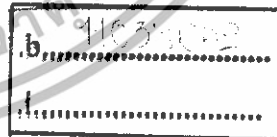


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แหล่งกำเนิดแสง  
LIGHT SOURCE



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 86874  
วัน,เดือน,ปี..... 16 ส.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร

แหล่งกำเนิดแสง

LIGHT SOURCE

ชื่อนักศึกษา

นาย วิโรจน์ คงเมือง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ อรลภ แสงอรุณ

อาจารย์ เชาวลิต เบญจางคประเสริฐ

ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2538

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้รับ  
ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาบัตร



ประธานกรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แหล่งกำเนิดแสง

ชื่อนักศึกษา นาย วิโรจน์ คงเมือง รหัส 37012028  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ อรลภก แสงอรุณ  
อาจารย์ เขาวลิต เบญจางคประเสริฐ

ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2538

### บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและพัฒนาแหล่งกำเนิดแสง ( Light Sources ) เพื่อใช้ใน ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสงสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงและ เลเซอร์ไดโอดเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวงจรขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียลที่มีชุดจ่ายกระแส คงที่ แหล่งกำเนิดแสงที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ลำแสงที่มีพลังงานหรือความเข้มแสงมากพอที่จะส่ง สัญญาณไปได้ตลอดระยะทางในห้องปฏิบัติการและสามารถส่งพลังงานทั้งหมดไปได้โดยไม่ เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LIGHT SOURCE

BY MR. WIROJ KONGMUANG NO. 37012028  
 ADVISER MISS ORNLAP SANGARUN  
 MR. CHAWALIT BENLANGKAPRASERT

YEAR 2538

---

### ABSTRACT

This project proposed Light Source using Light Emitting Diodes ( LED ) and Laser Diodes ( LD ) for a fiber optic power in Laboratory. The driver current is differential circuit and current constant. Light Source has been developed in wavelength region 850 nm. it consist of fiber optic Laser beam computible transfer standard and sensitive Laser colorimeter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีโดยได้รับความแนะนำ รวมทั้งได้รับความปรึกษาทางด้านวิชาการ ตลอดจนได้รับความเชื่อเพื่อด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ ในการสร้างและการทดลองจาก อาจารย์ อรลภก แสงอรุณ และ อาจารย์ เซาวลิต เบญจางคประเสริฐ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือด้านอื่นๆ อีกหลายท่านซึ่งไม่กล่าวในที่นี้และที่ขาดไม่ได้ก็คือ บิดา มารดาของข้าพเจ้าที่สูญเสียให้ข้าพเจ้าได้มีการศึกษาจนถึงทุกวันนี้ ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณมา ณ. ที่นี้ด้วย

นาย วิโรจน์ คงเมือง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	i
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	vi
สารบัญตาราง	viii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น	2
2.1 แสง	2
2.2 แหล่งกำเนิดแสง ( Light Sources )	3
2.2.1 ไดโอดเปล่งแสง ( LED )	3
2.2.2 แสงเลเซอร์ ( LASER )	12
2.2.3 เลเซอร์ไดโอด ( LD )	18
2.3 ตัวรับแสง ( Light Detectors )	25
2.3.1 ไฟโตไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ	27
2.3.2 ฟินไฟโตไดโอด	28
2.4 วงจรจ่ายกระแสคงที่	31
บทที่ 3 การออกแบบวงจร	38
3.1 การออกแบบ	38
3.2 หลักการออกแบบวงจรขับไดโอดเปล่งแสง ( LED )	38
3.3 หลักการออกแบบวงจรขับเลเซอร์ไดโอด ( LD )	40
3.4 การออกแบบวงจรภาครับ ( Detector )	43
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	45
4.1 การทดลองหาการตอบสนองความถี่ของวงจรขับไดโอดเปล่งแสง	45
4.2 การทดลองหาการตอบสนองความถี่ของวงจรขับเลเซอร์ไดโอด	47
4.3 การทดลองส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านวงจรขับไดโอดเปล่งแสง	49
4.4 การทดลองส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านวงจรขับเลเซอร์ไดโอด	50
4.5 การทดลองหา Line width ของแหล่งกำเนิดแสงจาก LED และ LD	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

53

ภาคผนวก

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงถึงรอยต่อ สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าและแถบพลังงานที่เกี่ยวข้องกับไดโอด	4
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเพาเวอร์และกระแสไฟฟ้า	6
รูปที่ 2.3 แสดง digital modulation ของ LED	7
รูปที่ 2.4 แสดง analog modulation ของ LED	7
รูปที่ 2.5 แสดง Variation of ac optic power with modulation frequency	9
รูปที่ 2.6 แสดง rise time ของแหล่งกำเนิดแสง	9
รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบการกระจายแบบแลมเบิร์ตของ surface-emitting LED	10
รูปที่ 2.8 แสดง Unsymmetric radiation จาก edge-emitting	11
รูปที่ 2.9 แสดง source-to-fiber coupling of a glass covered LED	12
รูปที่ 2.10 แสดง LED mounted on a header และแสดง microlensed LED	12
รูปที่ 2.11 การดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง	14
รูปที่ 2.12 การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น	15
รูปที่ 2.13 การกระจายแบบ Boltzman ของจำนวนอิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน E1 และ E2 ที่สภาพสมดุลอุณหภูมิต	16
รูปที่ 2.14 การเกิด Population Inversion ในสภาพของระบบที่มีอุณหภูมิตดล	17
รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการเกิดแสงเลเซอร์	19
รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดที่แสดงทิศทางการเปล่งแสง	19
รูปที่ 2.17 แสดงกระแสพัลส์และการทำงานของเลเซอร์ไดโอด	20
รูปที่ 2.18 a) แสดงคุณลักษณะของค่าเพาเวอร์ทางด้านแสงเอาต์พุตกับกระแสอินพุต b) แสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเลเซอร์ไดโอด	21
รูปที่ 2.19 แสดง digital modulation ของเลเซอร์ไดโอด	21
รูปที่ 2.20 แสดง analog modulation ของเลเซอร์ไดโอด	22
รูปที่ 2.21 a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิตกับเพาเวอร์ของเลเซอร์ขณะกระแสคงที่ b) แสดงสเปกตรัมเอาต์พุตของ Mutimode laser diode c) แสดงสเปกตรัมเอาต์พุตของ Single longitudinal mode laser diode	23
รูปที่ 2.22 แสดง Radiation pattern ของเลเซอร์ไดโอด	24
รูปที่ 2.23 a) แสดง laser diode package b) แสดง laser diode with an intergal fiber pigtail	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.24 แสดง Photodetector rise time	26
รูปที่ 2.25 แสดงถึงกลไกการตรวจแสงของตัวตรวจจับแบบรอยต่อ	27
รูปที่ 2.26 แสดง PIN diode	28
รูปที่ 2.27 แสดงผลการตอบสนองของสเปกตรัมของ silicon และ InGaAs	29
รูปที่ 2.28 แสดงคุณลักษณะทางด้านกระแสแรงดันของ silicon diode	30
รูปที่ 2.29 แสดงวงจรจ่ายกระแสที่ใช้กับวงจรขยายความแตกต่าง	31
รูปที่ 2.30 แสดงการใช้ $R_s$ เป็นวงจรจ่ายกระแส	32
รูปที่ 2.31 วงจรจ่ายกระแสคงที่โดยใช้ทรานซิสเตอร์และเพท	33
รูปที่ 2.32 วงขยายผลแตกต่างของสัญญาณและแหล่งจ่ายไฟ	34
รูปที่ 2.33 วงขยายผลต่างแบบอินพุตเดียว	34
รูปที่ 2.34 วงขยายผลแตกต่างของสัญญาณที่ใส่วงจรควบคุมกระแสให้คงที่	36
รูปที่ 2.35 วงขยายผลแตกต่างของสัญญาณที่ใส่วงจรควบคุมกระแสให้คงที่อีกแบบหนึ่ง	37
รูปที่ 3.1 วงจรขับไดโอดเปล่งแสง	40
รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมกระแส $I_C$	41
รูปที่ 3.3 วงจรขับเลเซอร์ไดโอด	42
รูปที่ 3.4 วงจรดีเทคสัญญาณทางแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า	44
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรขับไดโอดเปล่งแสง	46
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรขับเลเซอร์ไดโอด	48
รูปที่ 4.3 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับอินพุตที่ $f=1\text{MHz}$ ของวงจรขับ LED	49
รูปที่ 4.4 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับอินพุตที่ $f=5.5\text{MHz}$ ของวงจรขับ LED	49
รูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับอินพุตที่ $f=8\text{MHz}$ ของวงจรขับ LED	50
รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับอินพุตที่ $f=1\text{MHz}$ ของวงจรขับเลเซอร์ไดโอด	50
รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับอินพุตที่ $f=5.5\text{MHz}$ ของวงจรขับเลเซอร์ไดโอด	51
รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับอินพุตที่ $f=8\text{MHz}$ ของวงจรขับเลเซอร์ไดโอด	51
รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณของวงขับ LED และ line width	52
รูปที่ 4.10 แสดงรูปสัญญาณของวงขับเลเซอร์ไดโอดและ line width	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงวัสดุที่ใช้ทำ emitter ความยาวคลื่นและแถบช่องว่างแถบพลังงาน	5
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแบบสารกึ่งตัวนำ	25
ตารางที่ 2.3 แสดงการสรุปพิสัยที่ใช้งานของวัสดุ PIN photodiode ที่นิยมใช้กันมากที่สุด	29
ตารางที่ 2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญของ Photodetector	30
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าผลการทดลองการตอบสนองของควมถี่ของวงจรรีบ LED	45
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าผลการทดลองการตอบสนองของควมถี่ของวงจรรีบเลเซอร์ไดโอด	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

ปัจจุบันวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์ เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วจนเกิดผลผลิตทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ทันสมัยโดยอาศัยแสงเป็นตัวกลางซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง อาทิเช่น ในทางด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ การทหาร และการสื่อสารด้วยแสงโดยผ่านทางเส้นใยแก้ว (Fiber Optic) ผลผลิตทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเปล่งแสงได้ ซึ่งเป็นที่นิยมในหมุนักอิเล็กทรอนิกส์ก็คือ ไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมโดยมีขนาดเล็ก ต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำในการกระตุ้นให้เกิดแสง ราคาถูกและมีความยาวคลื่นหลายค่า ซึ่งมองเห็นได้ ต่อมาได้มีการพัฒนา LED ให้มีความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นอยู่ในย่านอินฟราเรดซึ่งตาของคนเราไม่สามารถมองเห็นได้และมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงขึ้นกว่าเดิม แต่ LED ก็ยังมีข้อเสียอยู่หลายประการคือมีความเข้มแสงต่ำ มีการกระจายของแสงรอบทิศทางและคลื่นแสงไม่เป็นระเบียบ (Incoherent wave) ต่อมาได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีจนเกิดผลผลิตทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดใหม่ขึ้นนั่นคือ แสงเลเซอร์ (LASER) ย่อมาจากคำว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ซึ่งหมายความว่า การแผ่รังสีที่เกิดจากการเปล่งแสงแบบกระตุ้น แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติที่ดีกว่า LED คือ มีแสงสีเดียว มีความเข้มแสงสูง มีความยาวคลื่นเดียว มีการกระจายแสงในลักษณะลำขนานแคบๆ มีความเป็นระเบียบของคลื่นแสง (Coherent wave)

แสงเลเซอร์สามารถแบ่งออกตามลักษณะของตัวกลางได้ดังนี้คือ แสงเลเซอร์จากก๊าซของเหลว ของแข็ง และสารกึ่งตัวนำ ซึ่งในปฏิญญาฉบับนี้จะกล่าวถึง แสงเลเซอร์ที่ได้จากสารกึ่งตัวนำ (Laser Diode) เพราะว่ามีขนาดเล็กเหมาะสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยแสง ต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำ และราคาถูกกว่าเลเซอร์ชนิดอื่นๆ ทั้งนี้การที่จะทำให้ LED และ Laser Diode เปล่งแสงออกมานั้นจะต้องมีวงจร DRIVER ที่ดีและเหมาะสม

ซึ่งปฏิญญาฉบับนี้จึงได้พยายามศึกษาหาวงจร DRIVER ที่เหมาะสม ที่จะนำมาขับ LED และ Laser Diode ให้เปล่งแสงออกมาเพื่อนำมาเป็น SOURCES ให้กับ Fiber Optic และประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆต่อไป โดยเรียกปฏิญญาฉบับนี้ว่า Light Sources

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น

### 2.1 แสง

แสงในรูปแบบต่าง ๆ เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของอิเล็กตรอน จากความรู้พื้นฐานทางด้านฟิสิกส์ได้กล่าวว่า อะตอมได้ประกอบขึ้นด้วยนิวเคลียส ซึ่งเป็นส่วนใจกลางของอะตอมที่มีศักดาไฟฟ้าที่เป็นบวก นิวเคลียสได้ถูกล้อมรอบไปด้วยกลุ่มของอิเล็กตรอนซึ่งมีศักดาไฟฟ้าเป็นลบ อิเล็กตรอนเหล่านี้โคจรรอบนิวเคลียสได้โดยมีพลังงานจำเพาะที่แตกต่างกันไป อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดจะสามารถถูกกระตุ้นได้โดยพลังงานจากภายนอก พลังงานที่ถูกกระตุ้นนี้อาจอยู่ในรูปของแสง ความร้อน ถ้าอิเล็กตรอน กระแสไฟฟ้าหรือปฏิกิริยาทางเคมี ในสารกึ่งตัวนำเมื่ออิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นหลุดไปจากอะตอม ก็จะทิ้งโฮลเอาไว้ที่ อะตอม โดยมันจะกลายเป็นอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสะสมภายในตัว เมื่ออิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นนี้กลับเข้าร่วมตัวกับโฮลอีกครั้ง พลังงานที่สะสมอยู่ก็จะถูกคายออกมาในรูปของโฟตอนซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเกิดเหตุการณ์เหล่านี้เรียกว่า Radiative Recombination ระดับพลังงานวงนอกสุดที่อิเล็กตรอนสามารถมีอยู่หรือ สามารถดำรงอยู่ภายในวงโคจรวงนอกสุดได้เราเรียกว่า Conduction band ระดับพลังงานถัดไป ที่อิเล็กตรอนไม่ถูกกระตุ้น สามารถมีได้เราเรียกได้ว่า Valence band ช่องว่างที่อยู่ระหว่างระดับพลังงานทั้งสองเราเรียกว่า Forbidden gap ตามธรรมชาติทั่วไปแล้ว อิเล็กตรอนสามารถข้ามไปมาในระหว่างระดับพลังงานทั้งสองหรืออาจจะไปหยุดอยู่ระหว่างกลางก็ได้ สารบางอย่างเราสามารถที่จะผ่านอิเล็กตรอนเข้าไปให้หยุดอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งในส่วน Forbidden gap เราเรียกสารชนิดนี้ว่า Indirect band gap material Band gap มีส่วนสำคัญมากในส่วนที่ว่ามันมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของแสงหรือโฟตอนที่เกิดขึ้นจากสารนั้น ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีค่าของ Band Gap ที่แตกต่างกันไป ทำให้ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งมาจากสารต่างชนิดกันมีค่าต่างกัน ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นโฟตอนที่เกิดขึ้นกับ band gap สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็นสมการดังนี้

$$\lambda = \frac{h}{E} \quad (1)$$

โดยที่  $h$  คือ Planck's constant ( $6.62 \times 10^{-34}$  Joule-sec)

$c$  คือ ความเร็วของแสง (300,000,000 เมตร/วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E คือ พลังงานเป็นจูลที่แยกระหว่าง Valence band กับ Conduction band

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของโฟตอนที่เกิดขึ้น

สมการข้างต้นสามารถปรับให้ง่ายขึ้น โดยการใส่ค่าของอิเล็กตรอนโวลท์แทนค่าของจูลได้ เป็นสมการดังนี้

$$\lambda = \frac{1237nm}{Eg(eV)} \quad (2)$$

สารที่มีค่า band gap แยกกันอยู่ระหว่าง 1.3 อิเล็กตรอนโวลท์ เราจะได้ค่าความยาวคลื่นโฟตอนเป็น 909 นาโนเมตร ช่วงของความยาวคลื่นเป็น X-ray ultraviolet near infrared คลื่นวิทยุ ช่วงของความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร ซึ่งเห็นเป็นสีต่าง ๆ ค่าของพลังงานในสารเดียวกัน ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งค่าของมันไม่จำเป็นต้องเป็นตัวเลขที่แน่นอนแต่ค่าของมันก็ไม่ทำให้ความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าไม่กี่สิบนานาโนเมตร แหล่งกำเนิดแสงโดยทั่วไปจะให้แสงกระจายออกรอบตัวจึงทำให้ความเข้มแสงต่อหนึ่งหน่วยของมุมมีค่าต่ำและแสงมีขนาดความยาวคลื่นต่าง ๆ กันโดยมีสเปกตรัมความกว้างหรือแคบตามชนิดของแหล่งกำเนิดแสง เราเรียกแหล่งกำเนิดแสงที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ว่า Incoherence Source

## 2.2 แหล่งกำเนิดแสง (LIGHT SOURCE)

แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้กันมากที่สุดในระบบเส้นใยแสงได้แก่ ไดโอดเปล่งแสง (LED) และเลเซอร์ไดโอด (LD) ด้วยคุณสมบัติทางด้านขนาดที่เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กของเส้นใยแสง และความต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำ โดยกรณีที่จะใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบไดโอดจะขึ้นอยู่กับระบบเช่น ระบบที่มีการสื่อสารไมโครโกลนิกก็อาจจะใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณก็เพียงพอ แต่สำหรับระบบที่ต้องการส่งข้อมูลเป็นระยะทางไกลๆและมีประสิทธิภาพสูงก็จะใช้ LD เป็นแหล่งกำเนิดแสง

### 2.2.1 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diodes , LEDs )

LED เป็นสารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อ pn แถบพลังงานด้านบนเรียกว่า conduction band ในระดับของพลังงานด้านล่างเรียกว่า valence band ผลต่างของระดับแถบพลังงานทั้งสองมีค่าเท่ากับ  $E_g$  โอลิเปล่งแสงซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมที่เป็นกลางปล่อยให้อะตอมมีประจุบวก อิเล็กตรอนอิสระสามารถรวมตัวกับโฮลแล้วกลับเป็นอะตอมที่มีสภาวะเป็นกลางอีกครั้งหนึ่ง ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจะมีกระแสไหลย้อนกลับพลังงานออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\lambda = \frac{hc}{w_g} \quad (3)$$

โดยที่พลังงานช่องว่าง ( gap energy ) มีหน่วยเป็นจูล ( joules ) และความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร ถ้าเขียนพลังงานช่องว่างในรูป electron volts และความยาวคลื่นในหน่วยไมโครเมตร สมการที่ ( 1 ) เปลี่ยนเป็น

$$\lambda = \frac{1.24}{w_g} \quad (4)$$

วัสดุและส่วนผสมที่ต่างกันทำให้แถบพลังงานช่องว่างแตกต่างกันด้วย วัสดุที่ใช้ทำ emitter ความยาวคลื่นและแถบพลังงานช่องว่างโดยประมาณ แสดงในตารางที่ 2.1 ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งานสามารถเลือกได้โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนขององค์ประกอบของอะตอมใน AlGaAs InGaAs และ InGaAsP การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้แถบพลังงานช่องว่างและความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลง

Material	Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Bandgap Energy eV
GaAs	0.9	1.4
AlGaAs	0.8 - 0.9	1.4 - 1.55
InGaAs	1.0 - 1.3	0.95 - 1.24
InGaAsP	0.9 - 1.7	0.73 - 1.35

ตารางที่ 2.1 แสดงวัสดุที่ใช้ทำ Emitter ความยาวคลื่นและแถบพลังงานช่องว่างโดยประมาณ

### คุณลักษณะการทำงานของ Light Emitting Diodes

เพาเวอร์ของแสงจาก LED เป็นอัตราส่วนเชิงเส้นกับค่ากระแส ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเพาเวอร์และกระแสไฟฟ้าอธิบายได้ดังนี้ กระแส  $I$  ปล่อยประจุต่อวินาที จำนวนประจุต่อวินาทีเป็น  $N = I / e$  โดยที่  $e$  คือ ขนาดของประจุบนอิเล็กตรอนแต่ละตัว ถ้า  $n$  คือ อัตราส่วนประจุเหล่านี้ที่มีการรวมตัวและให้โฟตอนออกมา ค่าเพาเวอร์แสงจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \eta N W_g = \frac{\eta W_g}{e} i \quad (5)$$

แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างเพาเวอร์แสงกับค่ากระแสเป็นเชิงเส้น ถ้าเขียนให้อยู่ในรูปอิเล็กทรอนิกส์จะได้สมการที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น

$$P = \eta i W_g \quad (6)$$

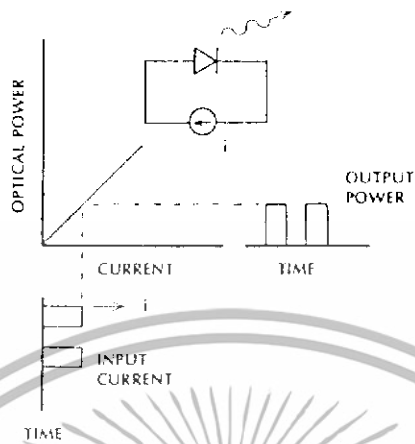


รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเพาเวอร์และกระแสไฟฟ้า

ค่าเพาเวอร์ที่แสดงในรูปที่ 2.2 จะไม่ปรากฏจริงภายในเส้นใยนำแสง เนื่องจากขีดจำกัดทางด้าน numerical aperture ของเส้นใยนำแสงจะเป็นตัวลดทอนค่าเพาเวอร์ที่เชื่อมร่วมเข้ามา การทำงานปกติจะไบแอสให้กระแสไหลผ่าน LED ในช่วงประมาณ 50 - 100 mA และต้องการแรงดัน 1.2 - 1.8 V

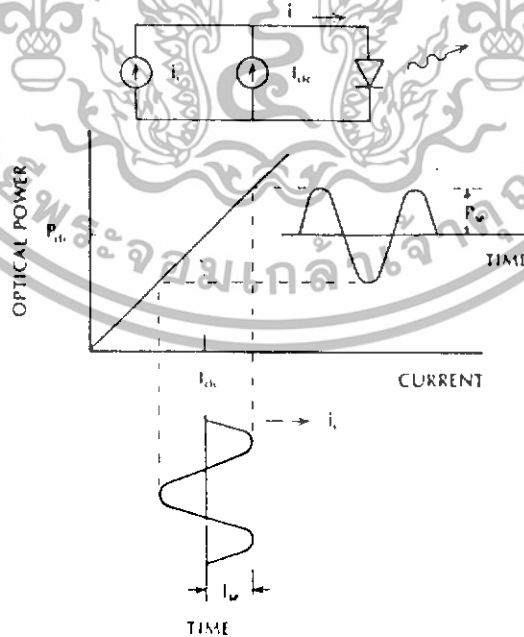
Digital modulation ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.3 ไดโอดถูกมอดูเลตด้วยแหล่งกำเนิดกระแสซึ่งทำให้ LED ติดหรือดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดง Digital modulation ของ LED

Analog modulation ได้แสดงดังรูปที่ 2.4 จะต้องการแรงดันดิซี เพื่อให้เกิดกระแสไหลไปหน้า ( forward direction) ตลอดเวลา



รูปที่ 2.4 แสดง Analog modulation ของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าปราศจากกระแสดีซี การแกว่งของสัญญาณในช่วงลบจะเป็นการไบแอสย้อนกลับไดโอดทำให้มันดับ

กระแสรวมทั้งหมด

$$I = I_{dc} + I_{sp} \sin \omega t \quad (7)$$

และสอดคล้องกับ เพาเวอร์ของแสง

$$P = P_{dc} + P_{sp} \sin \omega t \quad (8)$$

$P_{sp}$  = peak signal power เรียกว่า ac power

จะสังเกตเห็นว่า รูปร่างของกระแสอินพุทจะเหมือนกับรูปคลื่นเพาเวอร์ของแสงเอาท์พุท อันเนื่องมาจากความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นทำให้เกิดการเพี้ยนของสัญญาณ

อัตราการรับ-ส่งข้อมูลถูกจำกัดด้วยการแพร่กระจายแสงผ่านเส้นใยนำแสง ความสามารถของระบบอาจถูกจำกัดด้วยแหล่งจ่ายได้เช่นเดียวกัน ที่ความถี่ต่ำ  $P_{sp} = a_1 I_{sp}$  โดยที่  $a_1 = \Delta P / \Delta I$  (ความชันของเส้นกราฟในรูปที่ 2.4) ที่ความถี่สูงขึ้น รอยต่อและความจุไฟฟ้าที่มีอยู่ลัดวงจร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระแสที่รวดเร็ว เป็นการลดค่าของเพาเวอร์เอซี อย่างไรก็ตามซีดีจำกัดของการมอดูเลตที่ความถี่สูง คือ carrier lifetime  $\tau$  (เวลาเฉลี่ยสำหรับการปล่อยประจุไปรวมกัน) กระแสมอดูเลตต้องเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ เมื่อเทียบกับ  $\tau$

ค่า carrier lifetime จำกัดการตอบสนองของ LED ต่อสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งมีความถี่  $\omega$  เรเดียน ดังนี้คือ

$$P_{sp} = \frac{a_1 I_{sp}}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \quad (9)$$

สมการที่ (9) แสดงภาพได้ดังรูปที่ 2.5 ที่ความถี่  $\omega = 1/\tau$  เพาเวอร์เอซีถูกลดลงด้วยตัวคูณ 0.707 ในส่วนของภาครับกระแสที่เกิดจากตัวตรวจจذب เป็นอัตราส่วนกับเพาเวอร์ของแสง ดังนั้นเมื่อเพาเวอร์แสงลดลงด้วย 0.707 กระแสจากตัวตรวจจذبก็จะถูกทำให้ลดลงในอัตราส่วนเท่า

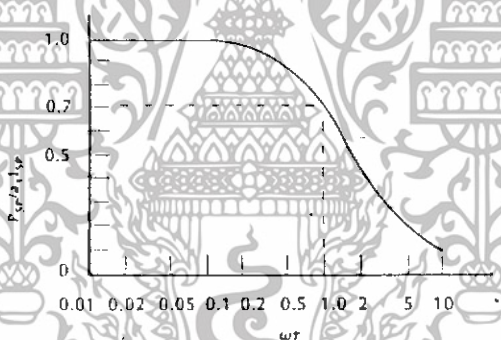
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันและทำให้เพาเวอร์ที่ภาครับจะลดลงด้วย  $0.707^2 = 0.5$  ซึ่งก็คือ  $-3$  dB ด้วยเหตุนี้จึงเรียก  $\frac{1}{\tau}$  ว่าเป็น 3-dB modulation bandwidth ของ LED หรือ 3-dB electrical bandwidth ในหน่วยของ hertz 3-dB bandwidth คือ

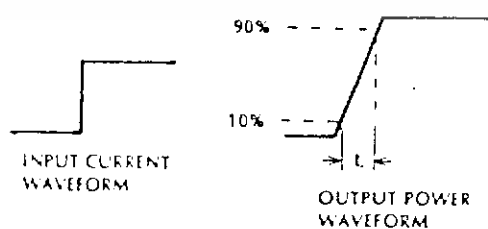
$$f_{3-dB} = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (10)$$

Modulation bandwidth จนถึง 300 MHz สามารถใช้ได้กับ surface emitter แต่โดยส่วนใหญ่ LED ที่ใช้มักมีแบนด์วิดท์แคบกว่าค่าปกติกอยู่ในช่วง 1 - 100 MHz

rise time ( $t_r$ ) ของแหล่งกำเนิด เป็นช่วงเวลาที่เอาต์พุตเปลี่ยนจาก 10 % ถึง 90 % ของค่าสุดท้ายของสัญญาณ เมื่ออินพุตเป็นกระแสแบบ step ปกติ ค่า rise time ของ LED อยู่ในช่วง 2 - 3 ns จนถึง 250 ns ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดง Variation of ac optic power with modulation frequency



รูปที่ 2.6 แสดง rise time ของแหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

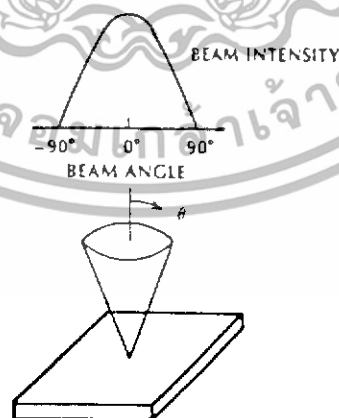
ค่า rise time และ 3-dB electrical bandwidth มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$f_{3-dB} = \frac{0.35}{t_r} \quad (11)$$

ค่าปกติ rise time ของ LED อยู่ในช่วง 2 - 3 ns จนถึง 250 ns

เป็นที่ทราบกันดีว่า สเปกตรัมของแสงของแหล่งกำเนิด มีผลโดยตรงกับวัสดุที่ใช้ทำ และการกระจายตามความถี่ในท่อนำคลื่น ( waveguide dispersion ) การกระจายพัลส์เนื่องจากสาเหตุเหล่านี้เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับความกว้างของ source LED ที่ทำงานในช่วงความยาวคลื่น 0.8 - 0.9  $\mu\text{m}$  โดยทั่วไปจะมีความกว้างสเปกตรัม 20 - 50 nm และ LED ที่ส่งความยาวคลื่นที่มากขึ้นก็จะมี ความกว้างสเปกตรัมในช่วง 50 - 100 nm ความกว้างของสเปกตรัมที่เพิ่มขึ้นของ emitter ที่มีความยาวคลื่นมากขึ้นสามารถที่จะชดเชยโดยลดการกระจายตามความถี่ของวัสดุ

ประสิทธิภาพการเชื่อมร่วมแสงขึ้นอยู่กับรูปแบบการแพร่กระจายของ emitter ใน emitter ชนิด surface มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เรียกว่า รูปแบบแลมเบิร์ต ( Lambertian pattern ) ซึ่งในรูปแบบนี้ ถ้าเพาเวอร์ลดลงตาม  $\cos\theta$  แสงจะมีความสว่างเหมือนกันที่บริเวณผิว แต่พื้นที่ที่แสงไปถึงความสว่างจะลดลงตาม  $\cos\theta$  เมื่อมุมมองเปลี่ยน ทำให้เกิดการกระจายเพาเวอร์ของแลมเบิร์ต เพาเวอร์ลดลงร้อยละ 50 ของค่าสูงสุด เมื่อ  $\theta = 60$  องศา และมี half power beamwidth ที่ 120 องศา สำหรับ Lambertian emitter



รูปที่ 2.7 แสดง รูปแบบการแพร่กระจายแบบ แลมเบิร์ต ของ surface-emitting LED

เมื่อค่า half power width เท่ากับ 120 องศา

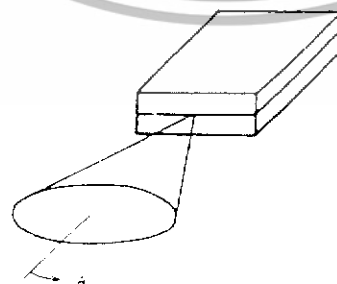
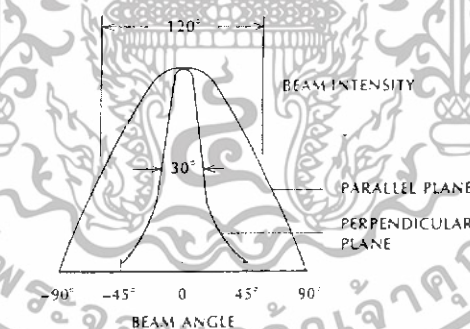
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีตกกระทบบนเส้นใยนำแสงที่นอกเหนือมุมที่ยอมรับได้จะถูกเชื่อมรวม เนื่องจากมุมที่ยอมรับได้สำหรับเส้นใยนำแสงที่มี  $NA = 0.24$  เกิดขึ้นเพียง 14 องศา ( 28 องศาที่ปลายกรวย ) เพาเวอร์จำนวนมากที่กำเนิดจากผิวของ emitter จะสูญเสียไป

Edge emitter มีการรวมแสงที่ดีกว่า surface emitter ทำให้การเชื่อมรวมมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น รูปแบบแสดงในรูปที่ 2.8 ล้าแสงเป็น Lambertian ในระนาบที่ขนานกับรอยต่อ แต่เปลี่ยนแปลงเข้ามาจากกว่าในระนาบที่ตั้งฉากกับรอยต่อ

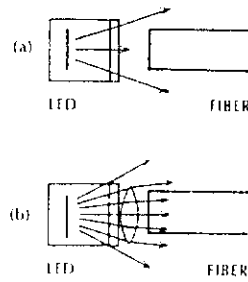
LED มีคุณสมบัติที่ไม่เสถียร ( reliable ) มีอายุการใช้งานยาวนาน ถ้าทำงานภายในขอบเขตของเพาเวอร์ แรงดัน กระแส และอุณหภูมิที่จำกัด ตามข้อกำหนดโดยผู้ผลิต

เมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น เพาเวอร์เอาต์พุตจาก LED จะลดน้อยลง lifetime เป็นช่วงเวลา que เพาเวอร์ลดลงเหลืออยู่ครึ่งหนึ่งของค่าเริ่มต้น lifetime ของ LED มีค่าประมาณ  $10^5$  ชั่วโมง ( ประมาณ 11 ปี ) ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน - 65 - 125 °C ถึงแม้ว่าเพาเวอร์เอาต์พุตลดลงขณะที่อุณหภูมิบริเวณรอยต่อเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 0.012 dB/°C ตลอดช่วง 190°C ระหว่าง - 65 °C ถึง 125 °C จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพาเวอร์ 59 % เพาเวอร์เอาต์พุตสามารถทำให้มีระดับคงที่ได้โดยเพิ่มกระแสขับเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



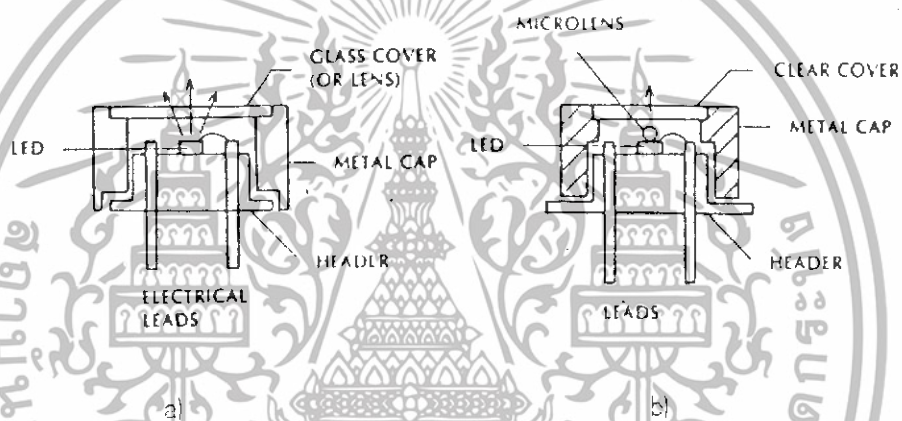
รูปที่ 2.8 แสดง Unsymmetric radiation จาก edge-emitting LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดง Source-to-fiber coupling of a glass covered LED

a) ไม่มีเลนส์ b) มีเลนส์



รูปที่ 2.10 a) แสดง LED mounted on a header  
b) แสดง microlensed LED

2.2.2 แสงเลเซอร์ (LASER)

แสงเลเซอร์ (LASER) เป็นคำที่ย่อมาจากคำเต็มว่า Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation ซึ่งแปลเป็นภาษาไทยว่า “การแผ่รังสีที่เกิดจากการเปล่งแสงแบบกระตุ้น และมีกรขยายสัญญาณคลื่นแสงนั้นด้วย”

เลเซอร์ที่ใช้ในทางปฏิบัติตัวแรกเป็นเลเซอร์ทึบทึม ซึ่งให้แสงสีแดงประดิษฐ์ขึ้นเมื่อประมาณระหว่างปี พ.ศ. 2503-2504 โดย ทีโอดอร์ ไนมาน แห่งบริษัท ฮิวจ์ แอร์คราฟต์ คอร์ปอเรชั่น หลังจากนั้นก็ไม่นาน เจมมว เบนเนตต์ และ เฮอรัลด์ แห่งห้องทดลองเบลล์เทเลโฟน ก็ประกาศการค้นพบเลเซอร์แบบ ฮีเลียม-นีออน จากนั้นประมาณปีถัด ๆ การวิจัยและพัฒนาเลเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำก็เริ่มขึ้นในอังกฤษและอเมริกา นั่นคือจุดเริ่มต้นของเทคโนโลยีแขนงนี้ที่ได้พัฒนาจนเกิดเป็นเลเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ชนิดของเลเซอร์

เลเซอร์ทุกชนิด ไม่ว่าจะได้รับการออกแบบมาอย่างไร องค์ประกอบที่สำคัญที่สุดก็คือวัสดุตัวกลางที่เป็นตัวปล่อยแสงเลเซอร์ วัสดุตัวกลางเหล่านี้จัดเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ ก๊าซของแข็ง ของเหลว และสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ซึ่งเลเซอร์ก็ได้ถูกแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ตามลักษณะของต้นกำเนิดของมัน

อะตอม อีออน หรือโมเลกุล ภายในวัสดุตัวกลาง ซึ่งเมื่อถูกกระตุ้นจากพลังงานภายนอกภายใต้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว อนุภาคโฟตอนของแสงก็就会被ปล่อยออกมากลายเป็นแสงเลเซอร์ แสงเลเซอร์ที่ได้รับนี้จะมีความยาวคลื่นต่างกันไปตามชนิดของวัสดุตัวกลางซึ่งก็จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นได้ตั้งแต่ในย่านของแสงที่มองไม่เห็น ย่านของอินฟราเรด และในย่านของอุลตราไวโอเล็ต

1. แสงเลเซอร์จากก๊าซตัวกลางจะเป็นก๊าซผสมบริสุทธิ์ เช่น อาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ คริปทอน หรือ ฮีเลียม-นีออน ฯลฯ ก๊าซดังกล่าวจะถูกสูบจากถังเก็บมาบรรจุไว้ในหลอดแก้วทรงกระบอก

2. เลเซอร์ที่กำเนิดจากของเหลวเป็นชนิดที่ต้องใช้อุปกรณ์ขนาดใหญ่ ต้องการพลังงานสูง และวัสดุตัวกลางจะเป็นสารอินทรีย์ที่ถูกหมักเชื้อได้ เช่น rhodamine-B, rhodamine-6G หรือ Sodium fluorescein เป็นต้น

3. เลเซอร์ที่กำเนิดจากของแข็ง จะใช้วัสดุตัวกลางทรงกระบอกมาเจียรระโน อย่างเช่น แท่งทังสเตียม, urbiium, neodymium: yttrium-aluminum garnet (Nd:YAG หรือ YAG) เป็นต้น

4. เลเซอร์ที่กำเนิดจากสารกึ่งตัวนำ เช่น gallium arsenide, indium arsenide หรือ gallium antimonide สารกึ่งตัวนำเหล่านี้ เมื่อนำมาเป็นเลเซอร์ไดโอด (Laser diodes) ก็จะใช้ประโยชน์กับอุปกรณ์ที่ต้องใช้กำลังขับเคลื่อนต่ำมาก ๆ เช่น ขับเคลื่อนผ่านระบบติดต่อสื่อสาร ที่เป็น เส้นใยแสง (Fiber-optic) เป็นต้น

องค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือกระตุ้นวัสดุตัวกลางเพื่อให้ชั้นอนุภาคโฟตอนออกมา กลไกดังกล่าวนี้เรียกว่า Lasing driver ซึ่งจะให้พลังงานในจำนวนที่เพียงพอต่อการที่อะตอมอีออน หรือโมเลกุล ของวัสดุตัวกลางจะปล่อยแสงเลเซอร์ออกมา การกระตุ้นวัสดุตัวกลาง อาจเรียกกันอีกอย่างหนึ่งว่า Pumping

### ลักษณะสมบัติของแสงเลเซอร์ (LASER Beam characteristics)

แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างจากแสงทั่วไป (Incoherent light) ซึ่งบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการถือเป็นประโยชน์เฉพาะตัวของมัน พอจะแยกออกเป็นข้อ ๆ ดังนี้

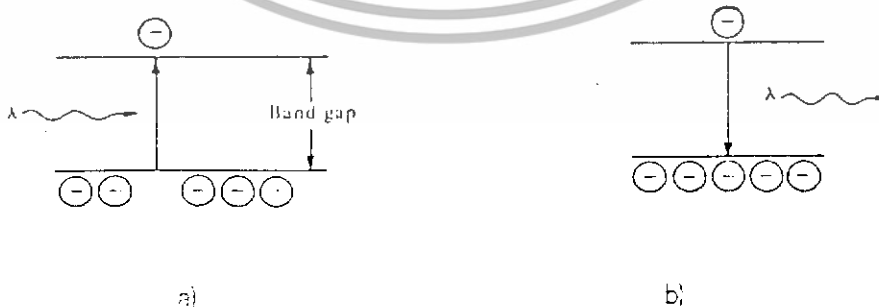
1. มีความเป็นโคฮีเรนต์ คือ มีความเป็นระเบียบของคลื่น ซึ่งอธิบายได้ว่าคลื่นจะเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกัน มีเฟสเหมือนกันตลอดหน้าคลื่น (wave front)
2. มีแสงสีเดียว คือ แสงเลเซอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูงคือมีแบนด์วิทแคบ มีความยาวคลื่นขนาดเดียวกัน
3. ความเข้มภาคตัดขวางมีการกระจายแบบเกาส์เซียน ซึ่งการกระจายนี้ยังเป็นแบบสมมาตรรอบแกน
4. การแพร่ขยายขนาดของลำต่ำและการมีทิศทางที่แน่นอน คือ การที่แสงเลเซอร์เป็นโคฮีเรนต์ทำให้มีลักษณะเป็นลำแสงขนานกัน คือ มีหน้าคลื่นตั้งฉากกับทิศของการเคลื่อนที่ ขนาดของลำแสงนี้ทำให้มีการแผ่ขยายของลำคลื่นต่ำ (low beam divergence)
5. โฟลวไรเซชันของเลเซอร์ คือ การที่แสงเลเซอร์จะมีโฟลวไรเซชัน หรือไม่มีโฟลวไรเซชันนั้นขึ้นกับวิธีหรือขบวนการทำโครงสร้างของมัน

