575
ST23G	062-581

## Siemens Silicon Photodiode



Body L. 6.6  
Body W. 4.9  
Lead spacing 2.54  
Short lead anode

Supplied to RS by Siemens

A high speed silicon PIN photodiode with integral day light cut-off filter. This detector has a very wide acceptance angle and excellent signal to noise ratio characteristics even at low light levels. The device is housed in a black 5mm TO92 plastic package.

### technical specification

V <sub>e</sub> (max.)	32V	I <sub>sc</sub>	25μA
Dark current (max.)	30nA	Rise/fall time	20ns
Power dissipation	150mW	Acceptance angle	120°
Peak wavelength	950nm		
Operating temp.	-40°C to +80°C		

S.S.M. = 1

type stock no.

photodiode		
SFH205		195-704

## 7mm Sharp Silicon Photodiode



Body L. 7.6  
Body W. 7.0  
Lead spacing 5.08  
Anode below  
chamfered edge

Supplied to RS by Sharp

The PD481PI is a high speed, high sensitivity silicon photodiode with integral daylight cut-off filter. This device has excellent signal to noise ratio characteristics making it ideal for use in low light level applications.

### technical specification

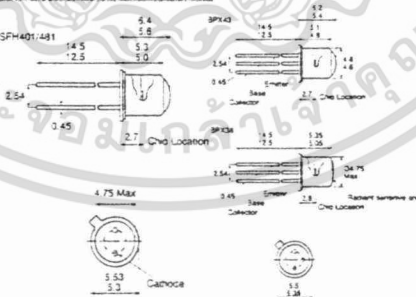
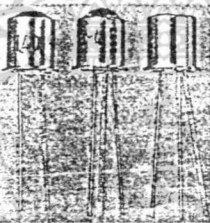
Detector			
V <sub>e</sub> (max.)	32V	I <sub>sc</sub>	5μA
Dark current (max.)	30nA	Rise/fall time	200ns
Power dissipation	150mW	Acceptance angle	118°
Peak wavelength	960nm		
Operating temp.	-25°C to +85°C		

S.S.M. = 1

type stock no.

photodiode		
PD481PI		195-574

## Hermetically Sealed TO18 Siemens GaAs/GaAlAs Emitters and Silicon phototransistors



Supplied to RS by Siemens

A range of spectrally matched GaAs/GaAlAs infrared emitters and high sensitivity silicon phototransistors. The SFH401 is a GaAs emitter with a medium beam angle, the SFH481 is a high power GaAlAs emitter with a medium beam angle, both devices are very efficient and can withstand high pulse operation. The BPX38 is a medium gain phototransistor with a wide acceptance angle. The BPX43 is a very high gain phototransistor with a narrow acceptance angle. All devices are housed in a high quality hermetically sealed TO18 package. Each device has a rounded lens except BPX38 which has a flat lens, all devices are particularly suited to demanding applications in harsh environments.

### technical specification

Emitters			
V <sub>e</sub> (max.) (I <sub>e</sub> = 1mA)		I <sub>e</sub> (ma)	
SFH401	1.9V	SFH401	300
SFH481	3V	SFH481	200
V <sub>e</sub> (max.)	5V	Peak wavelength	
		SFH401	950
		SFH481	880
		Power dissipation	470
		Beam angle	30°

Radiant power			
(I <sub>e</sub> = 100mA) (tp = 20ms)			
SFH401	10mW/sr		
SFH481	16mW/sr		
(I <sub>e</sub> = 1A) (tp = 10us)			
SFH401	120mW/sr		
SFH481	220mW/sr		
Operating temp.	-55°C to +100°C		

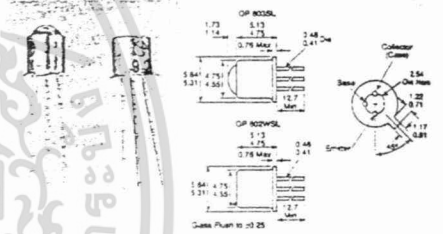
Detectors			
V <sub>e</sub> (max.)	50V	Acceptance angle	
I <sub>c</sub> (max.)	50mA	BPX38	80°
Photocurrent		BPX43	30°
BPX38	2.3mA	Rise/fall time	15μs
BPX43	3mA	Power dissipation	220
Dark current	300nA		
Operating temp.	-55°C to +125°C		