กลไกการเกิดเลเซอร์ จะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ คือ

- ตัวกลางของเลเซอร์ (Laser Medium)
- การป้อนพลังงานให้แก่ตัวกลางของเลเซอร์ (Energy Pumping)
- การสร้างระบบป้อนกลับทางแสง (Optical Cavity)

### ขั้นตอนการเกิดเลเซอร์

ในทาง Quantum mechanics ระบบของโมเลกุลหรืออะตอมจะประกอบไปด้วยชั้นของพลังงานต่าง ๆ ตามโครงสร้างของโมเลกุลและอะตอมนั้น ๆ เช่น กรณีชั้นพลังงานของอะตอม



รูปที่ 2.11 a) การดูดกลืนแสง (Absorption)

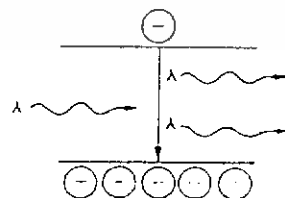
b) การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Emission)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E1 และ E2 ในรูปที่ 2.11 อิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก E1 ขึ้นไปสู่ E2 ก็ต้องมีการดูดกลืนพลังงาน และถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก E2 ลงไปสู่ E1 ก็ต้องมีการคายพลังงาน พลังงานที่อิเล็กตรอนต้องดูดกลืนหรือคายออกนี้จะมีขนาดตามผลต่างระหว่าง E1 และ E2 หากพลังงานที่ต้องดูดกลืนหรือคายออกนี้เป็นพลังงานแสงจะเกิดการดูดกลืนแสง (Light Absorption) หรือการเปล่งแสง (Light Emission) ขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ก) และ 2.11 (ข) พลังงานแสงโฟตอนจึงมีค่าเท่ากับ

$$h\nu_{12} = E_2 - E_1 \quad (12)$$

การเปล่งแสงในลักษณะของรูปที่ 2.11 (ข) นี้เรียกว่าการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Emission) ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากมีการดูดกลืนแสงอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะขึ้นไปอยู่ที่ E2 ซึ่งเป็น Excited State อิเล็กตรอนจะอยู่ในที่พลังงานนี้ได้ชั่วระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เมื่อหมดเวลาชีวิต (lifetime) ของมัน อิเล็กตรอนก็จะตกกลับมายังชั้นพลังงาน E1 ตามเดิม จึงเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง ในระหว่งที่อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ที่สถานะ E2 ยังไม่หมดเวลาชีวิตของมัน เนื่องจากระบบของอะตอมนี้มีชั้นพลังงาน E2 ที่ให้เวลาชีวิตของอิเล็กตรอนนานกว่าปกติ แต่ถ้ามีโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับ E2-E1 เข้ามาเร่งระบบ อิเล็กตรอนที่ E2 นี้ไม่จำเป็นต้องรอให้หมดเวลาชีวิตเสียก่อนก็สามารถตกกลับมายัง E1 ได้และเกิดการเปล่งแสงหรือคายโฟตอนออกมาได้ พลังงานของโฟตอนที่คายออกมานั้นแน่นอนว่าจะต้องมีพลังงานเท่ากับ E2-E1 เช่นเดียวกับโฟตอนที่มากกระตุ้นโฟตอนทั้งสองตัวนี้จะต้องเหมือนกันทั้งในทิศทางการเคลื่อนที่ ค่าความยาวคลื่นและเฟสพร้อมกัน การเปล่งแสงในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Emission) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Emission)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

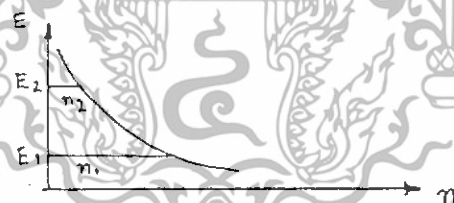
ลักษณะการเปล่งแสงเช่นนี้ เป็นที่มาของหลักการของเลเซอร์ เพราะโฟตอนที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติของความเป็นระเบียบของคลื่น (Coherent) คือ

1. พลังงานจะถูกจำกัดอยู่ภายในช่วงความถี่แคบ ๆ และในกรณีอุดมคติจะเป็นความยาวคลื่นเดียว
2. มีลักษณะเป็นลำแสงที่พุ่งไปในทิศทางเดียวกัน
3. คลื่นมีเฟสพร้อม ๆ กัน

### POPULATION INVERSION

การกำหนดให้จำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่สถานะ  $E_1$  และ  $E_2$  มีค่าเท่ากับ  $n_1$  และ  $n_2$  ตามลำดับ ที่สภาพสมดุลอุณหภูมิต่ำ สัดส่วนของจำนวนอิเล็กตรอน ในแต่ละชั้นพลังงานจะเป็นไปตามหลักการกระจายแบบ Boltzmann ตามสูตร

$$\frac{n_2}{n_1} = \exp^{-(E_2 - E_1)/kT} \quad (13)$$



At Thermal Equilibrium

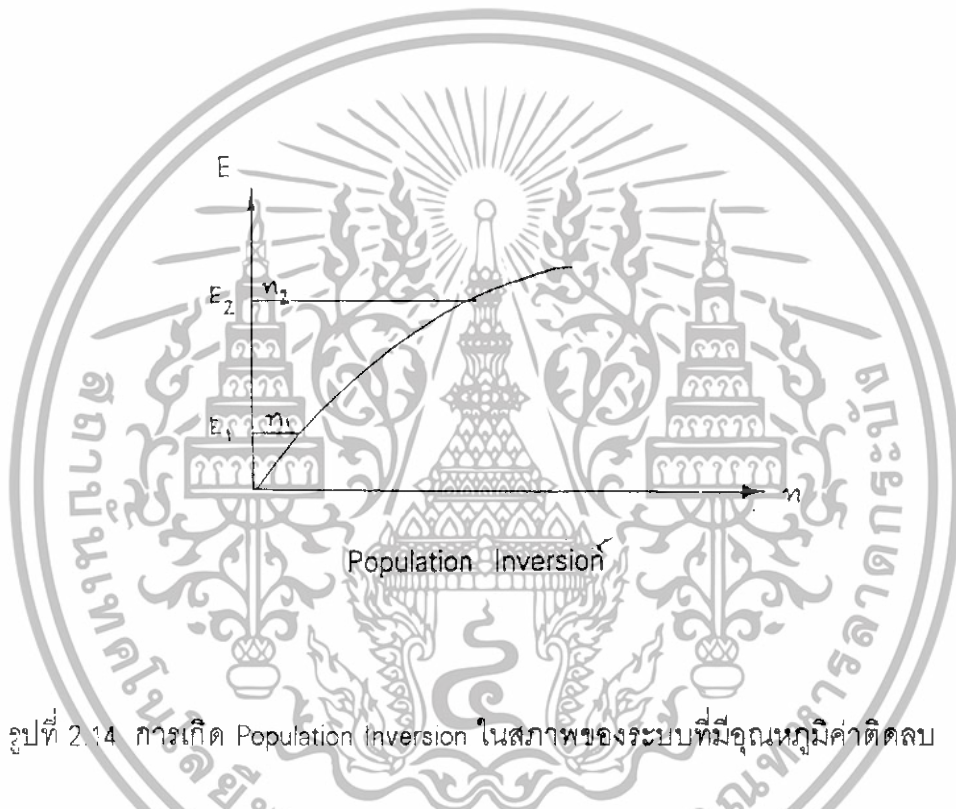
รูปที่ 2.13 การกระจายแบบ Boltzmann ของจำนวนอิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน  $E_1$  และ  $E_2$  ที่สภาพสมดุลอุณหภูมิต่ำ

โดยที่  $k$  คือค่า Boltzmann constant และ  $T$  คืออุณหภูมิของระบบสมการ exponential ที่มีค่าลบเช่นนี้ชี้ให้เห็นว่าที่สภาพสมดุลอุณหภูมิต่ำ  $n_2 \ll n_1$  กล่าวคือ อิเล็กตรอนส่วนใหญ่อยู่ที่ชั้นพลังงานต่ำ ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากอิเล็กตรอนส่วนใหญ่อยู่ที่ชั้นพลังงาน  $E_1$  ดังนั้นเมื่อมีการฉายโฟตอน  $h\nu = (E_2 - E_1)$  เข้าไปในระบบก็จะเกิดการดูดกลืนแสงขึ้นมากกว่าการเปล่งแสง เพราะความเป็นไปได้ในการดูดกลืนแสงมีมากกว่า

ถ้าสามารถมีวิธีการที่จะทำให้ระบบมีการกระจายของจำนวนอิเล็กตรอนตรงกันข้ามกับกรณีของสภาพสมดุลอุณหภูมิมิคือมีการรบกวนระบบจนเกิดเงื่อนไขของ  $n_2 \gg n_1$  แล้วอิเล็กตรอนส่วนใหญ่อยู่ที่  $E_2$  หากมีการฉายโฟตอน  $h\nu_{12} = E_2 - E_1$  เข้าไปในระบบที่มีสภาพเช่นนี้ก็จะเกิด



รูปที่ 2.14 การเกิด Population Inversion ในสภาพของระบบที่มีอุณหภูมิต่ำ

การเปล่งแสงแบบ Stimulated Emission ซึ่งเป็นเงื่อนไขและหลักการของการเกิดแสงเลเซอร์ เพื่อให้  $n_2 \gg n_1$  สมการเอกโปแมกซ์เวลล์จะต้องมีค่าบวก โดยที่  $T$  มีค่าติดลบ เราจึงเรียกสภาพของระบบเช่นนี้ว่าเป็น Negative Temperature ระบบที่มีค่าอุณหภูมิตดลบนี้คือเงื่อนไขที่จะทำให้เกิด  $n_2 \gg n_1$  เราเรียกว่าเป็นสภาพของ Population Inversion ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.14

**การสร้าง Optical Cavity และการขยายสัญญาณแสง**

การสร้าง Optical Cavity เพื่อให้แสงสะท้อนกลับไปมาและกระตุ้นให้เกิดโฟตอนตัวใหม่ๆ ขึ้นอีกจำนวนมากมาเป็นการเพิ่มจำนวนโฟตอนหรือการขยายสัญญาณแสง (Light Amplification) นั่นเอง ซึ่งเป็นชื่อที่มาของอักษรสองตัวแรกของคำว่าเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดต่อ 86874 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเพื่อให้เงื่อนไขสอดคล้องกัน ระบบอะตอมหรือตัวกลางของเลเซอร์ที่สอดคล้องกันอยู่ระหว่าง Optical Cavity นี้จะต้องมีสภาพของ Population Inversion อยู่ด้วย จึงจะเกิดการขยายสัญญาณแสงขึ้นได้

Optical Cavity ของเลเซอร์นี้ได้แก่การนำเอากระจกสะท้อนแสง 2 ชิ้นมาวางขนานกันโดยมีตัวกลางของเลเซอร์ อยู่ระหว่างกระจกทั้งสองนี้ ลักษณะของกระจกที่ใช้นี้อาจเป็นกระจกเรียบหรือกระจกเว้าก็ได้ แล้วแต่การออกแบบเพื่อให้ได้ Optical Cavity ที่มีเสถียรภาพดีเหมาะสมกับชนิดเลเซอร์นั้น ๆ ในบางกรณีกระจกดังกล่าวอาจติดอยู่กับที่ตายตัว เช่น หลอดเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ที่มีกำลังต่ำ โดยทำหน้าที่เป็นปลายของหลอดเลเซอร์ไปในตัว เรียกว่า Internal Mirror Optical Cavity ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายหลอดเลเซอร์ได้สะดวกโดยที่ไม่ทำให้ความขนานของกระจกทั้งสองขยับเขยื้อนไป ในบางกรณีกระจกที่ใช้ทำ Optical Cavity อาจปรับได้เพราะอยู่อิสระนอกตัวหลอด เช่นกรณีของ เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ จึงเรียกว่าเป็น External Optical Cavity ในกรณีเลเซอร์ของแข็ง เช่น เลเซอร์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งตัวกลางมีโครงสร้างเป็นผลึก ผิวผลึกซึ่งทำให้แตก (Cleavage Surface) ในลักษณะที่ต้องการ จะมีความขนานที่ดีเยี่ยมอยู่แล้ว และค่าดัชนีหักเหของเนื้อสารเอง ผิวผลึกเหล่านี้จะทำหน้าที่ เป็นกระจกสะท้อนแสง และใช้เป็น Optical Cavity ได้โดยธรรมชาติ หากต้องการให้สะท้อนแสงกลับหมดที่ด้านหนึ่งด้านใดของ Cavity ก็สามารถฉาบชั้นโลหะที่สะท้อนแสงได้ดีที่ผิวผลึกนั้น Optical Cavity ซึ่งประกอบด้วยกระจกที่ขนานกันทั้งสองแผ่นนี้ จะต้องทำหน้าที่รวมลำแสงให้สะท้อนกลับเข้ามาอยู่ในเนื้อตัวกลางของเลเซอร์เท่านั้น แต่เนื่องจากผลของการเกิด Diffraction ของแสงทำให้ไม่สามารถรวบรวมแสงได้อย่างสมบูรณ์แบบได้ด้วยกระจกเรียบธรรมดา เพราะมีแสงบางส่วนกระจายออกตามขอบของกระจกนั้น ทำให้เลเซอร์มีเสถียรภาพต่ำ ดังนั้นในทางปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดการสูญเสียเนื่องจากปรากฏการณ์ของ Diffraction นี้จะทำให้กระจก cavity ของเลเซอร์จึงมักมีส่วนโค้งเว้าเข้าเล็กน้อยเพื่อบีบลำแสงลงบ้างตามความเหมาะสม และขึ้นกับความยาวของ cavity ด้วย

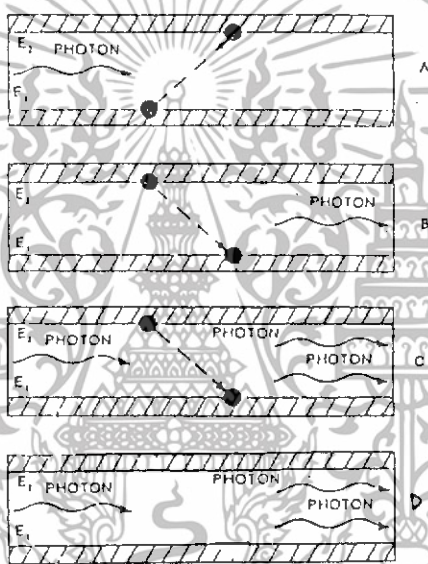
### 2.2.3 เลเซอร์ไดโอด (LASER DIODE หรือ LD)

Laser Diode คือ ไดโอดชนิดหนึ่งมีขนาดเท่าตัวด้านทาน 1-2 วัตต์ เลเซอร์สารกึ่งตัวนำ เป็นเลเซอร์ที่ราคาถูกที่สุดและมีขนาดเล็กที่สุด เป็นเลเซอร์ชนิดเดียวที่มีผลทางการค้ามากที่สุด เพราะสามารถผลิตได้ที่ละจำนวนมากโดยใช้เทคโนโลยีการผลิตสารกึ่งตัวนำเช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์และวงจรรวมไอซี จึงมีโอกาสที่เราจะได้สัมผัสกับเลเซอร์ชนิดนี้ ในสังคมชีวิตประจำวันได้ วิศวกรทำงานก็คล้ายกับ LED ต่อกันก็ตรงที่ เมื่อมีการไบแอสที่ถูกวิธีจะเปล่งพลังงานออกมา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

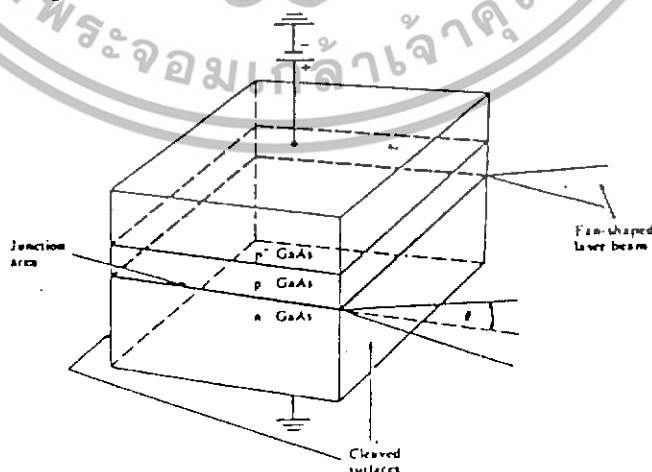
เป็นแสงเลเซอร์กำลังงานต่ำ แทนที่จะเป็นแสงธรรมดาอย่าง LED ทั่วไป การใช้งานทั่วไปในปัจจุบันมักใช้ในการอ่านข้อมูลดิจิทัล เช่น ในเครื่องเสียงชนิดคอมแพคดิสค์ หรือใช้เป็นเครื่องวัดระยะทางในการทหาร เพื่อหาระยะเป้าหมายของข้าศึกได้ เป็นต้น

**โครงสร้างและหลักการเกิดแสง**

โดยทั่วไปเลเซอร์ไดโอดจะทำด้วยสารกึ่งตัวนำพวก GaAs (gallium arsenide) ทำเป็นรอยต่อ P-N เหมือนไดโอดทั่วไป (รวมทั้งคุณสมบัติทางไฟฟ้า) โดยแสงเลเซอร์ที่เปล่งออกมาส่วนใหญ่จะเป็นแสงย่านอินฟราเรดซึ่งตามองไม่เห็นหลักการในการเกิดแสงเลเซอร์เป็นดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการเกิดแสงเลเซอร์

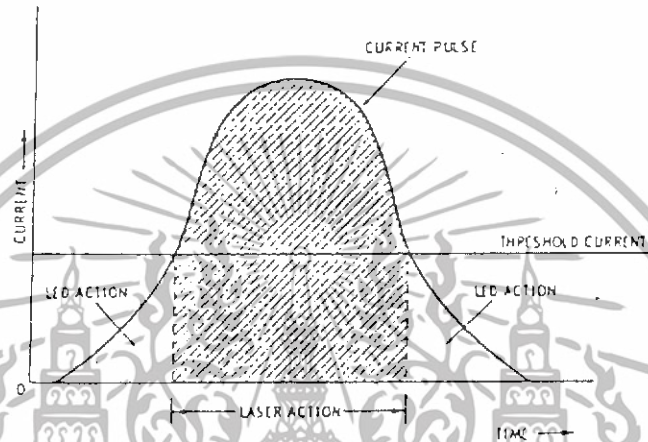


รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดที่แสดงทิศทางการเปล่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณลักษณะการทำงานของเลเซอร์ไดโอด

ค่ากระแสที่เราป้อนให้กับตัวเลเซอร์ไดโอดจนสามารถเปล่งแสงออกมาได้นี้ ต้องมีค่ามากกว่าค่ากระแสเทรชโฮลของเลเซอร์ไดโอดของ (ค่ากระแสเทรชโฮล คือ ค่ากระแสที่ต่ำสุดที่เลเซอร์ไดโอดจะเปล่งแสงออกมาได้)

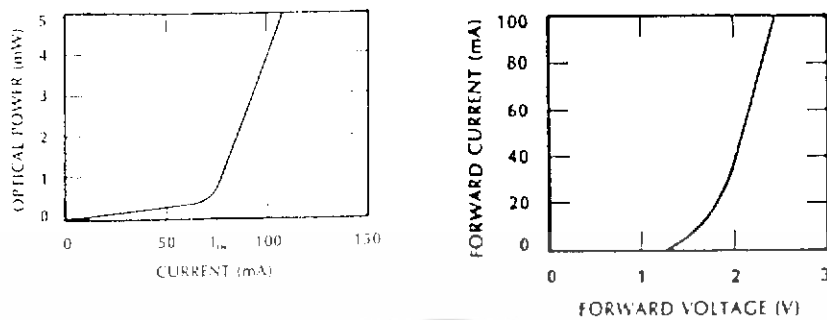


รูปที่ 2.17 แสดงกระแสพัลส์และการทำงานของเลเซอร์ไดโอด

กล่าวคือ ถ้าจ่ายกระแสพัลส์ 1 ลูก ป้อนให้กับตัวเลเซอร์ไดโอดดังรูปที่ 2.17 ในช่วงเวลาจาก a ถึง b ซึ่งกระแสพัลส์มีค่าต่ำกว่ากระแสเทรชโฮล เลเซอร์ไดโอดจะทำงานเป็น LED ตัวหนึ่ง ช่วงเวลาจาก b ถึง c กระแสพัลส์มีค่าสูงกว่ากระแสเทรชโฮลเลเซอร์ไดโอดจะเปล่งแสงออกมาเป็นแสงเลเซอร์ และในช่วง c ถึง d กระแสพัลส์ลดลงต่ำกว่ากระแสเทรชโฮลเลเซอร์ไดโอดก็จะทำงานเป็นแบบ LED (คือแสงกระจายอย่างสะเปะสะปะ) อีกครั้งหนึ่ง

คุณลักษณะของค่าเพาเวอร์ทางด้านแสงเอาต์พุตกับกระแสอินพุตของเลเซอร์ไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ( 1 ) กระแสเริ่มเปลี่ยนมีค่าเป็น 75 mA ที่ระดับกระแสต่ำกว่านี้ค่าเพาเวอร์จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การแผ่กระจายของ noncoherent เกิดจากการปล่อยอย่างทันทีทันใดของประจุในชั้นของการรวมตัว ( recombination layer ) ไดโอดส่วนใหญ่จะมีกระแสขีดเริ่มเปลี่ยนเริ่มต้นจาก 30 - 250 mA และค่าแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยนอยู่ในช่วง 1.2 - 2 V กระแสไปหน้า ( forward current ) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแรงดันตกคร่อมไดโอดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ( 2 ) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของแรงดันเพียงเล็กน้อยจากค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะทำให้มีกระแสเกิดขึ้นที่จุดทำงาน

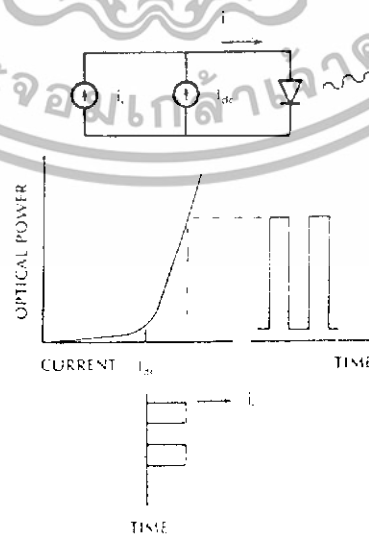
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ( a ) แสดงคุณลักษณะของค่าพาวเวอร์ทางด้านแสงเอาต์พุตกับกระแสอินพุต  
( b ) แสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเลเซอร์ไดโอด

เพาเวอร์เอาต์พุตสำหรับเลเซอร์ที่ทำงานอย่างต่อเนื่องมีค่าปกติในช่วง 1 - 10 mW Pulsed lasers ทำงานที่ duty cycle ต่ำ สามารถให้ค่ายอดของพาวเวอร์ที่สูงกว่าได้ แต่ CW lasers ที่สามารถ ปิด - เปิด ในอัตราสูงจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับระบบสื่อสาร ช่วงกระแสทำงานโดยปกติอยู่สูงกว่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยนประมาณ 20 - 40 mA การทำงานที่กระแสสูงกว่ากำหนดโดยผู้ผลิตจะทำให้ไดโอดมี lifetime สั้น

Digital modulation ของเลเซอร์ไดโอดแสดงดังรูป 2.19 แตกต่างจาก digital modulation ของ LED



รูปที่ 2.19 แสดง Digital modulation ของเลเซอร์ไดโอด

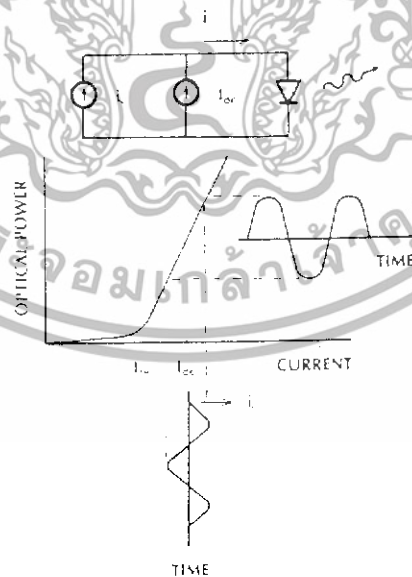
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$I_{0c}$  เป็นกระแสขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อกระแส  $i$  เป็นศูนย์

สำหรับ Analog modulation แสดงในรูป 2.20 กระแสไบแอสอยู่สูงกว่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยน ในบริเวณเชิงเส้นของ power-current characteristic

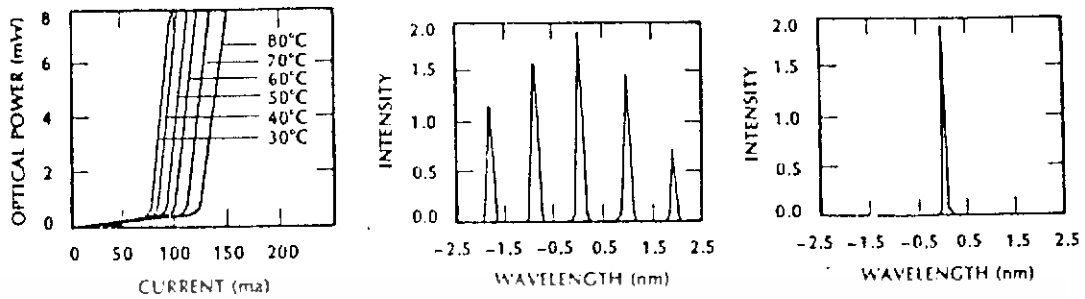
เลเซอร์ไดโอดมีความไวต่ออุณหภูมิมากกว่า LED ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ( 1 ) ขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยนก็มีมากขึ้นด้วย ( เพิ่มขึ้นประมาณ  $1.5 \% / ^\circ C$  ) ที่ กระแสคงที่เพาเวอร์เอาต์พุตจะลดลง ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น

การเปลี่ยนแปลงเพาเวอร์อาจยอมรับไม่ได้ เพราะทำให้การรับข้อมูลผิดพลาดมากขึ้น ถ้า เพาเวอร์ลดลงมาก การรับสัญญาณอาจไม่เกิดขึ้น มี 2 วิธีการเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้คือ ควบคุม อุณหภูมิของไดโอดให้คงที่ และเปลี่ยนกระแสไบแอสเพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงกระแสขีดเริ่ม เปลี่ยน ในวิธีการควบคุมอุณหภูมิจะใช้รอยต่อของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งเปลี่ยนอุณหภูมิขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ไดโอด โดยที่ตัวเลเซอร์ไดโอดถูกยึดติดกับสารกึ่งตัวนำเทอร์มิส เตอร์ เป็นส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมที่ใช้เปลี่ยนกระแสที่ไหลผ่านสารกึ่งตัวนำเพื่อให้อุณหภูมิของ ไดโอดเสถียร อีกวิธีการหนึ่งเพื่อเพาเวอร์เสถียรคือ การเปลี่ยนแปลงที่แท้จริงในเอาต์พุต จะถูกวัด โดยยอมให้แสงมีการแผ่จากด้านหลังของเลเซอร์ไดโอด แล้ววัดลำแสงด้วย photo detector แล้วทำ การเปลี่ยนค่ากระแสดีซี เพื่อนำไปสู่ค่าเพาเวอร์ที่ต้องการ



รูปที่ 2.20 แสดง Analog modulation ของเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a)

b)

c)

รูปที่ 2.21 ( a ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเพาเวอร์ของเลเซอร์ ขณะกระแสคงที่

( b ) แสดงสเปกตรัมเอาต์พุตของ Multimode laser diodes

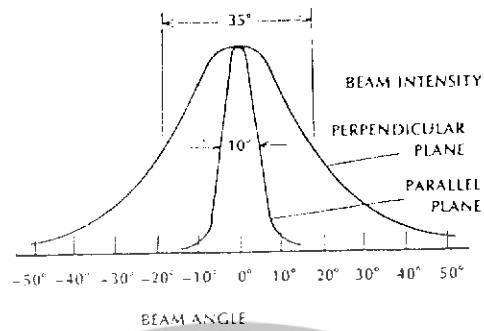
( c ) แสดงสเปกตรัมเอาต์พุตของ Single longitudinal mode laser diodes

AlGaAs Laser diode มีความยาวคลื่นในช่วง 0.8 - 0.9 ไมโครเมตร InGaAsP Laser Diode แพร่กระจายด้วยความยาวคลื่นที่มากกว่า

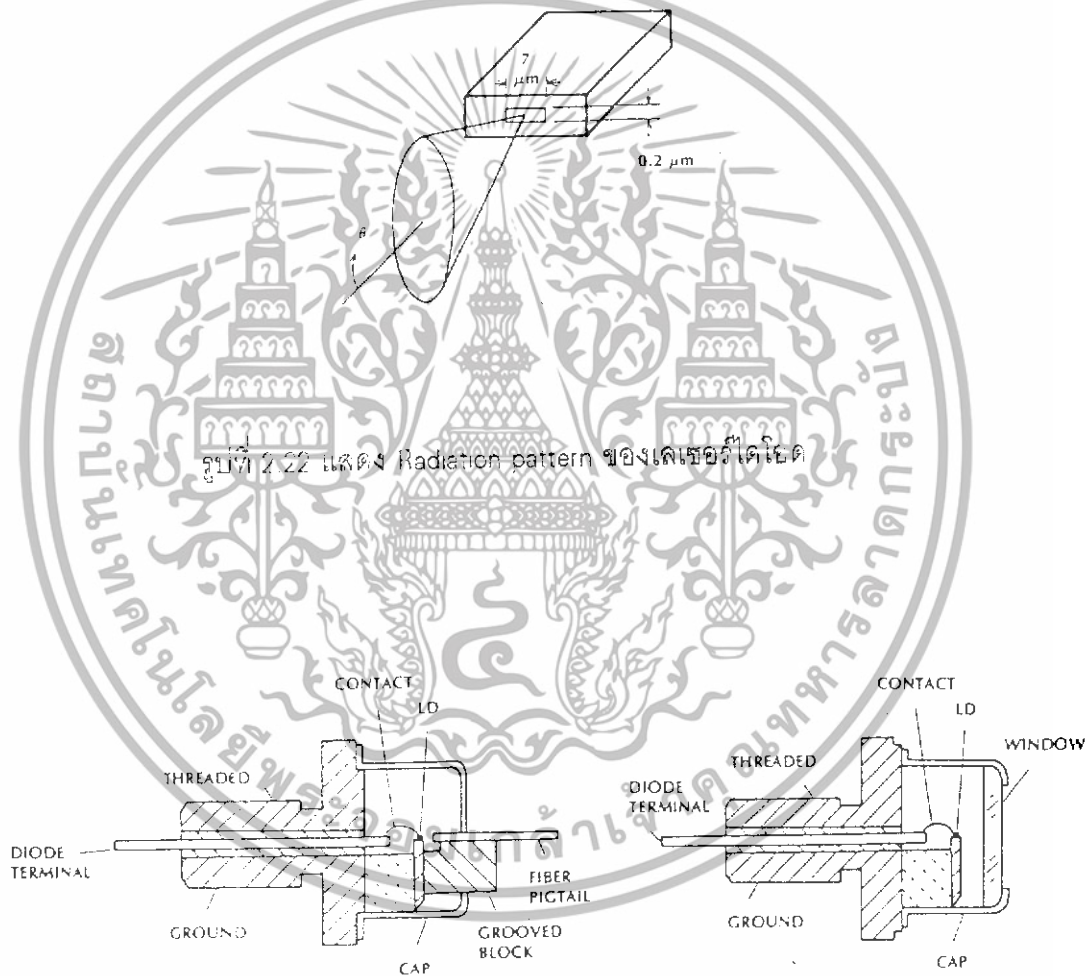
เลเซอร์ไดโอดมีความไวมากกว่า LED rise time ของเลเซอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 - 1 นาโนวินาที สัญญาณ Analog สามารถ Modulate ที่ความถี่สูง ๆ ถึงหลายพันเมกะเฮิรตซ์ เลเซอร์ไดโอดมีค่า Linewidth ที่ 1 - 5 นาโนเมตร เปรียบเทียบแล้วน้อยกว่าสเปกตรัมเอาต์พุตของ LED เมื่อรับกระแสมากกว่าค่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยนเล็กน้อย เลเซอร์ไดโอดจะให้ Multimode Spectra ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ( b ) เมื่อเพิ่มกระแสขึ้น Total linewidth ลดลง และจำนวนของ Longitudinal mode น้อยลงไปที่กระแสสูงเพียงพอ สเปกตรัมจะมีโหมดเดียว จากรูปที่ 2.21 ( c ) ค่า linewidth มีค่าน้อยกว่าของ Multimode laser ซึ่งมีค่าราว ๆ 0.2 นาโนเมตร จะทำให้การกระจายตามความถี่ของวัสดุต่ำที่สุดในเส้นใยนำแสง ทั้งนี้เนื่องจากความกว้างของสเปกตรัมที่แคบ

เลเซอร์ไดโอดแพร่กระจายแสงแบบไม่สมมาตร รูปแบบที่ปรากฏแสดงดังรูปที่ 2.22 Emitting edge ขนาดใหญ่ อยู่ในระนาบขนานกับรอยต่อและทำให้ลำแสงที่กว้างขนาดแคบของขอบในแนวระนาบที่ตั้งฉากกับรอยต่อ ทำให้การแพร่กระจายแสงออกมาในพิสัยของมุมที่เล็กกว่าไดโอด ในรูป มีค่า Half power beamwidth 10 องศา และ 35 องศา ในระนาบตั้งฉาก lifetime ของเลเซอร์ไดโอดมีค่ามากกว่า 11 ปี ในการใช้งานที่ระดับอุณหภูมิของห้อง สำหรับค่า lifetime จะลดลงเมื่อใช้งานที่ ที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ 70 องศา อายุการใช้งานมากกว่า 10000 ชั่วโมง เหมือนกับ LED เลเซอร์ไดโอดถูกบรรจุหลายรูปแบบด้วยกัน ดังรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดง Radiation pattern ของเลเซอร์ไดโอด



bi

รูปที่ 2.23 a) แสดง Laser Diode Package

b) แสดง Laser diode with an intergal fiber pigtail

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Property	LFD	Laser diode	Single-Mode Laser diode
Spectral width ( nm )	20 - 100	1 - 5	< 0.2
Rise time ( ns )	2 - 250	0.1 - 1	0.05 - 1
Modulation bandwidth ( Mhz )	< 300	2000	6000
Coupling efficiency	Very low	Moderate	High
Compatible fiber	Multimode SI Multimode GRIN	Multimode GRIN Single-mode	Single-mode
Temperature sensitivity	Low	High	High
Circuit complexity	Simple	Complex	Complex
Lifetime ( hours )	$10^5$	$10^4 - 10^5$	$10^4 - 10^5$
Costs	Moderate paths	Long paths	Very long paths
Primary use	Moderate data rates	High data rates	Very high rates

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแบบสารกึ่งตัวนำ

### 2.3 ตัวรับแสง ( Light Detectors )

เรารับรู้แสงด้วยตา แต่ตาของมนุษย์ไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งานการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง ทั้งนี้เนื่องมาจากการตอบสนองของตาช้ามากและมีความไวไม่เพียงพอต่อระดับสัญญาณต่ำและยากต่อการต่อร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ในภาครับเพื่อที่จะขยายสัญญาณ ถอดรหัส หรือดำเนินการอื่น ๆ กับสัญญาณ ยิ่งกว่านั้นการตอบสนองของตาจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.4 - 0.7 ไมโครเมตร ที่ซึ่งมีค่าการสูญเสียมากในเส้นใยนำแสง อุปกรณ์ที่เปลี่ยนการแผ่รังสีแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเรียกว่า photodetector

กลไกการตรวจจับแสงแยกออกเป็น external photoelectric effect และ internal photoelectric effect ในส่วน external photoelectric effect อิเล็กตรอนถูกทำให้ไหลผ่านชั้นฉนวน โดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนที่วิ่งมาตกกระทบ vacuum photodiode และ photomultiplier ออค์ยาลักษณะดังกล่าวนี้ ในส่วน internal photoelectric effect เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแบบรอยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตจ ( semiconductor junction devices ) ซึ่งประจักษ์ระ ( ได้แก่ โสไลและอิเล็คตรอน ) ถูกสร้างขึ้นด้วยการดูดกลืนโฟตอนทีเข้ามา มีอุปกรณ์พื้นฐาน 3 ชนิด ที่ใช้หลักการนี้คือ pn junction photodiode PIN photodiode และ avalanche photodiode โดยจะกล่าวถึงสองชนิดแรกเท่านั้น

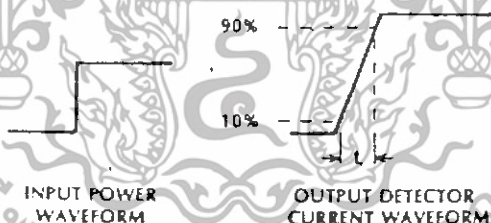
คุณสมบัติที่สำคัญของดีเทคเตอร์ได้แก่ สภาพตอบสนอง ( responsivity ) การตอบสนองสเปกตรัม ( spectram response ) และ rise time

สภาพการตอบสนองเป็นอัตราส่วนของค่ากระแสเอาต์พุทของดีเทคเตอร์ต่อเพาเวอร์ของแสงอินพุท

$$\rho = \frac{i}{p} \tag{14}$$

หน่วยของสภาพการตอบสนองคือ ampere / watt สัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุทในดีเทคเตอร์บางตัวอาจจะเป็นแรงดัน ซึ่งในกรณีนี้สภาพการตอบสนองมีหน่วยเป็น volts / watt

การตอบสนองสเปกตรัม หมายถึงเส้นโค้งแสดงสภาพตอบสนอง โดยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น rise time  $t_r$  ซึ่งเป็นช่วงเวลาทีกระแสเอาต์พุทของดีเทคเตอร์ เปลี่ยนแปลงจาก 10 % เป็น 90 % ของค่าสุดท้าย เมื่อการเปลี่ยนแปลงของเพาเวอร์ของแสงเป็นแบบ step



รูปที่ 2-24 แสดง Photodetector rise time

3-dB modulation bandwidth ของดีเทคเตอร์

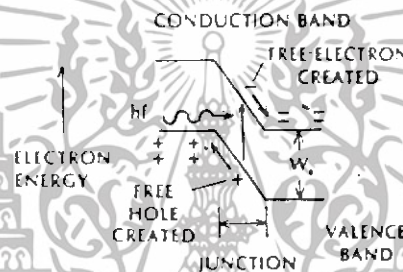
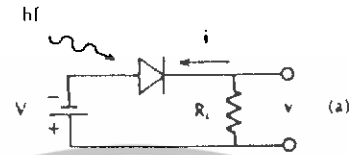
$$f_{3-dB} = \frac{0.35}{t_r} \tag{15}$$

ที่ความถี่นี้ เพาเวอร์ของสัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุทในภาครับจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าที่ได้รับที่ความถี่มีขลเลขต่ำกว่ามาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 โฟโตไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ ( Semiconductor photodiode )

photodiode แบบสารกึ่งตัวนำจะมีรอยต่อขนาดเล็ก มีความไวต่อแสง ให้การตอบสนองที่รวดเร็วและสามารถทำงานที่แรงดัน 2 - 3 โวลต์



รูปที่ 2.25 แสดงถึงกลไกการตรวจจับแสงของตัวตรวจจับแบบรอยต่อ

เมื่อไบแอสย้อนกลับ ศักย์ของพลังงานของแนวขวางกั้นระหว่างบริเวณ p และ n เพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนอิสระและโฮลอิสระไม่สามารถข้ามแนวขวางกั้นได้ ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไหล รอยต่อ หมายถึงบริเวณซึ่งเกิดแนวขวางกั้นเนื่องจากไม่มีประจุในบริเวณรอยต่อบริเวณนี้เรียกว่า depletion region เมื่อไม่มีประจุอิสระความต้านทานจึงสูง เป็นผลให้แรงดันเกือบทั้งหมดที่ตกคร่อมไดโอดไปปรากฏที่บริเวณรอยต่อ ดังนั้นแรงไฟฟ้า ( electrical force ) จึงสูงใน depletion region และน้อยมากที่นอกบริเวณ region

รูปที่ 2.25 ( c ) แสดงโฟตอนที่ถูกกระทบและถูกดูดกลืนในบริเวณรอยต่อหลังจากผ่านชั้นของสาร p พลังงานดูดกลืนไปเพิ่มศักยภาพของอิเล็กตรอนให้ข้ามช่องว่าง จาก valence band ไปยัง conduction band ขณะนี้อิเล็กตรอนเป็นอิสระที่จะเคลื่อนที่ โฮลอิสระเคลื่อนที่ไปทางซ้ายใน valence band ที่ตำแหน่งซึ่งว่างลงโดยอิเล็กตรอน ตัวพาประจุอิสระถูกสร้างด้วยการดูดกลืนโฟตอน ในลักษณะนี้อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ลงแนวขวางกั้นและโฮลจะเคลื่อนที่ขึ้นจากแนวขวางกั้น การเคลื่อนที่ของประจุเหล่านี้เป็นเหตุให้กระแสไหลผ่านวงจรภายนอกในลักษณะเดียวกับกระแสที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นใน vacuum photodiode เมื่อ โยลและอิเล็กตรอนอิสระรวมตัวกันหรือเมื่อถึงขอบของรอยต่อที่ซึ่งแรงทางไฟฟ้า ( electrical force ) มีเพียงเล็กน้อยประจุหยุดการเคลื่อนที่กระแสก็หยุดไหล

rise time ของ pn diode อยู่ในระดับของ ไมโครเซ็ก ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับระบบเส้นใยนำแสงที่มีอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูง โครงสร้าง PIN diode แก้ปัญหาของสภาพตอบสนองที่ต่ำ และการตอบสนองที่ช้า

2.3.2 พินโฟโตไดโอด( PIN photodiode )