S.S.M. = 1

type stock no.

emitters		
SFH401		195-710
SFH481		195-726
phototransistor		
BPX38		195-732
BPX43		195-748

## TO18 Optek Silicon Phototransistors



Supplied to RS by Optek

The OP802WSL and OP803SL are high sensitivity silicon phototransistors. The OP802WSL has a very wide acceptance angle allowing for an even response over a wide area. The OP803SL has a narrow acceptance providing excellent on-axis coupling characteristics. Both devices are housed in high quality hermetically sealed TO18 packages. The OP802WSL has a flat lens, the OP803SL has a rounded lens, both devices are particularly suited to demanding applications in harsh environments where extended temperature range and high power dissipation are important.

### technical specification

V <sub>e</sub> (max.)	30V	Acceptance angle	
I <sub>c</sub> (max.)	50mA	OP802WSL	80°
I <sub>c</sub> (min.)		OP803SL	25°
OP802WSL	2.5mA	Rise/fall time	2μs
OP803SL	4mA	Power dissipation	250mW
Dark current	100nA		
Operating temp.	-65°C to +125°C		

S.S.M. = 1

type stock no.

Phototransistors		
OP802WSL		195-271
OP803SL		195-265

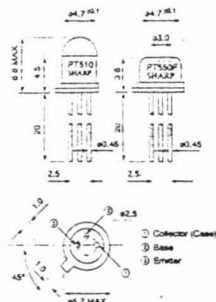
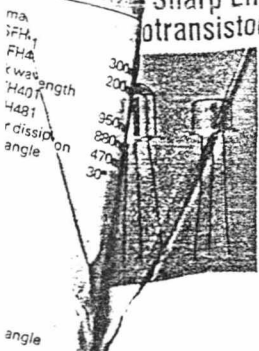
Phone or Fax the Orderline



For ordering information refer to the introductory pages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sharp Emitter & Silicon Phototransistors



Supplied to RS by Sharp

The GL514 is a narrow beam angle GaAs emitter the PT510 is a narrow acceptance angle silicon phototransistor providing good on-axis coupling characteristics. The PT550F is a high sensitivity silicon phototransistor with a wide acceptance angle allowing for an even response over a wide area. Each device is housed in high quality hermetically sealed TO18 package. The GL514 & PT510 have a rounded lens, the PT550F has a flat window. These devices are particularly suited to demanding applications in harsh environments where extended temperature range and high power dissipation are important.

technical specification

Emitters		
V <sub>i</sub> (max.)	1-35V	Peak wavelength
V <sub>e</sub> (max.)	6V	Power dissipation
I <sub>e</sub> (max.) (peak)	2A	Beam angle
Radiant power	5-35mW	
Operating temp.	-40°C to +125°C	

Detectors		
V <sub>250</sub> (max.)	35V	Acceptance angle
I <sub>c</sub>		PT510
PT510 (typ.)	20mA	PT550F
PT550F (max.)	100mA	Peak wavelength
I <sub>c</sub> (max.)		PT510
PT510	2.5mA	PT550F
PT550F	3mA	Rise time
Dark current		PT510
PT510	2nA	PT550F
PT550F	100nA	Fall time
Power dissipation		PT510
PT510	75mW	PT550F
PT550F	150mW	
Operating temp.	-25°C to +125°C	

infra-red emitters and silicon phototransistors. The emitters are available with medium or high output powers, both types having narrow or wide beam angles. The phototransistors are high sensitivity devices available with narrow or wide acceptance angles. Each device is housed in a high quality hermetically sealed TO46 package. The SE3455, SE3470 and SD3443 all have flat windows where as the other devices have rounded glass lenses. These devices are particularly suited to demanding applications in harsh environments where extended temperature range and high power dissipation are important.