ในระบบเส้นใยนำแสงมักนิยมใช้ PIN photodiodes เป็นตัวตรวจจับแสง PIN diode มีชั้นสารกึ่งตัวนำ intrinsic ที่กว้างระหว่างบริเวณ p และ n แสดงดังรูปที่ 2.30 ในชั้นของ intrinsic จะไม่มีประจุอิสระ ดังนั้นความต้านทานของมันจึงสูง ส่วนใหญ่ของแรงดันจะปรากฏที่บริเวณนี้ และแรงไฟฟ้าจะสูง

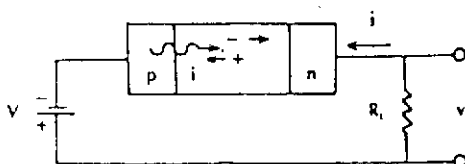
เนื่องจากชั้นของ intrinsic กว้างมากมีความน่าจะเป็นสูงที่โฟตอนที่เข้ามาจะถูกดูดกลืนในบริเวณนี้มากกว่าในบริเวณ p หรือ n ลักษณะเช่นนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วเมื่อเทียบกับ pn photodiode

silicon มักนิยมใช้เป็น fiber optic detector มากที่สุดใน first window Germanium และ InGaAs ให้กำเนิดสัญญาณรบกวนมากกว่า silicon แต่จะตอบสนองใน second window

ในการสร้าง electron-hole pair โฟตอนที่เข้ามาต้องมีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนข้ามผ่านช่องว่างได้ ความต้องการนี้คือ  $hf \geq W_g$  นำไปสู่ cutoff wavelength

$$\lambda = \frac{1.24}{W_g} \mu m \tag{16}$$

$W_g$  = bandgap energy ( eV )

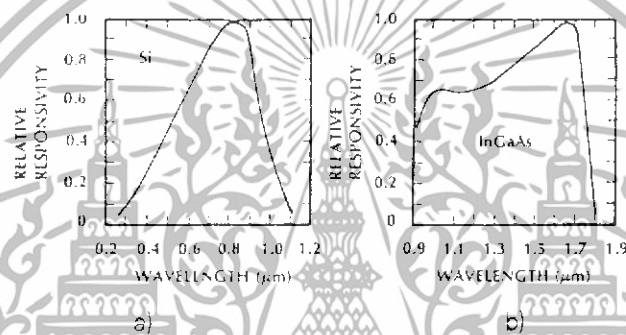


รูปที่ 2.26 แสดง PIN photodiode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material	Wavelength range ( $\mu\text{m}$ )	Wavelength of peak response ( $\mu\text{m}$ )	Peak Responsivity ( $\text{A/W}$ )
silicon	0.3 - 1.1	0.8	0.5
Germanium	0.5 - 1.8	1.55	0.7
InGaAs	1.0 - 1.7	1.7	1.1

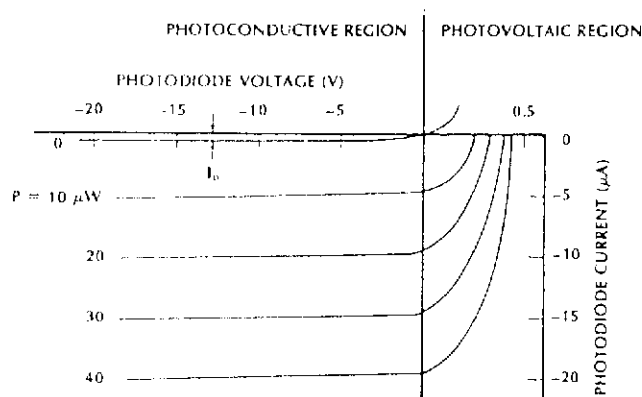
ตารางที่ 2.3 แสดงการสรุปพิสัยที่ใช้งานของวัสดุ PIN photodiode ที่นิยมใช้กันมากที่สุด



รูปที่ 2.27 แสดงผลการตอบสนองสเปกตรัมของ silicon และ InGaAs

สภาพตอบสนองลดลงที่ความยาวคลื่นสั้นเป็นสาเหตุจากการดูดกลืนของโฟตอนที่สูงขึ้นในบริเวณ p และ n silicon และ InGaAs มีค่า quantum efficiencies สูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.8 ไมโครเมตร สำหรับ silicon ที่ 0.8 ไมโครเมตร จะได้สภาพตอบสนอง (responsivity) 0.5 A/W จะเห็นว่ามีมากกว่าสภาพการตอบสนองของ vacuum photodiode ซึ่งมีค่า 6.4 mA/W สำหรับ InGaAs ที่ความยาวคลื่น 1.7 ไมโครเมตร และมีประสิทธิภาพร้อยละ 80% จะให้สภาพตอบสนอง 1.1 A/W จากเส้นโค้งแสดงการตอบสนอง (ในรูปที่ 2.27 (b)) สภาพตอบสนองถูกทำให้ลดลงเหลือ 70% หรือที่ 0.77 A/W ที่ความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร การตอบสนองสูงสุดของ Germanium เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 1.55 ไมโครเมตร ที่ซึ่งมี quantum efficiency ประมาณ 55% เมื่อไบแอสย้อนกลับ ไดโอดทำงานใน photoconductive mode ในขณะนี้จะแอสเคอร์พุดเป็นอัตราส่วนกับเพาเวอร์ของแสง เมื่อไม่มีการไบแอสย้อนกลับเพาเวอร์ของแสงที่ตกกระทบเป็นผลให้มีแรงดันไปหน้าทำงานเป็น photovoltaic mode ซึ่งอยู่ภายใต้การแผ่รังสี detector ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงจะทำงานใน photoconductive mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แสดงคุณลักษณะทางด้านกระแส-แรงดันสำหรับ silicon diode ที่มี responsivity 0.5A/W

ขณะที่ไม่มีเพาเวอร์ของแสง กระแสไหลผ่านไดโอดขณะไบแอสย้อนกลับเรียกว่า dark current ( $I_D$ ) dark current เกิดจากประจุอิสระอันเนื่องมาจากความร้อน dark current จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น บางครั้งเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าทุก ๆ  $10^\circ C$  dark current มีค่าอยู่ในช่วงของนาโนแอมแปร์ถึงหลายร้อยนาโนแอมแปร์ โดยทั่วไป silicon detector มีค่า dark current ต่ำสุด InGaAs diode มีค่า dark current มากกว่า และ germanium diode มีค่า dark current มากที่สุด ทำให้ silicon detector มีความนิยมใช้มากกว่า germanium diode ในช่วงความยาวคลื่นที่ photodiode ทั้งสองมีค่าสภาพการตอบสนองใกล้เคียงกัน

Material	Structure	Rise time (ns)	Wavelength (nm)	Responsivity (A/W)	Dark current (na)	Gain
silicon	PIN	0.5	300 - 1100	0.5	1	1
Germa-nium	PIN	0.1	500 - 1800	0.7	200	1
InGaAs	PIN	0.3	1000-1700	0.6	10	1
silicon	APD	0.5	400 - 1000	77	15	150
Germa-nium	APD	1	1000-1800	30	700	50

ตารางที่ 2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญของ Photodetector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติการที่จะทำให้เลเซอร์ไดโอดทำงานได้ เราต้องบ่อนกระแสเป็นพัลส์ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงช่วงเวลาขาขึ้น (rise time) และช่วงเวลาลง (fall time) ของกระแสพัลส์ ต้องมีค่าน้อยที่สุด เพราะถ้ามีค่ามากเกินไปจะทำให้เลเซอร์ไดโอดเกิดความร้อนขึ้นที่รอยต่อ เมื่อเกิดความร้อนขึ้น ค่ากระแสเทรลไฮลจะมีความมากขึ้นอีกทำให้กระแสพัลส์มีค่าไม่ถึงกระแสเทรลไฮลเลเซอร์ก็ไม่ทำงาน หรือความร้อนจากรอยต่อถ้าเกิดมากเกินไปจะทำให้ความเสียหายให้กับตัวเลเซอร์ไดโอดได้

#### 2.4 วงจรจ่ายกระแสคงที่ (CONSTANT CURRENT SOURCE)

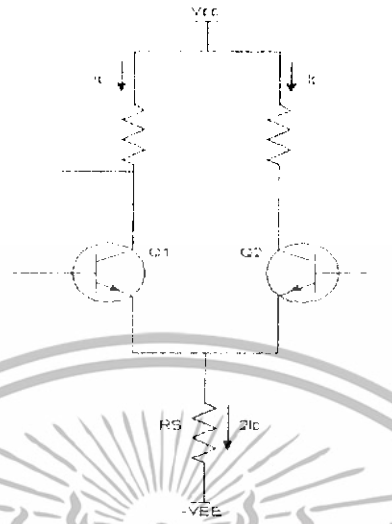
ในวงจรเพาเวอร์แอมป์คุณภาพสูงจะพบว่าวงจรจ่ายกระแสคงที่เสมอ โดยทั่ว ๆ ไป วงจรจ่ายกระแสที่จะใช้จ่ายกระแสให้วงจรตามความแตกต่าง ตามรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แสดงวงจรจ่ายกระแสที่ใช้กับวงจรขยายความแตกต่าง

วงจรจ่ายกระแสคงที่ในรูปที่ 2.29 จะให้กระแส  $I_{C1} + I_{C2}$  ผ่านอย่างสม่ำเสมอ และคงที่และกระแสนี้เกี่ยวข้องกับแรงดันคร่อม  $R_1$  ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความต้องการเพียงตรงของสัญญาณที่จะขยายในภาคต่อไป ( $V_{in}$ ) ดังนั้นวงจรที่ไม่สามารถรักษารักษาขนาดของกระแสจะทำให้เสถียรภาพของ วงจรขยายความแตกต่างเสียไป วงจรจ่ายกระแสคงที่อาจใช้ความต้านทานแทนตามรูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 ใช้  $R_S$  เป็นตัวจ่ายกระแสคงที่

ตามรูปที่ 2.30 เมื่อใช้ความต้านทาน  $R_S$  เป็นตัวจ่ายกระแสคงที่ในสถานะ Static หรือขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตเข้าที่  $V_{in}$  และ  $V_{in2}$  จะมีกระแสไหลผ่าน  $Q_1$  และ  $Q_2$  เท่ากับ  $I_C$  ดังนั้นกระแสของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  จะไหลไปรวมกันผ่าน  $R_S = 2I_C$  จึงหาค่า  $R_S$  ได้ ตามสมการ

$$R_S = \frac{(V_{CC} - 0.6)}{2I_C} \quad (17)$$

การใช้ความต้านทานเป็นตัวจ่ายกระแสคงที่มีข้อเสียคือ โดยปกติแรงดันจ่ายไฟ จะไม่คงที่อย่าง ร้อยเปอร์เซ็นต์ แต่ต้องมีการกระเพื่อม (ริบเบิล) หรือมีการลดตามลักษณะของไฟบ้านบ้าง ดังนั้น  $V_{EE}$  จึงไม่คงที่ จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม  $R_S$  ไม่คงที่ซึ่งจะมีผลทำให้กระแสผ่าน  $R_S$  ไม่คงที่ วงจรขยายความแตกต่างก็จะเสียเสถียรภาพไปด้วยตามโคอะแกรม

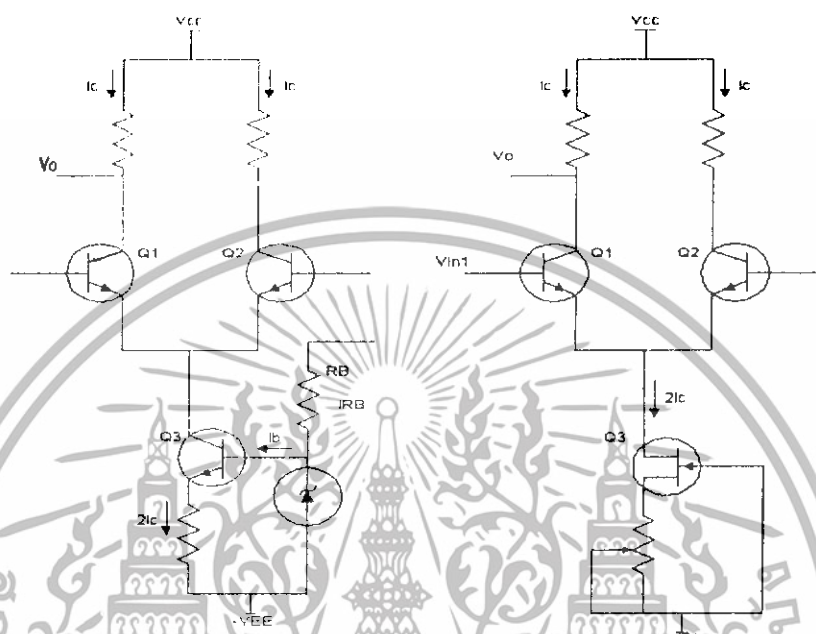
$$V_{EE} \text{ เปลี่ยน} \rightarrow V_E \text{ เปลี่ยน} \rightarrow 2I_C \text{ เปลี่ยน} \rightarrow I_C \text{ เปลี่ยน} \rightarrow V_L \text{ เปลี่ยน}$$

วงจรรวดคความเที่ยงตรงในวงจรรีโองขยายคุณภาพดีจึงนิยมใช้ทรานซิสเตอร์และเพท

วงจรรายกระแสที่ใช้อุปกรณ์แอคทีฟ ตามรูปที่ 2.31 จะให้กระแสคงที่ตามอุดมคติคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสค่าคงที่และเป็นผลให้  $2I_C$  มีค่าคงที่ด้วย วงจรจ่ายกระแสที่ใช้ทรานซิสเตอร์ หรือเฟต จึงไม่ขึ้นกับแรงดันหรือแหล่งจ่ายไฟ



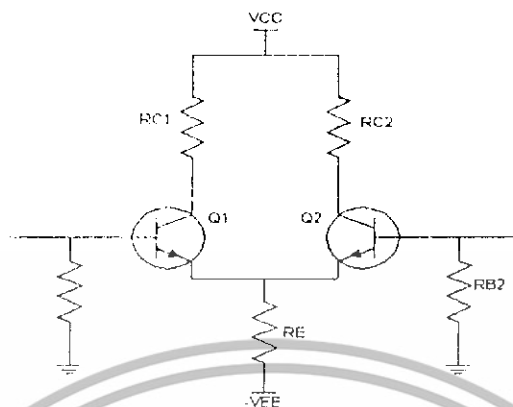
รูปที่ 2.31 วงจรจ่ายกระแสคงที่โดยใช้ทรานซิสเตอร์และเฟต

### วงจรรขยายผลต่างของสัญญาณ (DIFFERENTIAL AMPLIFIER)

วงจรรขยายผลต่างของสัญญาณ คือ วงจรรขยายสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นมา เพื่อให้การตอบสนองความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณโดยจะรับสัญญาณอินพุตเข้ามา 2 สัญญาณ ทำการเปรียบเทียบกันเพื่อให้เหลือสัญญาณที่ต้องการเพียงสัญญาณเดียวหรือให้เกิดสัญญาณที่เท่ากัน 2 สัญญาณแต่ มีเฟสตรงข้ามกันออกเอาต์พุต

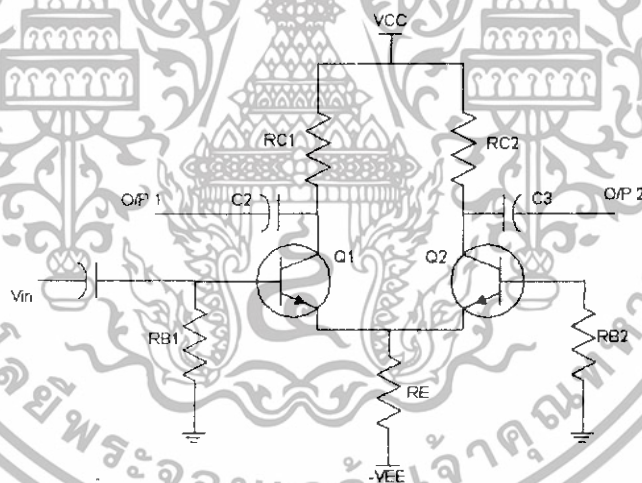
วงจรรขยายผลต่างของสัญญาณเป็นวงจรที่สำคัญ และนิยมใช้งานมากวงจรรหนึ่งนำไปใช้ ในด้านการวัดและการเปรียบเทียบ จะมีใช้งานในวงจรเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น มิเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องบันทึกกราฟออสซิลโลสโคป และใช้งานทางด้านเครื่องขยายเสียง เช่น ภาคปริแอมป์ วงจรรรับแรงดันสมดุลในภาคขยายกำลัง เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.32 เป็นวงจรรขยายผลต่างของสัญญาณพร้อมแหล่งจ่ายไฟ จะเห็นได้ว่าใช้แหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด โดยจ่ายแรงดันให้วงจรรแบบบวก,ลบและกราวด์ คือ ใช้แหล่งจ่ายไฟที่เท่ากัน 2 ชุด ต่อกลับกัน และจ่ายขั้วแรงดันแต่ละจุดเข้าวงจรร เพื่อทำให้วงจรรขยายสัญญาณ ชุด  $Q_1$  และ  $Q_2$  มีความสมดุลกัน และได้อัตราขยายของสัญญาณที่ส่งออกเอาต์พุตมีค่าเท่ากันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 วงจรขยายผลต่างของสัญญาณและแหล่งจ่ายไฟ

การจัดวงจรไบแอสต่าง ๆ ให้กับวงจรขยายผลต่างของสัญญาณ จะต้องวัดค่าอุปกรณ์ที่  
มาใช้งานเหมือนกัน เช่น ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์เดียวกันและควรมีอัตราขยายเท่า ๆ กันความต้าน  
ทานที่นำมาต่อใช้ในวงจรในตำแหน่งเดียวกันต้องมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 2.33 วงจรขยายผลต่างแบบอินพุตเดียว

จาก รูปที่ 2.33 เป็นวงจรขยายผลต่างของสัญญาณแบบอินพุตเดียว การจัดอุปกรณ์ที่นำมาใช้จะ  
ต้องเท่ากันและเหมือนกันทั้งสองด้าน ตามรูป  $R_1 = R_2$ ,  $R_3 = R_4$ ,  $Q_1 = Q_2$  และขา E ใช้  $R_5$  ตัว  
เดียวร่วมกัน ทำให่วงจรทั้งสอง  $Q_1$  และ  $Q_2$  มีอัตราขยายสัญญาณเท่ากัน ในขณะที่ไม่ได้ป้อน  
สัญญาณอินพุตเข้ามา ที่เอาต์พุตของวงจรทั้งสองจะไม่มีสัญญาณออกคือเป็นศูนย์ เมื่อป้อน  
สัญญาณอินพุตเข้ามาที่ขา B ของทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งตามรูป ป้อนเข้าที่ขา B ของ  $Q_1$  จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดการขยายสัญญาณขึ้น ได้สัญญาณเอาต์พุตที่ขา C ของ  $Q_1$  จะทำให้เกิดการขยายสัญญาณขึ้น ได้สัญญาณเอาต์พุตที่ขา C ของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  ที่ขา C ของ  $Q_1$  จะได้สัญญาณมีเฟสตรงข้ามกับอินพุตที่ป้อนเข้ามา เรียกว่า C ของ  $Q_1$  ว่าขาเอาต์พุตกลับเฟส หรือ Inverted output ส่วนที่ขา C ของ  $Q_2$  ว่าขาเอาต์พุตไม่กลับเฟส หรือ Noninverted output คือทั้งเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2 จะมีเฟส ของสัญญาณตรงข้ามกันแต่จะมีระดับความแรงของสัญญาณเท่ากัน

การเกิดสัญญาณเอาต์พุตมี เฟสตรงข้ามกันทั้งสองด้าน ก็เพราะสถานะความสมดุลของวงจรทั้งสองเปลี่ยนไป โดยที่  $Q_1$  เมื่อสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามาจะมีการทำงานเปลี่ยนแปลงไปถ้าเป็นอินพุตช่วงบวกป้อนเข้ามา  $Q_1$  จะนำกระแสเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทาน ระหว่างรอยต่อขา C และขา E ลดลงเป็นผลให้คักย์บวกที่ขา C ของ  $Q_1$  ลดน้อยลงกว่าปกติ ส่วนระดับแรงดันที่ขา C ของ  $Q_2$  จะยังคงที่ เมื่อเปรียบเทียบคักย์กันระหว่างคักย์บวกที่ขา C ของ  $Q_1$  คักย์บวกที่ขา C ของ  $Q_2$  คักย์บวกที่ขา C ของ  $Q_2$  จะมีความมากกว่าคักย์บวกที่ขา C ของ  $Q_1$  นั่นคือขา C ของ  $Q_2$  มีคักย์เป็นบวกเมื่อเปรียบกับขา C ของ  $Q_1$  ทำให้ได้เอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2 เป็นบวก