technical specification

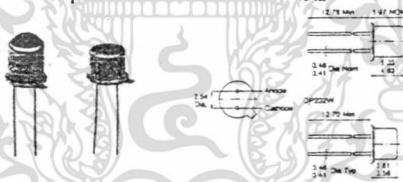
Emitters			
SE3455/SE5455		Peak wavelength	935nm
V <sub>i</sub> (max.)	1.7V	Power dissipation	150mW
V <sub>e</sub> (min.)	3V	Beam angle	
I <sub>e</sub> (max.)	100mA	SE3455	90°
Radiant power	4.8mW	SE5455	20°
Rise/fall time	0.7µs		
Operating temperature	-55°C to +125°C		
Detectors			
SE3470/SE5470		Peak wavelength	880nm
V <sub>i</sub> (max.)	1.9V	Power dissipation	150mW
V <sub>e</sub> (min.)	3V	Beam angle	
I <sub>e</sub> (max.)	100mA	SE3470	90°
Radiant power (min.)		SE5470	20°
SE3470	10.5mW/cm <sup>2</sup>	Rise/fall time	0.7µs
SE5470	2.6mW/cm <sup>2</sup>	Operating temperature	-55°C to +125°C
Detectors			
V <sub>e</sub> (max.)	30V	Acceptance angle	
I <sub>c</sub> (min.)		SD3443	90°
SD3443	2mA	SD5443	18°
SD5443	8mA	Rise/fall time	15µs
Dark current	100nA	Power dissipation	150mW
Operating temperature	-55°C to +125°C		

S.S.M. = 1

type stock no.

Emitters	
GaAs SE3455	195-883
GaAs SE5455	195-861
GaAs SE3470	195-877
GaAs SE5470	195-855
Phototransistors	
SD3443	195-906
SD5443	195-899

TO46 Optek GaAlAs Emitters



Supplied to RS by Optek

The OP232 and OP232W are high power GaAlAs infra-red emitters. The OP232 has a narrow beam angle providing high on-axis intensity and hence excellent coupling characteristics, the OP232W has a wide beam angle allowing illumination over a wide area. Both devices are housed in high quality hermetically sealed TO46 packages. The OP232W has a rounded lens, the OP232 has a flat lens, both devices are particularly suited to demanding applications in harsh environments where extended temperature range and high power dissipation are important.

technical specification

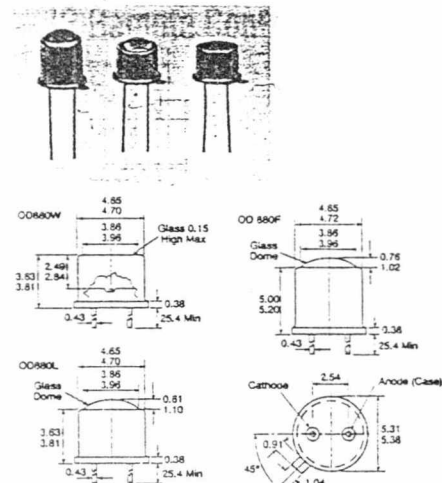
V <sub>i</sub> (max.)	2V	Peak wavelength	390nm
V <sub>e</sub> (max.)	2V	Power dissipation	200mW
I <sub>e</sub> (max.)	100mA	Beam angle	
Radiant power		OP232	18°
OP232	2mW/cm <sup>2</sup>	OP232W	50°
OP232W	3.5mW/cm <sup>2</sup>	Rise time	500ns
		Fall time	250ns
Operating temperature	-65°C to +150°C		

S.S.M. = 1

type stock no.

Emitters	
OP232	195-259
OP232W	195-243

TO46 Opto-Diode GaAlAs Emitters



Supplied to RS by Opto-Diode

A range of very high efficiency non-coherent GaAlAs infra-red emitters. These devices have very high output powers and are available with wide, medium and very narrow beam angles. Each device is housed in a very high quality hermetically sealed TO46 package complete with gold plated contacts. The OD880W has a flat lens, the others have rounded lenses. These devices are particularly suited to applications where high reliability and very high output powers are important especially in harsh and demanding environments.