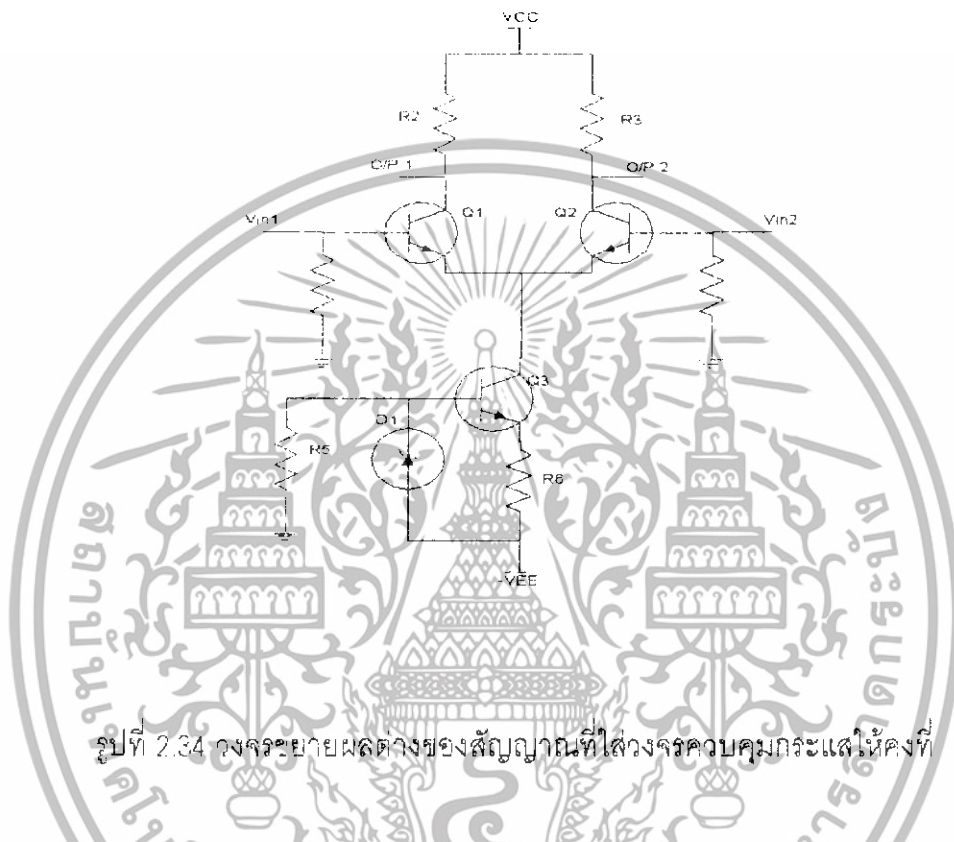
ถ้าสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาเป็นลบที่ขา B ของ  $Q_1$  ตัว  $Q_1$  จะนำกระแสลดลง ความต้านทานระหว่างรอยต่อขา C และ E เพิ่มขึ้น และเป็นผลให้คักย์บวกที่ขา C ของ  $Q_1$  เพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ ส่วนระดับแรงดันที่ขา C ของ  $Q_2$  จะยังคงที่เมื่อเทียบคักย์กัน ระหว่างคักย์บวกที่ขา C ของทรานซิสเตอร์ทั้งสอง คักย์บวกที่ขา C ของ  $Q_2$  จะมีค่าน้อยกว่า คักย์บวกที่ขา C ของ  $Q_1$  นั่นคือขา C ของ  $Q_2$  มีคักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับขา C ของ  $Q_1$  ทำให้ได้เอาต์พุต 1 เป็นบวก และเอาต์พุต 2 เป็นลบ

สัญญาณไฟสลับที่ออกเอาต์พุตทั้งสองสัญญาณจะมีระดับความแรงที่เท่ากัน แต่มีเพียงเฟสที่ได้ออกมาตรงข้ามกันตลอดเวลา ซึ่งจะเป็นสัญญาณส่งออกไปใช้งานต่อไป

วงจรขยายผลตรงของสัญญาณแบบที่กล่าวมา จะมีปัญหาเกี่ยวกับการนำกระแสของวงจรหรือจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ถ้าหากไม่มีวงจรควบคุมระดับกระแสที่ไหลผ่าน  $R_E$  หรือกระแสที่ไหลผ่าน  $R_E$  มีค่ามากเกินไป จะทำให้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตถูกตัดยอดคลื่น หรือ Clipping ของสัญญาณทั้งด้านบวกและด้านลบทำให้สัญญาณขยายออกเอาต์พุตผิดเพี้ยนไป

ดังนั้นถ้าต้องการให้กระแสที่ไหลผ่าน  $R_E$  ของวงจรคงที่จึงต้องใช้วงจรควบคุมกระแสให้คงที่โดยใช้ออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งต่อวงจรที่ขา E แทน  $R_E$  ช่วยควบคุมให้กระแสที่ไหลผ่านวงจรคงที่ตลอดเวลา วงจรจะมีการทำงานคงที่หรืออุณหภูมิ การต่อเพิ่มทรานซิสเตอร์เข้าไปในวงจรขยายผลต่างของสัญญาณแสดงดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 วงจรขยายผลต่างของสัญญาณที่ใช้วงจรควบคุมกระแสให้คงที่

จากรูปที่ 2.34 เป็นวงจรขยายผลต่างของสัญญาณที่ใช้  $Q_3$  และ  $D_1$  ช่วยในการควบคุมกระแส  $I_0$  ให้คงที่ตลอดเวลาการทำงาน ตัวซีเนอร์ไดโอด  $D_1$  ทำหน้าที่ชดเชยทางด้านอุณหภูมิ ควบคุมให้ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  มีการนำกระแสคงที่ตลอดเวลา ทำให้อัตราการขยายของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  คงที่ตามไปด้วยและไม่นำกระแสมากเกินไปจนทำให้การขยายสัญญาณเกิดการบิดเพี้ยน วงจรขยายผลต่างของสัญญาณที่ใช้วงจรควบคุมกระแส ทำให้คงที่อีกแบบหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.35

เป็นวงจรขยายผลต่างของสัญญาณที่ใช้  $Q_3$  และ  $Q_4$  เพื่อควบคุมกระแส  $I_0$  ให้คงที่ตลอดการทำงานอีกแบบหนึ่งดังทรานซิสเตอร์  $Q_4$  ทำหน้าที่ชดเชยทางด้านอุณหภูมิแทนการใช้ซีเนอร์ไดโอด ควบคุมให้ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  มีการนำกระแสคงที่ตลอดเวลา ทำให้อัตราการขยายของ  $Q_1$  และ  $Q_2$  คงที่ตามไปด้วย ไม่ขยายสัญญาณจนเกิดความบิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บทที่ 3

### การออกแบบวงจร

#### 3.1 การออกแบบ

เราจะออกแบบวงจรโดยใช้วงจรขยายผลต่างเป็นตัวกำหนดกระแสให้ไดโอดเปล่งแสงและเลเซอร์ไดโอด โดยมีจุดจ่ายกระแสคงที่ดังที่กล่าวมาแล้วและเงื่อนไขสำคัญในการออกแบบวงจรคือต้องกำหนดกระแสไบอัสให้มีค่าน้อยกว่ากระแสไบอัสสูงสุด เพื่อป้องกันการสวิงของสัญญาณอินพุตซึ่งอาจทำให้ไดโอดเปล่งแสงเสียหายได้

#### 3.2 หลักการออกแบบวงจรขับไดโอดเปล่งแสง (LED)

จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงซึ่งจะได้จาก Datasheet ของไดโอดเปล่งแสงที่นำมาใช้ในวงจร โดยในวงจรนี้จะใช้ไดโอดเปล่งแสงเบอร์ MFOE76 ซึ่งมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดังนี้

##### คุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสง

เบอร์ MFOE76

Forward Current,  $I_f$  60 mA

Reverse Voltage, ( $V_r = 5V$ ) 100  $\mu A$

Operating temperature range  $-40^\circ C$  to  $+100^\circ C$

Optoelectronic characteristics at  $25^\circ C$

	min	type	max	
--	-----	------	-----	--

$V_f$ at $I_f = 60$ mA			1.8 V - 2.2 V	
------------------------	--	--	---------------	--

Wavelength			660 nm	
------------	--	--	--------	--

และใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3866 ชนิด N-P-N ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

##### Maximum Rating

	min	type	max	
--	-----	------	-----	--

$V_{ceo}$			30	$V_{dc}$
-----------	--	--	----	----------

$V_{cso}$			55	$V_{dc}$
-----------	--	--	----	----------

$I_{cm}$			400	$mA_{dc}$
----------	--	--	-----	-----------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_T = 400 \text{ MHz}$$

กำหนด	$V_{CE1}$ และ $V_{CE2}$	= 3.0	Vdc
	VCC	= 5	Vdc
	VEE	= -5	Vdc
	$I_{CQ1}$ และ $I_{CQ2}$	= 50	mA

กำหนด	$V_{CE1}$ และ $V_{CE2}$	= 3.0	V
	VCC	= +5	V
	VEE	= -5	V
	$I_{CQ1}$ และ $I_{CQ2}$	= 50	mA
	อัตราขยาย ( $\beta$ )	= 120 เท่า	

หาค่า  $R_{CC1}$

$$R_{CC1} = V_{CC} / I_{CQ1}$$

$$= 5 / 50 \text{ mA}$$

$$= 100 \Omega$$

$$R_{CC1} = R_{CC2} = 100 \Omega$$

$$R_{BC1} = R_{BC2} = 5.1 \text{ K}\Omega$$

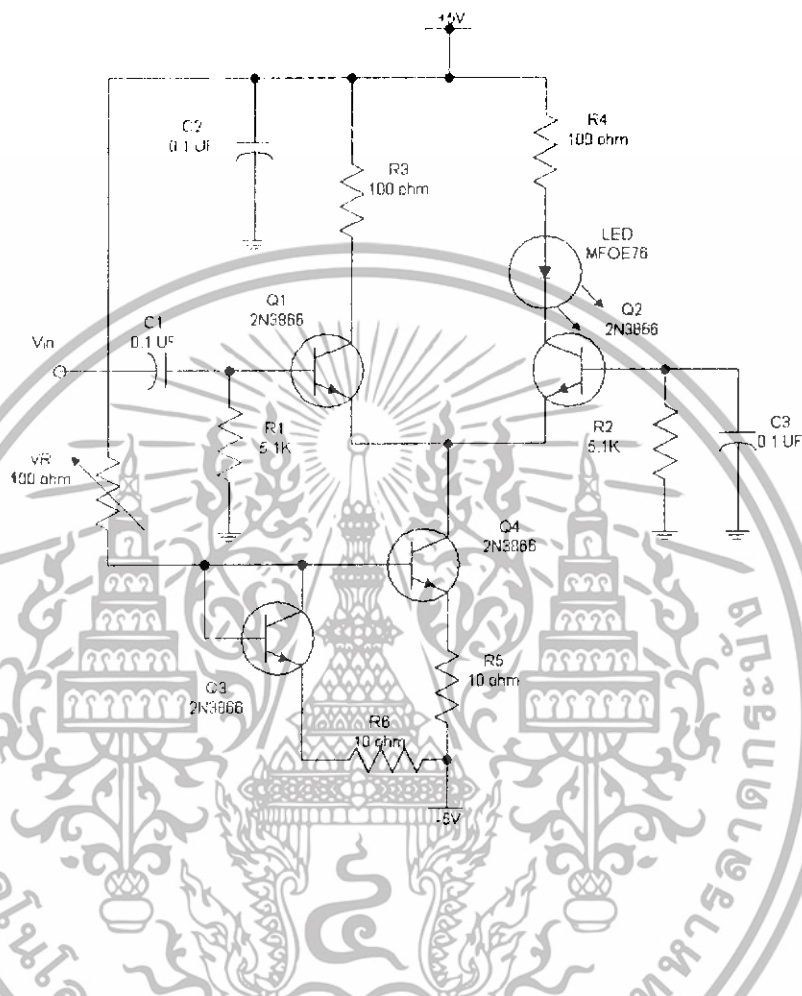
$$R_{EC3} = R_{EC4} = 10 \Omega$$

$$V_S = 400 \Omega$$

$$C_1, C_2, C_3 = 0.1 \mu\text{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้วงจรที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรขับไดโอดเปล่งแสง

### 3.3 หลักการออกแบบวงจรขับเลเซอร์ไดโอด

ในการออกแบบวงจรขับเลเซอร์ไดโอดจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับ ไดโอดเปล่งแสง โดยดูจาก Data Sheet ของ LD เบอร์ SLD1122VS ซึ่งอยู่ในภาคผนวก เนื่องจาก LD จะเปล่งแสงแบบเลเซอร์ และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มแสงเป็นเชิงเส้นกับกระแสที่ไหล ก็ต่อเมื่อเราจ่ายกระแส (Bias Current) ให้กับ LD มากกว่ากระแสเทรชโฮล ( $I_{th}$ ) ซึ่งกระแสเทรชโฮล ก็คือค่ากระแสเริ่มต้นที่จะทำให้ LD เริ่มเปลี่ยนเป็นแสงเลเซอร์ ถ้ากระแสที่จ่ายให้กับ LD มีค่าต่ำกว่ากระแสเทรชโฮลจะทำให้ LD เปล่งแสงแบบ LED ซึ่งความเข้มของแสงจะไม่แปรผันตรงกับ กระแสที่ไหลดังนั้นเราจึงไม่ใช้งานในช่วงที่ LD ทำงานแบบ LED

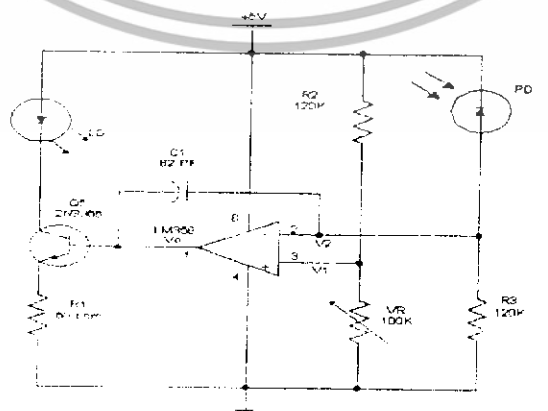
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบวงจรจะพิจารณาในส่วนควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกระแสของตัว LD เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะทำงาน เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงกระแส  $I_D$  ของ LD จะเปลี่ยนดังอธิบายไปแล้วข้างต้น ดังนั้นในวงจรเราจะเพิ่มส่วนควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกระแสของตัว LD ( $I_D$ ) ในการออกแบบ เราจะทดลองส่วนของวงจรควบคุมก่อน เพื่อให้เกิดการควบคุมกระแส  $I_D$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะทำงานโดยหลักการทำงานของวงจรควบคุมจะเป็นดังนี้

โดยปกติทั่วไปตัว LD จะมีส่วนของ PD (Photo detector) อยู่ด้วยเพื่อให้สามารถนำไปควบคุมกระแสของตัว LD มากขึ้นก็จะทำให้มีความเข้มของแสงมากขึ้นตามไปด้วยทำให้โฟตอนตกกระทบตัว PD มากขึ้นซึ่งก็จะทำให้เกิดกระแสในตัว PD ( $I_{PD}$ ) ไหลมากขึ้นและเมื่อกระแสของตัว LD น้อยลงก็จะทำให้ความเข้มของแสงน้อยลงไปด้วยโฟตอนตกกระทบตัว PD ลดลงซึ่งจะทำให้มีกระแส PD ลดลง จากการแปรผันตามกันระหว่าง  $I_D$  และ  $I_{PD}$  ทำให้เราสามารถออกแบบวงจรควบคุมได้ดังนี้

การทำงานของวงจรควบคุม วงจรควบคุมนี้เราใช้ออปแอมป์ (OP-AMP) เป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกระแสของ LD ซึ่งจากความสัมพันธ์ของกระแส LD กับกระแส PD ที่แปรผันตรงกันดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นเรานำมาใช้เป็นส่วนควบคุมกระแส LD ได้โดยใช้ออปแอมป์ที่ทำงานในโหมดป้อนกลับแบบลบ (Negative feedback)

จากรูปที่ 3.2 เมื่อกระแสของ LD ( $I_D$ ) ค่ามากขึ้นจะทำให้มีกระแสของ PD ( $I_{PD}$ ) มีค่ามากขึ้น (ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น) ซึ่งจะมีผลทำให้  $V_2$  มีค่ามากขึ้น และออปแอมป์ ก็จะพยายามปรับให้  $V_2$  มีค่าเท่ากับ  $V_1$  ดังนั้น  $V_0$  ลดลงซึ่งทำให้  $I_D$  มีค่าลดลงด้วย และในทำนองกลับ  $I_D$  มีค่าลดลงก็จะมีผลทำให้กระแส ( $I_{PD}$ ) มีค่าลดลงซึ่งมีผลทำให้  $V_2$  มีค่าลดลงและออปแอมป์ก็จะพยายามปรับให้  $V_2$  มีค่าเท่ากับ  $V_1$   $V_0$  ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้  $I_D$  มีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นเราสามารถควบคุม



รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมกระแส  $I_D$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ให้  $V_1$  เท่ากับ  $V_2$  โดยการลดกระแส  $I_{C1}$  ซึ่งมีผลทำให้  $I_{D1}$  มีค่าลดลงด้วยทำให้  $V_2$  มีค่าลดลง  $I_{D1}$  มีค่าลดลงจะทำให้ความเข้มของแสงมีค่าลดลงและทำให้อัตรากระแส  $I_{D1}$  ไหลน้อยลงซึ่งจะทำให้  $V_2$  มีค่าลดลงและออปแอมป์จะพยายามปรับตัวให้  $V_1$  เท่ากับ  $V_2$  โดยการเพิ่มกระแส  $I_{C1}$  ซึ่งจะทำให้กระแส  $I_{D1}$  เพิ่มขึ้นทำให้  $V_2$  เพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นการควบคุมกระแส  $I_{D1}$  ตามที่ต้องการ และเรายังคงให้  $V_{in}$  ที่ขาเบสของ  $Q_1$  เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส  $I_{C1}$  และทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  จะทำงานในช่วงแอกทีฟโหมดเท่านั้น เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระแส  $I_{C1}$  อย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เราสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง

### 3.4 วงจรภาครับสัญญาณ

#### วิธีการออกแบบ

1. จะต้องกำหนดเบอร์ทรานซิสเตอร์ที่เหมาะสมและเลือกจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ จากกราฟคุณสมบัตินี้

เลือกใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC 548 ซึ่งมี Bandwidth Frequency 300 MHz,  $h_{fe}=333$ ,  $V_{ce}=40$  V  $I_{c_{max}} = 600$  mA พิจารณาจากกราฟ

คุณสมบัตินี้จะเลือกใช้จุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ BC 548 ที่  $V_{cc}=12$  V จะได้

$$I_{C1} = 10 \text{ mA } (I_{C1} = I_{E1}), I_{B1} = 30 \text{ uA}, V_{CE1} = V_{cc} / 2 = 6 \text{ V}$$

2. โดย  $V_{E1}$  กำหนดให้มีค่า  $1/10$   $V_{cc}$

$$V_{E1} = 1.2 \text{ V}$$

3. เพราะฉะนั้นคำนวณหาค่าความต้านทาน  $R_{E1}$

$$R_{E1} = V_{E1} / I_{E1} = 120 \text{ โอห์ม}$$

4. คำนวณหาค่าความต้านทาน  $R_{C1}$

$$R_{C1} = (V_{cc} - V_{CE1} - V_{E1}) / I_{C1} = 480 \text{ โอห์ม}$$

5. คำนวณหาค่าความต้านทาน  $R_{B2}$

$$R_{B2} \leq 1/10 (\beta R_{B1}) = 3.996 \text{ กิโลโอห์ม}$$

$\therefore R_{B2}$  จะมีค่าประมาณ 3.9 กิโลโอห์ม

6. คำนวณหาค่าความต้านทาน  $R_{B1}$

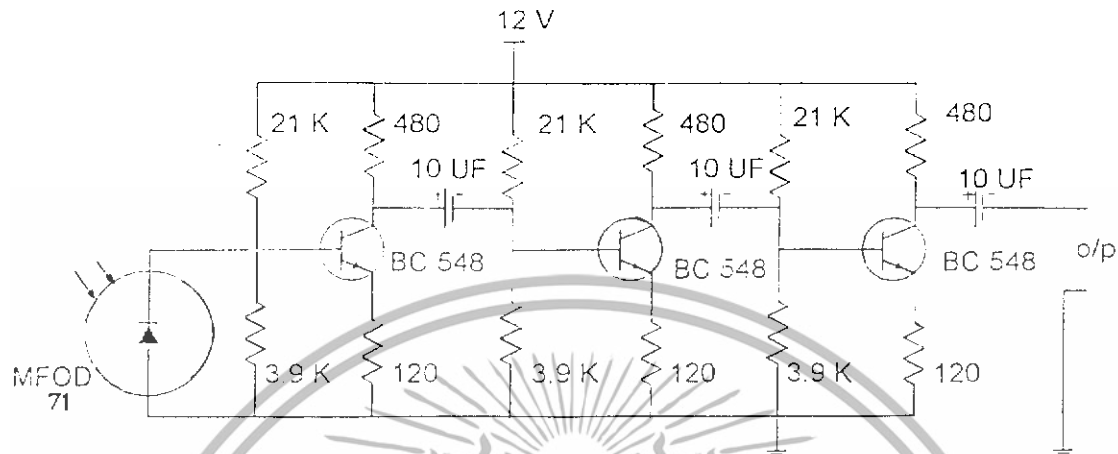
$$\text{เมื่อ } V_{E1} = V_{E1} + V_{BE1} = 1.9 \text{ V}$$

$$\text{หา } R_{B1} \text{ จากสูตร } V_{E1} = (R_{B2} / (R_{B1} + R_{B2}))$$

$\therefore R_{B1} = 21 \text{ กิโลโอห์ม}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้วงจรที่แปลงสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า ( O/E Converter ) ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรที่แปลงสัญญาณทางแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

#### การทำงานของวงจร

จากรูปเป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เมื่อด้านส่งสัญญาณแสงเข้ามาในเส้นใยแสงโดย ทางด้านรับก็จะรับสัญญาณแสงที่ส่งเข้ามาโดยใช้โฟโตไดโอด (Photo Diode) จากรูปเมื่อมีแสงเข้ามายังโฟโตไดโอดก็จะทำให้ค่าความต้านทานภายในของโฟโตไดโอดลดลงซึ่งสามารถทำให้กระแสไหลผ่านตัวโฟโตไดโอดได้ ดังนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลมาไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ตามสภาวะของแสงที่เข้ามา เมื่อกระแสที่ไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ จะมีลักษณะเหมือนทางด้านส่งทุกประการ สัญญาณขาออกจะผ่านคาปาซิเตอร์ไปยังวงจรขยายต่อไป ซึ่งจะเห็นว่าเป็นวงจรขยายสัญญาณ 3 สเตท เพราะสัญญาณที่ได้จากวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า แบบสเตทเดียวมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องนำเอาสัญญาณที่ได้มาขยายต่อไปอีกเพื่อที่จะได้สัญญาณที่สูงพอที่จะสามารถนำเอาสัญญาณที่เรารับเข้ามาได้นี้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในโครงงานนี้จะทดลองหาคุณสมบัติต่างๆของวงจรขับไดโอดเปล่งแสงและวงจรขับเลเซอร์ ไดโอดที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3

#### 4.1 การทดลองหาการตอบสนองความถี่ของวงจรขับไดโอดเปล่งแสง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ป้อนสัญญาณอินพุตเป็นซายน์โวลต์มีขนาดแอมพลิจูด 200 mVp-p มีความถี่ตั้งแต่ 1 MHz ถึง 45 MHz เข้าที่  $V_{in}$  ของวงจรขับไดโอดเปล่งแสงในรูปแบบที่ 3.1
2. ทำการวัดค่าของสัญญาณเอาต์พุตที่ขา C ของ Q2 บันทึกค่าที่ความถี่ต่างๆ แล้วคำนวณหาอัตราขยายโดยใช้สูตร

$$20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (\text{db}) \quad (18)$$

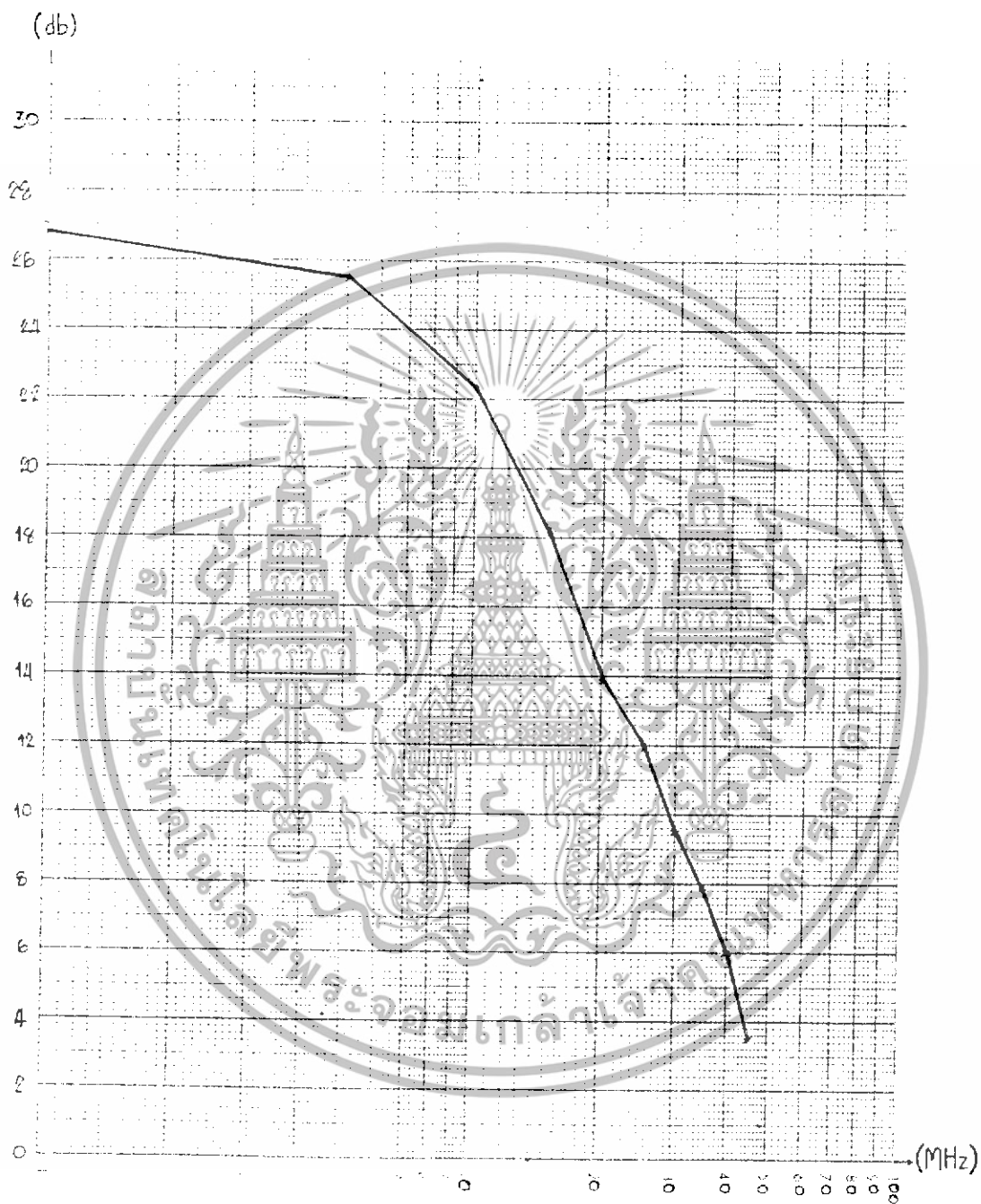
ความถี่ (MHz)	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$V_{in}$ (V)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
$V_{out}$ (V)	4.4	3.8	2.6	1.6	1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3
$20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}}$ (db)	26.8	25.5	22.3	18.1	13.9	12.0	9.5	7.9	6.0	3.5

ตารางที่ 4.1

3. นำค่าในตารางมาพล็อตกราฟ โดยแกนนอนเป็นค่าความถี่และแกนตั้งเป็นค่า  $A_v$  (db)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรขั้วไดโอดเปล่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การทดลองหาการตอบสนองความถี่ของวงจรขั้วเลเซอร์ไดโอด

ขั้นตอนการทดลอง

1. บ่อนสัญญาณอินพุตเป็นไซน์เวฟมีขนาดแอมพลิจูด 200 mV<sub>pp</sub> มีความถี่ตั้งแต่ 1 MHz ถึง 45 MHz เข้าที่ V<sub>in</sub> ของวงจรขั้วไดโอดแปลงแสงในรูปที่ 3.3
2. ทำการวัดค่าของสัญญาณเอาต์พุตที่ขา C ของ Q2 บันทึกค่าที่ความถี่ต่างๆ แล้วคำนวณหาอัตราขยายโดยใช้สูตร

$$20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (\text{db}) \quad (18)$$

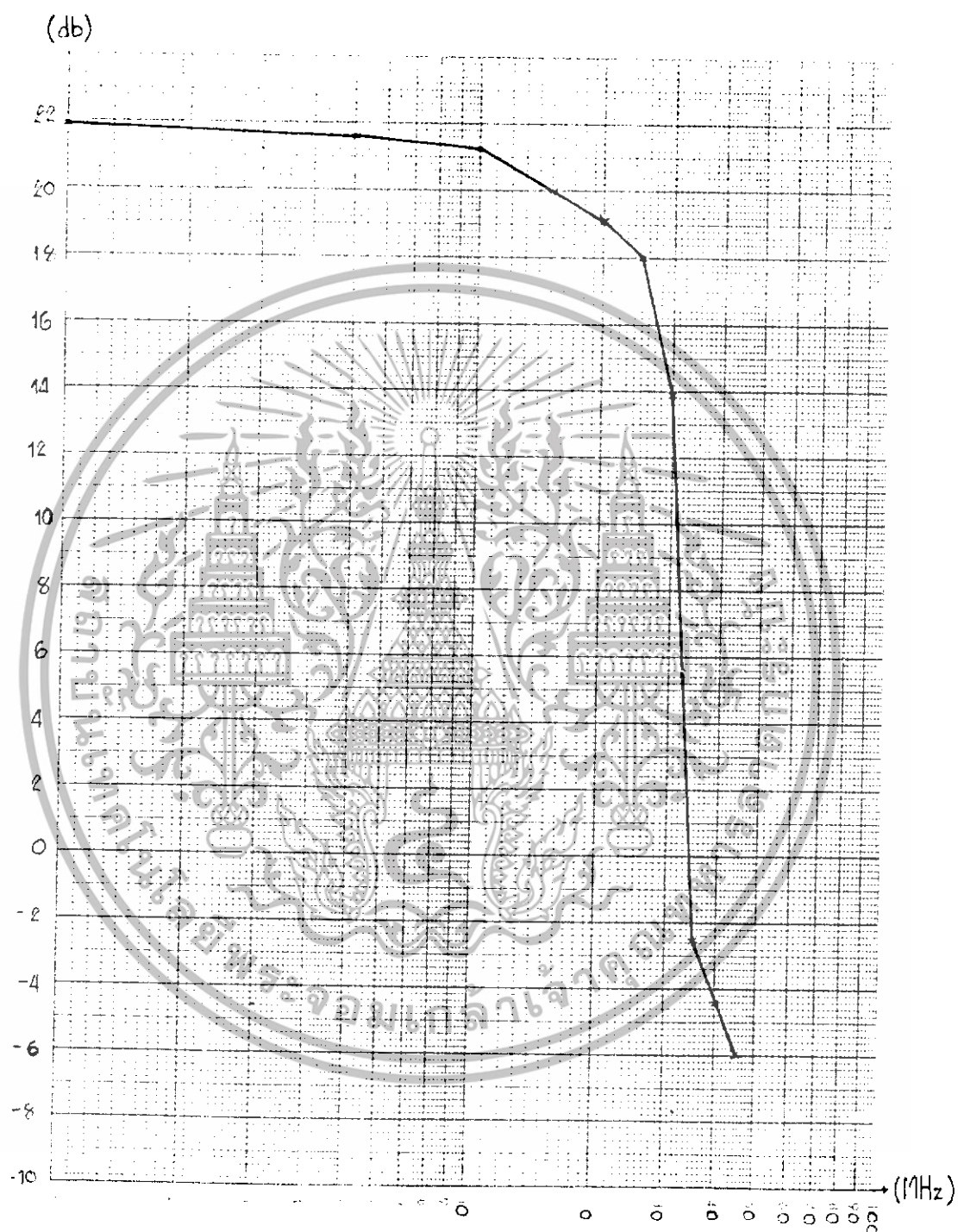
ความถี่ (MHz)	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
V <sub>in</sub> (V)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
V <sub>out</sub> (V)	2.5	2.4	2.3	2	1.8	1.6	0.2	0.15	0.12	0.1
$20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (\text{db})$	21.9	21.6	21.2	20.0	19.1	18.0	13.9	-2.5	-4.4	-6.0

ตารางที่ 4.2

3. นำค่าในตารางมาพล็อตกราฟ โดยแกนอนเป็นค่าความถี่และแกนตั้งเป็นค่า A<sub>v</sub> (db)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

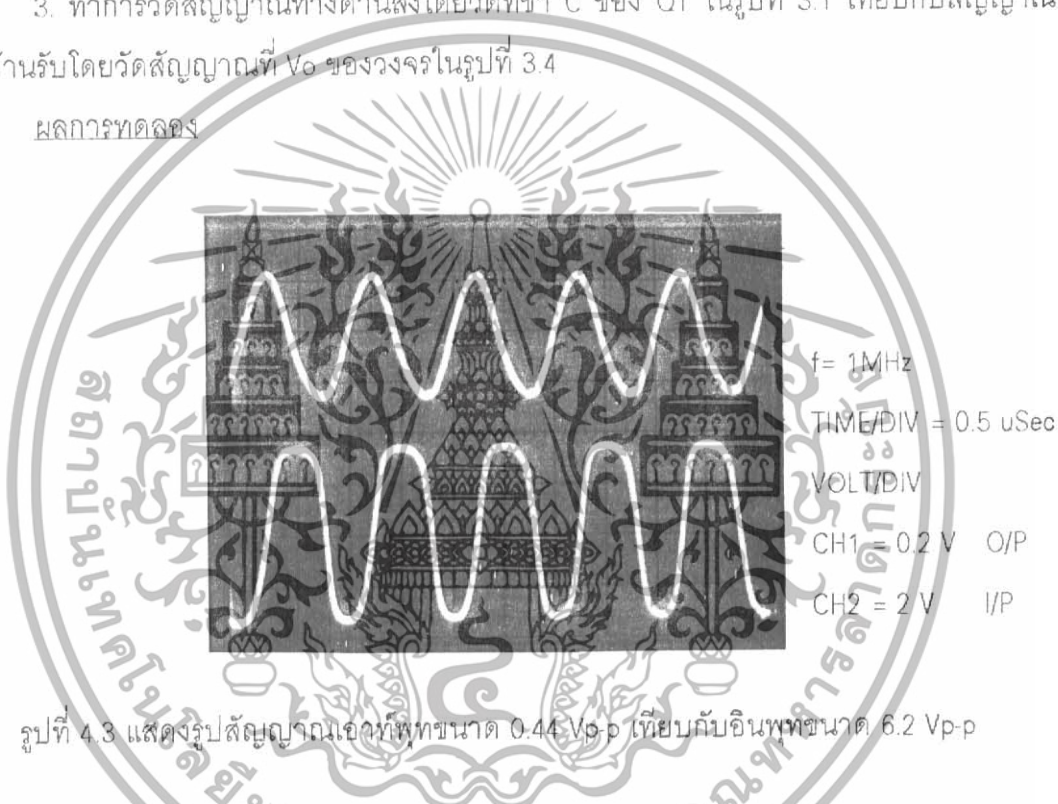
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดลองส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านวงจรขับไดโอดเปล่งแสง

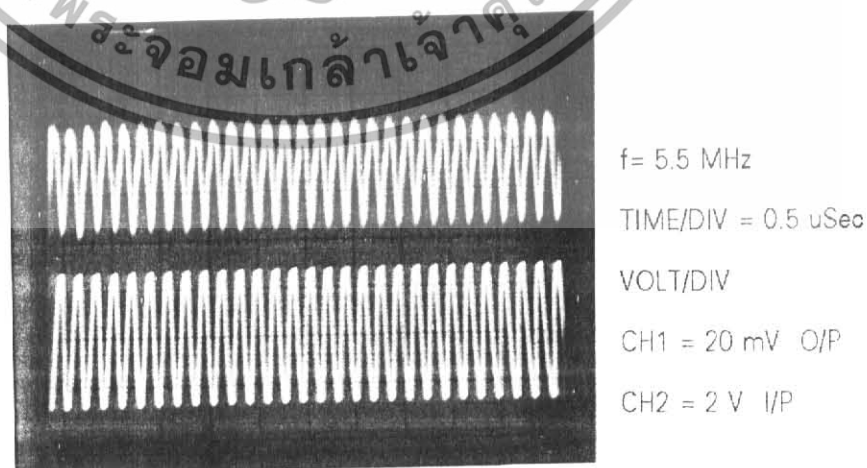
#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการป้อนสัญญาณชานน์เฉพาะขนาด 1 Vp-p ที่ความถี่ 1 MHz, 5.5 MHz, 8 MHz เข้าที่วงจรขับไดโอดเปล่งแสงในรูปที่ 3.1
2. ใช้สายไฟเบอร์พลาสติกขนาด 1000 ไมครอนเป็นตัวกลางในการส่งผ่านสัญญาณแสง โดยต่ออยู่ระหว่าง Light Source กับ Light Detector
3. ทำการวัดสัญญาณทางด้านส่งโดยวัดที่ขา C ของ O1 ในรูปที่ 3.1 เทียบกับสัญญาณทางด้านรับโดยวัดสัญญาณที่  $V_o$  ของวงจรในรูปที่ 3.4

#### ผลการทดลอง

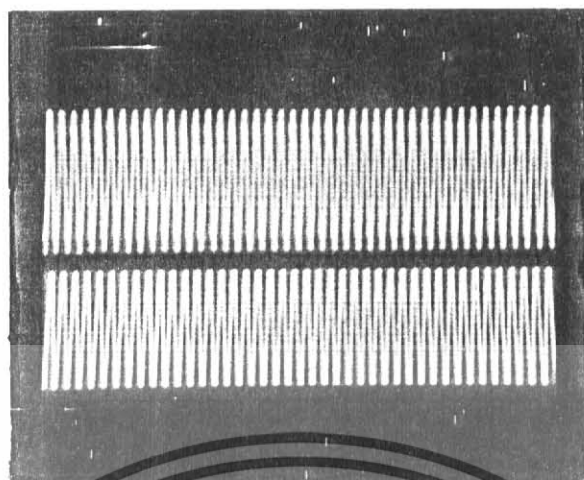


รูปที่ 4.3 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตขนาด 0.44 Vp-p เทียบกับอินพุตขนาด 6.2 Vp-p



รูปที่ 4.4 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตขนาด 40 mVp-p เทียบกับอินพุตขนาด 5.8 Vp-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$f = 8 \text{ MHz}$

TIME/DIV = 0.5  $\mu\text{Sec}$

VOLT/DIV

CH1 = 50 mV O/P

CH2 = 2 V I/P

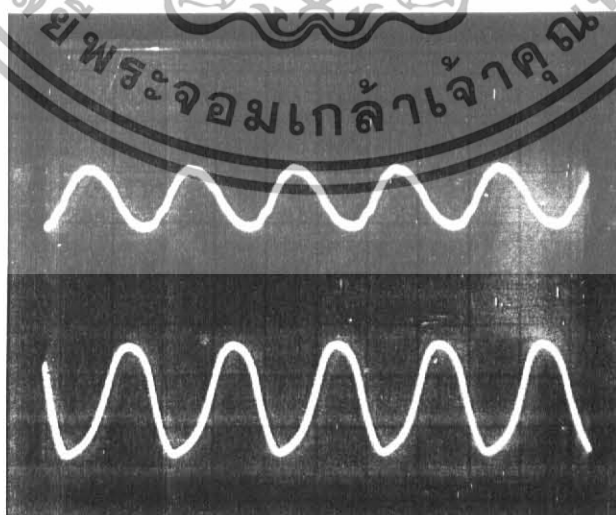
รูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตขนาด 150 mVp-p เทียบกับอินพุตขนาด 4 Vp-p

#### 4.4 การทดลองส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านวงจรรับเลเซอร์ไดโอด

ขั้นตอนการทดลอง

1. ขั้วการป้อนสัญญาณรอกขนาด 1 Vp-p ที่ความถี่ 1 MHz, 5.5 MHz, 8 MHz เข้าที่วงจรรับเลเซอร์ไดโอดในรูปที่ 3.3
2. ใช้สายไฟเบอร์พลาสติกขนาด 1000 ไมครอนเป็นตัวกลางในการส่งผ่านสัญญาณแสง โดยต่ออยู่ระหว่าง Light Source กับ Light Detector
3. ทำการวัดสัญญาณทางด้านส่งโดยวัดที่ขา C ของ O1 ในรูปที่ 3.3 เทียบกับสัญญาณทางด้านรับโดยวัดสัญญาณที่ Vo ของวงจรในรูปที่ 3.4

ผลการทดลอง



$f = 1 \text{ MHz}$

TIME/DIV = 0.5  $\mu\text{Sec}$

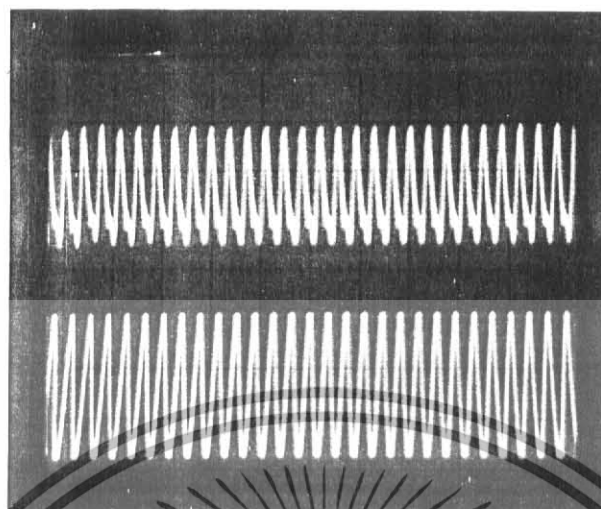
VOLT/DIV

CH1 = 50 mV O/P

CH2 = 1 V I/P

รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตขนาด 60 mVp-p เทียบกับอินพุตขนาด 2.4 Vp-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$f = 5.5 \text{ MHz}$