technical specification

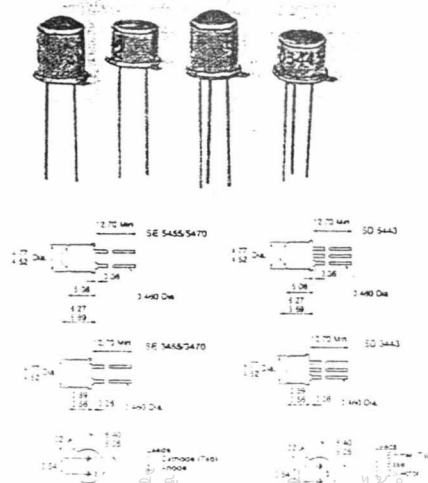
V <sub>i</sub> (max.)	1.9V	Peak wavelength	880nm
V <sub>e</sub> (max.)	5V	Power dissipation	190mW
I <sub>e</sub> (max.)	100mA	Beam angle	
I <sub>e</sub> (peak)	3A	OD880W	80°
Radiant power		OD880L	35°
OD880W	16mW/sr	OD880F	8°
OD880L	50mW/sr	Rise/fall time	0.5µs
OD880F	135mW/sr		
Operating temperature	-55°C to +100°C		

S.S.M. = 1

type stock no.

Emitters	
OD880W	195-439
OD880L	195-445
OD880F	195-451

TO46 Honeywell GaAs/GaAlAs Emitters & Silicon Phototransistors



Supplied to RS by Honeywell Optoelectronics

A range of spectrally matched GaAs and GaAlAs

เอ็กซาร์นเป็นเอกสารที่คำนวณไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้  
 ใช้ออกแบบหรือใช้ในงานอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ผลิต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

**Need More Information?**

The RS Data Library forms a unique source of detailed technical data on thousands of RS products.

Containing hundreds of data sheets written by experienced technical engineers, the RS Data Library expands greatly on our concise catalogue information. The library combines manufacturers' data with true hands-on applications experience and the wealth of facilities in the RS laboratory.

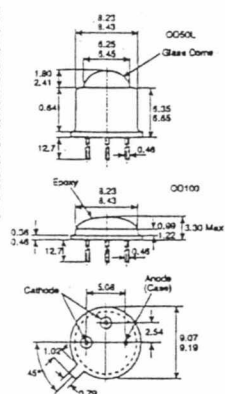
Refer to Technical Books, Section 74, for more details.

**How to Order**

- Please order the number of priced units you require of each stock number ensuring that the quantity ordered is divisible by the S.S.M.
- Products are only available in multiples of the S.S.M.
- For more information, see the introductory pages of this catalogue

S.S.M. = Standard Supply Multiple

## TO39 Opto-Diode Ultra High Power GaAlAs Emitters



### Supplied to RS by Opto-Diode

Two very high efficiency non-coherent GaAlAs infra-red emitters. These devices have exceptionally high output powers and are available with either very narrow or very wide beam angles. Each device is housed in a very high quality hermetically sealed TO39 package complete with gold plated contacts. These devices are particularly suited to applications where high reliability and exceptionally high output powers are important especially in harsh and demanding environments.

**Note:** Two cathodes must be externally connected together before operation.

#### technical specification

$V_f(\text{max.})$	2V	Peak wavelength	880nm
$V_r(\text{max.})$	5V	Power dissipation	1000mW
$I_f(\text{max.})$	500mA	Beam angle	
$I_r(\text{peak})$	10A	OD50L	7°
Radiant power		OD100	120°
OD50L	500mW/sr	Total output power (I <sub>f</sub> = 10A)	
OD100	50mW/sr	OD50L	600mW
Rise/fall time	0.7µs	OD100	1300mW
Operating temperature			-55°C to +100°C

S.S.M. = 1

type

stock no.

emitters  
OD50L  
OD100

195-467  
195-473

### Symbol Guide

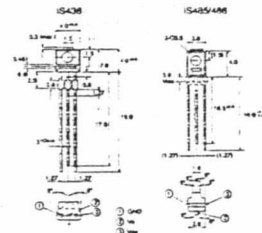
- ③ This product may be serviced - see conditions of sale/servicing.
- ⊕ This product may be recalibrated and supplied with a calibration certificate.
- Product will be discontinued when stocks run out.
- Product is subject to design modification in the near future.
- Ⓛ Licensed software.
- † Hazardous products which may require special transport arrangements.

### Phone or Fax the Orderline

For ordering information refer to the introductory pages.



## Opto Schmitt Trigger Detectors Sharp 3 and 4mm Side Looking



### Supplied to RS by Sharp

A range of opto schmitt trigger detectors housed in 3mm and 4mm side looking plastic packages. Each device consists of a photodiode, amplifier, voltage regulator and a schmitt trigger, complete with inverting or non-inverting transistor outputs. The devices all have narrow acceptance angles and are TTL/LSTTL compatible. The IS436 and IS486 have high level output under incident light, the IS485 has low level output under incident light.

#### technical specification

$V_{cc}$	4.5V to 17V	IS436/486	5µs	Propagation delay	
IS436	4.5V to 17V	IS485	3µs	IS436/486	
IS485/486	-0.5V to 17V	IS485	50 lux	IS485	
$I_{cc}(\text{max.})$	5mA	IS436	500nm	IS436	
$I_{cc}(\text{max.})$	3.8mA	IS485/486	900nm	IS485/486	
$I_{cc}(\text{max.})$	3mA	IS436	250mW	IS436	
$I_{cc}(\text{max.})$	3mA	IS485/486	175mW	IS485/486	
$I_f(\text{max.})$	50mA	IS436	30°	IS436	
$V_{OL}(\text{min.})$	3.5V	IS485/486	0.1µs	IS485/486	
$V_{OH}(\text{max.})$	0.4V	IS436	0.05µs	IS436	
Operating temperature	-25°C to +85°C	IS485/486		IS485/486	

S.S.M. = 1

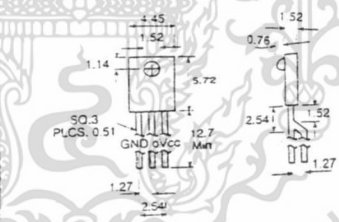
type

stock no.

IS436  
IS485  
IS486

197-025  
197-031  
197-047

## Honeywell 5mm Side Looking



### Supplied to RS by Honeywell Optoelectronics

The SDP8600 is an opto schmitt trigger detector housed in a 5mm side looking plastic package with integral daylight cut-off filter. Each device consists of a photodiode, amplifier, voltage regulator and a schmitt trigger, complete with a buffered output. The SDP8600 has a wide acceptance angle and is compatible with TTL/LSTTL and CMOS logic. Detector sensitivity is internally temperature compensated, output rise and fall times are independent of the rate of change of incident light. Device output is low when input excitation is zero.

#### technical specification

$V_{cc}$	4.5V to 12V	Propagation delay	5µs
$I_{cc}(\text{max.})$	15mA	Clock frequency	100kHz max.
$I_f(\text{max.})$	13mA	Turn-on irradiance	0.6mW/cm <sup>2</sup>
$V_{OL}(\text{min.})$	2.4V	Hysteresis (max.)	30%
$V_{OH}(\text{max.})$	0.4V	Power dissipation	180mW
Rise time	75ns	Peak wavelength	300nm
Fall time	15ns	Acceptance angle	50°
Operating temperature	-40°C to +85°C		

S.S.M. = 1

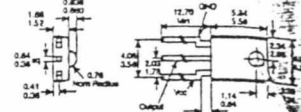
type

stock no.

SDP8600

197-003

## Optek 5mm Side Looking



### Supplied to RS by Optek

The OPL550 is an opto schmitt trigger detector housed in a 5mm side looking plastic package. Each device consists of a photodiode, linear amplifier and a schmitt trigger complete with a buffered totem pole output. The OPL550 has a wide acceptance angle and is TTL/LSTTL compatible with a capability of driving upto 8 TTL loads un-buffered. The detector can handle data rates of upto 25kbaud. Also featured is high noise immunity due to the schmitt trigger's good hysteresis characteristics.

#### technical specification

$V_{cc}$	4.5V to 5.5V	Turn-on irradiance	2.4mW/cm <sup>2</sup>
$I_{cc}(\text{max.})$	15mA	Hysteresis ratio (max.)	2.5
$I_f(\text{max.})$	16mA	Peak wavelength	800nm
$V_{OL}(\text{min.})$	2.4V	Acceptance angle	70°
$V_{OH}(\text{max.})$	0.4V	Power dissipation	85mW
Rise/fall time	25ns	Propagation delay	2.5µs
Operating temperature	-40°C to +85°C		

S.S.M. = 1

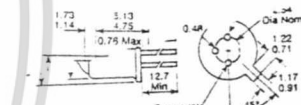
type

stock no.

OPL550

195-293

## Optek TO18 Hermetically Sealed



### Supplied to RS by Optek

The OPL810 is an opto schmitt trigger detector housed in a hermetically sealed TO18 package. Each device consists of a photodiode, linear amplifier, voltage regulator and a schmitt trigger, complete with a buffered totem pole output. The OPL810 has a very narrow acceptance angle and is TTL/LSTTL compatible with a capability of driving upto 10 TTL loads over supply voltages ranging from 4.5V to 16V. The detector has high noise immunity due to the schmitt trigger's good hysteresis characteristics.

#### technical specification

$V_{cc}$	4.5V to 16V	Rise/Fall time	70ns
$I_{cc}(\text{max.})$	15mA	Propagation delay	5µs
$I_f(\text{max.})$	50mA	Turn-on irradiance	2mW/cm <sup>2</sup>
sink source	10mA	Hysteresis ratio (max.)	2
$V_{OL}(\text{min.})$	$V_{cc} - 2.1V$	Peak wavelength	880nm
$V_{OH}(\text{max.})$	0.4V	Acceptance angle	12°
Operating temperature	-55°C to +105°C	Power dissipation	250mW

S.S.M. = 1

type

stock no.

OPL810

195-287

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

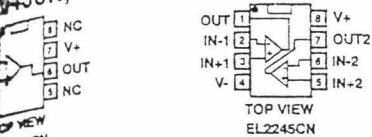
2nV/µs  
0-02  
EL2245CN & EL2445CN



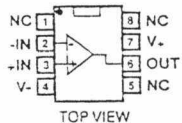
INVERTING INPUT A 2 7 OUTPUT B  
NON-INVERTING INPUT A 1 6 INVERTING INPUT B

Power 100MHz Video

Amplifiers EL2245CN, EL2245CN & EL2445CN



High-Speed, Wideband HA3-2840-5



Supplied to RS by Harris Semiconductor

A wideband, high slew rate bipolar operational amplifier which exhibits high performance in circuits with a closed loop gain of 10 or greater. This device is ideal for video and RF applications and is designed for stable differential gain and phase margin characteristics.

Device features

- Low supply current
- High slew rate
- 10MHz full power bandwidth
- Specified gain and phase

Typical applications for this device include wideband amplifiers and RF oscillators as well as pulse and video amplifiers.

technical specification

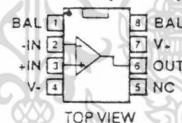
Offset voltage (max)	2mV
Bias current (max)	14.5µA
Large signal voltage gain	25k V/V
Minimum stable gain	10 V/V
Gain bandwidth product (typ)	600MHz
Output voltage swing (min)	± 10V
Output current (min)	± 10mA
Differential gain (typ)	0.03%
Differential phase (typ)	0.03°
Slew rate (min)	550V/µs
Voltage between V+ and V- (Abs. max)	35V
Supply current (max)	15mA
Operating temperature	0°C to +75°C

All parameters measured at V<sub>s</sub> = ±15V

S.S.M. = 1

stock no. 265-106

Fast Settling Unity Gain Stable Video Op-Amp HA3-2841-5



Supplied to RS by Harris Semiconductor

A wideband unity gain stable operational amplifier featuring a 54MHz unity gain bandwidth and excellent d.c. and a.c. specifications.

Device features

- High slew rate 240V/µs
- Unity gain bandwidth 54MHz
- Low supply current
- Fast settling time

technical specification

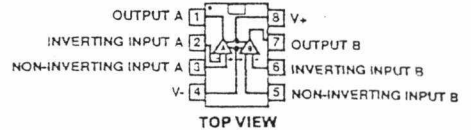
Offset voltage (max)	2mV
Large signal voltage gain (min)	25k V/V
Minimum stable gain	1V/V
Gain bandwidth product (typ)	54MHz
Full power bandwidth (min)	3.2MHz
Differential gain (typ)	0.03%
Differential phase (typ)	0.03°
Slew rate (min)	200V/µs
Settling time (typ)	90ns
Voltage between V- and V+ (Abs max)	35V
Supply current (typ)	10mA
Operating temperature	0°C to -75°C

All parameters specified at V<sub>s</sub> = ±15V

S.S.M. = 1

stock no. 265-112

Dual LMC6032IN



Supplied to RS by National Semiconductor

A CMOS dual operational amplifier which can operate from either a single or dual supply. The device features include an input common-mode range which reaches ground, low input bias current and high voltage gain into realistic loads, such as 2kΩ and 600Ω.

Features include:

- High voltage gain
- Low offset voltage drift
- Ultra low input bias current

Typical applications include: high impedance buffer or pre-amplifier, current to voltage converter, sample and hold circuit and peak detector.

technical specification

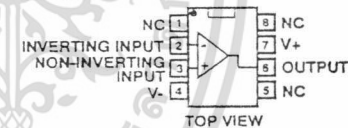
Input offset voltage (max.)	9mV
Input bias current (max.)	200pA
Input resistance	> 1TΩ or > 10 <sup>10</sup> Ω
Slew rate (min.)	0.8V/µs
Gain bandwidth product (typ.)	1.4MHz
Large signal voltage gain R <sub>L</sub> = 2kΩ	
sourcing	200V/mV (typ.)
sinking	90V/mV (typ.)
Output voltage swing R <sub>L</sub> = 2kΩ to V+ / 2	(min.) 4.2V (max.) 0.25V
Output current sourcing	13mA
sinking	13mA
Supply voltage	4.75 to 15.5V
Supply current	1.6mA
Operating temperature	-40 to +85°C

Note: All parameters measured at V<sub>s</sub> = ±5V

S.S.M. = 1

stock no. 296-532

CMOS Single Micropower Op-Amp LMC6041IN



Supplied to RS by National Semiconductor

An ultra-low power consumption and low input-leakage current device which operates from a single supply. The device has an output swing extending to each supply rail and an input voltage range that includes ground, 8-pin d.i.l. package.

Device features:

- 14µA supply current
- Rail-to-rail output swing
- Input common mode range that includes ground
- 4.5 to 15.5V single supply operation

Typical applications include: battery powered systems, photodiode and infrared detector pre-amplifiers, silicon based transducer systems, precision process monitoring and sensors.

technical specification

Input offset voltage (max.)	6.3mV
Output voltage swing R <sub>L</sub> = 100kΩ to V+ / 2	-4.910V (min.) 0.090V (max.)
Output current: sourcing	8mA (min.)
sinking	3mA (min.)
Slew rate (typ.)	0.02V/µs
Gain bandwidth product (typ.)	75kHz
Supply current (max.)	30µA (V <sub>s</sub> = 1.5V)
Supply voltage	4.5 to 15.5V
Operating temperature range	-40 to +85°C

All parameters measured at V<sub>s</sub> = ±5V

S.S.M. = 1

stock no. 310-903

How to Order

- Please order the number of priced units you require of each stock number ensuring that the quantity ordered is divisible by the S.S.M.
- Products are only available in multiples of the S.S.M.
- For more information, see the introductory pages of this catalogue

S.S.M. = Standard Supply Multiple

โปรดใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ทั้งนี้ทั้งนั้นมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

อภิรักษ์ มัชฌานนท์ , การสื่อสารเส้นใยแสง , ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มงคล ทองสงคราม , อิเล็กทรอนิกส์ 2 , พิมพ์ครั้งที่ 1 2536

JOHN M. SENIOR , **Optical Fiber Communications Principles and Practice** , 2nd ed. ,

Prentice Hall International series in optoelectronics 419-435p

Govind P. Agrawal , **FIBER - OPTIC COMMUNICATION SYSTEM** , JOHN WILEY &

SONS (SEA) PTE LTD

MORRIS TISCHLER , **OPTOELECTRONICS : FIBER OPTICS AND LASER**

A TEXT-LAB MANUAL , SECOND EDITION , McGraw-Hill Publishing Co. , 1992



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

**นางสาวณัฐอนงค์ คงตะโก**

เกิดเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2517 ที่จังหวัดชุมพร มีพี่น้อง 3 คน จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนพระโขนงพิทยาลัย แล้วเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**นายสภัทร์พร ไทยตรง**

เกิดเมื่อวันที่ 29 กันยายน 2518 ที่กรุงเทพฯ แล้วไปศึกษาระดับประถมและมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนสตรีมารดาพิทักษ์ จังหวัดจันทบุรี ปี 2533 ได้เข้ามาศึกษาต่อในระดับมัธยมตอนปลายที่ โรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนีย์) และสอบเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้