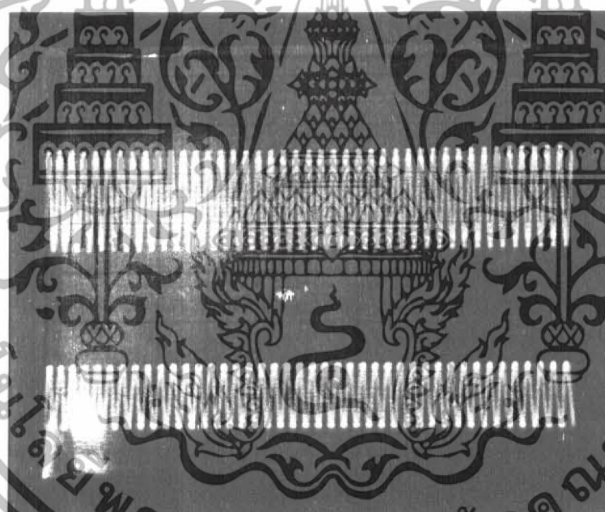
TIME/DIV = 0.5  $\mu\text{Sec}$

VOLT/DIV

CH1 = 50 mV O/P

CH2 = 1 V I/P

รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตขนาด 120 mVp-p เทียบกับอินพุตขนาด 2.8 Vp-p



$f = 8 \text{ MHz}$

TIME/DIV = 0.5  $\mu\text{Sec}$

VOLT/DIV

CH1 = 50 mV O/P

CH2 = 1 V I/P

รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตขนาด 100 mVp-p เทียบกับอินพุตขนาด 1.4 Vp-p

#### 4.5 การทดลองหา Line width ของแหล่งกำเนิดแสงจาก LED และ LD

แหล่งกำเนิดแสง ไม่สามารถให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (single frequency) แต่จะครอบคลุมหลายความยาวคลื่น ช่วงกว้างนี้เรียกว่า Line width

ขั้นตอนการทดลอง

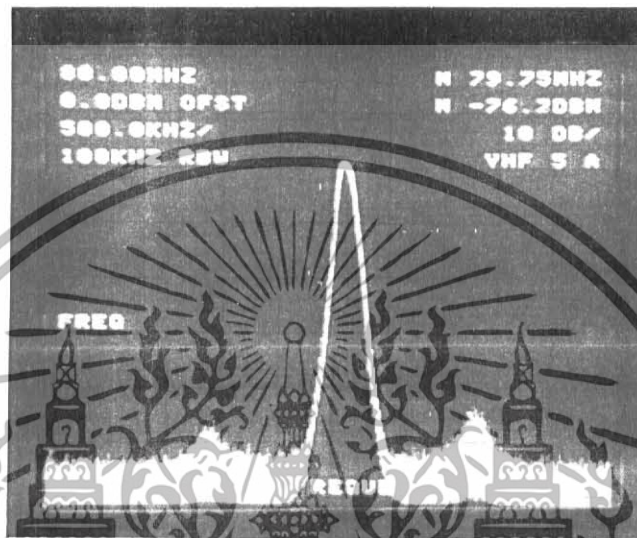
1. ทำการมอดูเลตสัญญาณไซน์เวฟขนาด 1 Vp-p ที่ความถี่ 80 MHz ( $f_0$ ) เข้าที่วงจรขับ LED และ LD ในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.3 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการวัดสัญญาณโดยใช้เครื่องสเปกตรัมวัดคร่อมตัว LED และ LD ในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.3 ตามลำดับ

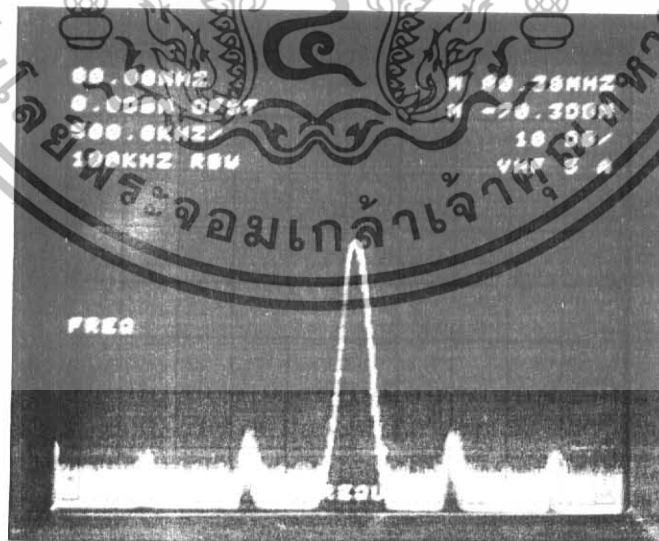
3. คำนวณหาค่า Line width =  $f_2 - f_1$

ผลการทดลอง



Line width = 0.72 MHz

รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณของวงจรรับ LED



Line width = 0.51 MHz

รูปที่ 4.10 แสดงรูปสัญญาณของวงจรรับ LD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงในบทที่ 4 โดยทั้งสองวงจรมีการตอบสนองความถี่ที่คล้ายกัน ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเมื่อป้อนความถี่สูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการขยาย ( $A_v$ ) ของวงจรจะมีค่าลดลงซึ่งแปรผกผันกับความถี่ ส่วนการทดลองส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านแหล่งกำเนิดทั้งสองวงจรมานั้น สามารถส่งผ่านสัญญาณได้ดีมาก โดยแหล่งกำเนิดทั้งสองวงจรมานั้น ทำการขยายสัญญาณอินพุตก่อนที่จะส่งให้สูงพอ ทำให้ภาครับสามารถรับสัญญาณที่ส่งมาได้ดีซึ่งนำไปใช้งานต่อไปได้และช่วงกว้างของสัญญาณ (line width) ที่เป็นคุณสมบัติอีกประการหนึ่งของ LED และ LD ซึ่งมีผลต่อจำนวนการส่งข้อมูลได้มากหรือน้อยเพียงไรนั้น จะขึ้นอยู่กับ line width ด้วย ถ้า line width แคบๆ ก็จะสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่า line width ที่มีขนาดกว้าง สำหรับในโครงการนี้ line width ของ LED จะเท่ากับ 0.75 MHz และ line width ของ LD จะเท่ากับ 0.51 MHz จะเห็นว่า line width ของ LD นั้นแคบกว่าของ LED ส่วนของการวัดกำลังของแสงนั้น ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากขาดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

แหล่งกำเนิดแสงที่สร้างขึ้นมานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง อาทิเช่นใช้เป็นชุดทดลองในการส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านสายไฟเบอร์ออฟติก โดยใช้ระยะทางใกล้ๆ ไม่ไกลนัก เป็นต้นและนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ต่อไป

## บรรณานุกรม

1. อธิคม กฤษบุตร, “ วงจรใช้งาน LASER DIODE ”, AUPNCTURE BY LASER DIODE 30-38, พ.ศ. 2527
2. พันธุ์ศักดิ์ พุฒมานิตพงศ์, “ วงจรขยายผลต่างของสัญญาณ ”, ทฤษฎีทรานซิสเตอร์ และการใช้งาน, 113-116, 2531.
3. Palais Joseph C, “ LIGHT SOURCE AND LIGHT DETECTOC ”, Fiber optic Communications, 127-163, 1988.
4. สุวิทย์ จิตรเกษมสุข, “ เทคโนโลยีเลเซอร์ ”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เล่มที่ 88 , 204-221, พ.ศ.2531



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2N3866**  
**2N3866A**

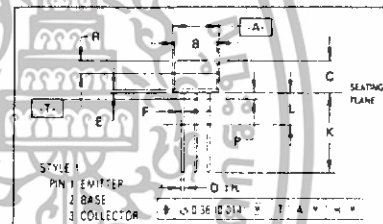
**The RF Line**

**NPN SILICON HIGH FREQUENCY TRANSISTOR**

... designed for amplifier and oscillator applications in military and industrial equipment. Suitable for use as output, driver or pre-driver stages in VHF and UHF equipment.

- Specified 400 MHz, 28 Vdc Characteristics --  
 Output Power = 1.0 Watt  
 Minimum Gain = 10 dB  
 Efficiency = 45%
- Large Signal Series Equivalent Impedances
- S-Parameter Characterization

1.0 W -- 400 MHz  
 HIGH FREQUENCY  
 TRANSISTOR  
 NPN SILICON



- NOTES
1. DIMENSIONS AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M 1982
  2. CONTROLLING DIMENSION INCH
  3. DIMENSION J MEASURED FROM DIMENSION A MAXIMUM
  4. DIMENSION B SHALL NOT VARY MORE THAN 0.25 (0.010) IN ZONE R. THIS ZONE CONTROLLED FOR AUTOMATIC LEAD FORMING
  5. DIMENSION C & E APPLIES BETWEEN DIMENSION P AND L. DIMENSION D APPLIES BETWEEN DIMENSION L AND K. MINIMUM LEAD DIAMETER IS UNCONTROLLED IN DIMENSION P AND BEYOND DIMENSION K. MINIMUM

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.51	9.29	0.335	0.370
B	7.75	8.50	0.305	0.335
C	6.10	6.60	0.240	0.260
D	0.41	0.52	0.016	0.021
E	0.73	1.04	0.029	0.041
F	0.41	0.48	0.016	0.019
G	5.08 ESC		0.200 ESC	
H	3.72	0.86	0.028	0.034
J	0.74	1.14	0.029	0.045
K	2.50	1.27	0.098	0.050
L	6.35		0.250	
M	45	BSC	45	BSC
P		0.77		0.030
R	2.54		0.100	

CASE 79-04  
 TO-205AD  
 (TO-39)

**\*MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	30	Vdc
Collector-Base Voltage	V <sub>CBO</sub>	55	Vdc
Emitter-Base Voltage	V <sub>EBO</sub>	3.5	Vdc
Collector Current -- Continuous	I <sub>C</sub>	0.4	A <sub>dc</sub>
Total Device Dissipation @ T <sub>C</sub> = 25°C Derate Above 25°C	P <sub>D</sub>	5.0	Watts
		28.6	mW/°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-65 to +200	°C

\* Indicates JEDEC Registered Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

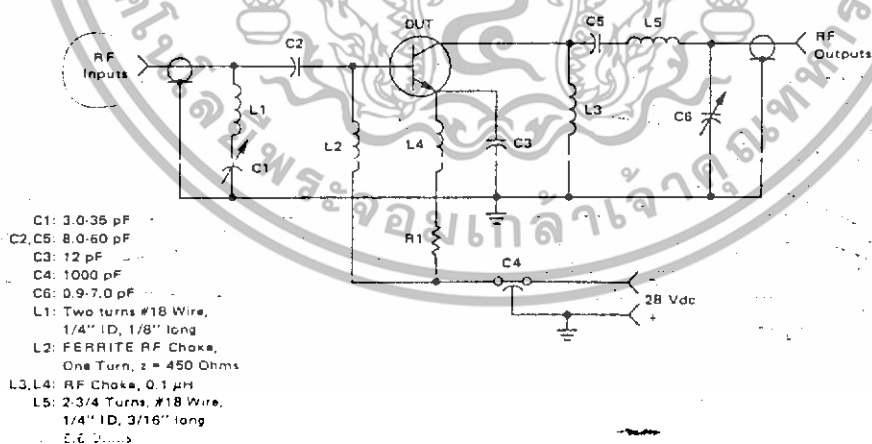
## 2N3866, 2N3866A

\*ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>				
Collector-Emitter Sustaining Voltage ( $I_C = 5.0\text{ mAdc}$ , $I_B = 0$ )	$V_{CE(sus)}$	30	—	Vdc
Collector-Base Sustaining Voltage ( $I_C = 5.0\text{ mAdc}$ , $R_{BE} = 10\ \Omega$ )	$V_{CER(sus)}$	55	—	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 100\ \mu\text{Adc}$ , $I_C = 0$ )	$V_{(BR)EBO}$	3.5	—	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 28\text{ Vdc}$ , $I_B = 0$ )	$I_{CEO}$	—	0.02	mAdc
Emitter Cutoff Current ( $V_{BE} = 3.5\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ )	$I_{EBO}$	—	0.1	mAdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ Vdc}$ , $V_{BE} = -1.5\text{ Vdc (Rev.)}$ , $T_C = 200^\circ\text{C}$ ) ( $V_{CE} = 55\text{ Vdc}$ , $V_{BE} = -1.5\text{ Vdc (Rev.)}$ )	$I_{CEX}$	—	5.0 0.1	mAdc
<b>ON CHARACTERISTICS</b>				
DC Current Gain ( $I_C = 360\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 5.0\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 50\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 5.0\text{ Vdc}$ )	$h_{FE}$	Both 2N3866 2N3866A	5.0 10 25	— 200 200
Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 100\text{ mAdc}$ , $I_B = 20\text{ mAdc}$ )	$V_{CE(sat)}$	—	1.0	Vdc
<b>DYNAMIC CHARACTERISTICS</b>				
Current-Gain — Bandwidth Product ( $I_C = 50\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 15\text{ Vdc}$ , $f = 200\text{ MHz}$ )	$f_T$	2N3866 2N3866A	500 800	— —
Output Capacitance ( $V_{CB} = 28\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{ob}$	—	3.0	pF
<b>FUNCTIONAL TESTS</b>				
Common-Emitter Amplifier Power Gain ( $V_{CC} = 28\text{ Vdc}$ , $P_{out} = 1.0\text{ W}$ , $f = 400\text{ MHz}$ )	$G_{pe}$	—	10	—
Collector Efficiency ( $V_{CC} = 28\text{ Vdc}$ , $P_{out} = 1.0\text{ W}$ , $f = 400\text{ MHz}$ )	$\eta$	—	45	—

\*Indicates JEDEC Registered Data.

FIGURE 1 — 400 MHz TEST CIRCUIT SCHEMATIC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3866, 2N3866A

2

FIGURE 2 -- POWER OUTPUT versus FREQUENCY (CLASS C)

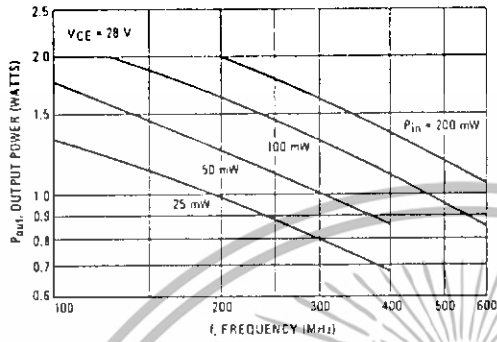


FIGURE 3 -- CURRENT-GAIN - BANDWIDTH PRODUCT

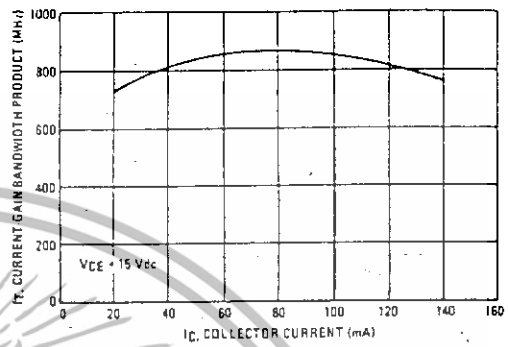


FIGURE 4 -- COLLECTOR-BASE TIME CONSTANT

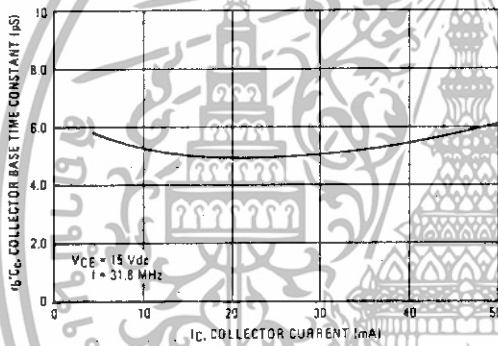


FIGURE 5 -- OUTPUT CAPACITANCE

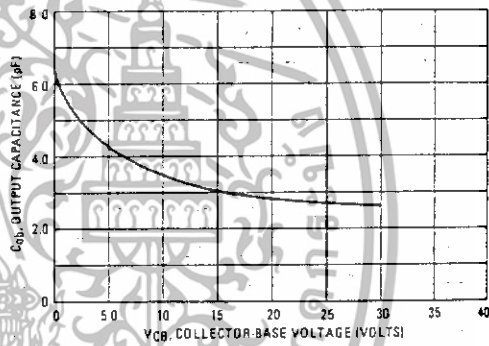


FIGURE 6 -- OUTPUT POWER versus INPUT POWER (CLASS C)

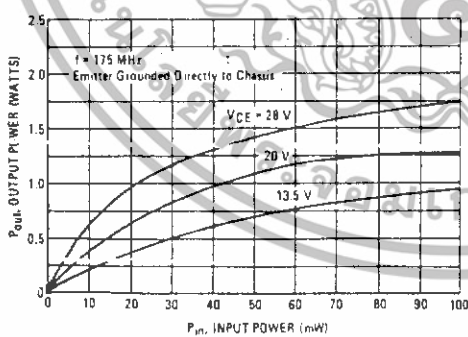
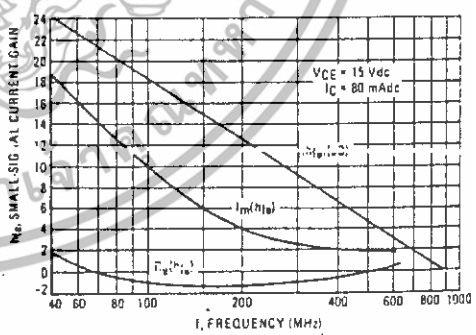


FIGURE 7 -- SMALL-SIGNAL CURRENT GAIN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3866, 2N3866A

FIGURE 8 - LARGE-SIGNAL SERIES EQUIVALENT IMPEDANCES

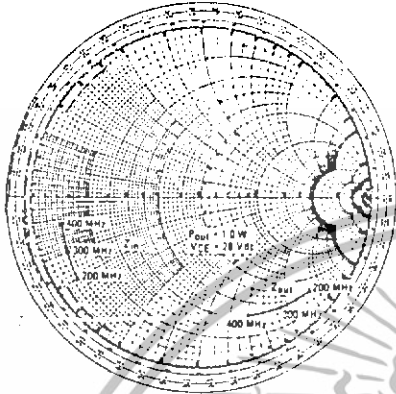


FIGURE 9 - S11 AND S22 versus FREQUENCY

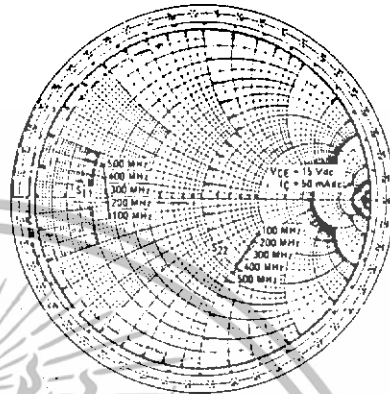


FIGURE 10 - S21 versus FREQUENCY

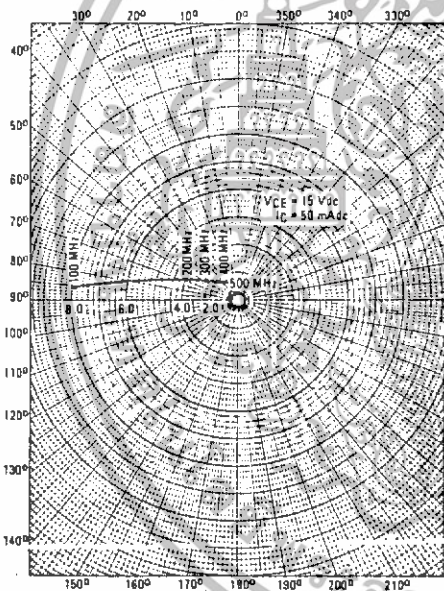
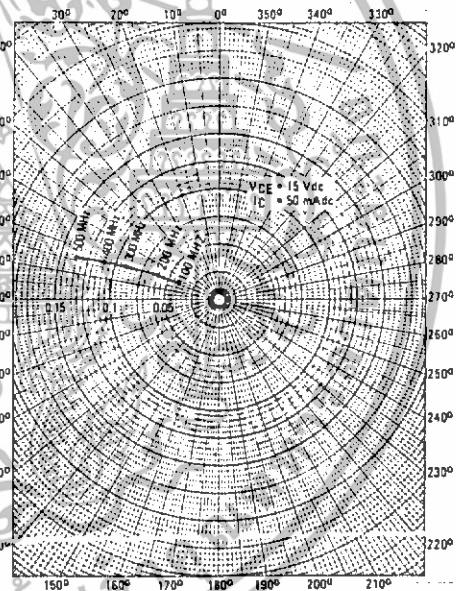


FIGURE 11 - S12 versus FREQUENCY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LASER DIODE MODULE

If you want to experiment with laser light then this is the way to do it. Buy the laser module, connect it to a 5.0 VDC source and there it is. NOTE: never look into the laser light. It can easily harm your eyes permanently. Do not shine it at a persons face.

Output power:	5 mW.
Wavelength:	670 nm, deep red. Wavelength is a function of temperature. At 0°C it is 665nm increasing in a linear fashion to 675nm at 40°C.
Collimating lens.	acrylic, aspheric, anti-reflective coated.
Operating voltage:	3.0 V DC. Do not go over 3.0V. You will just burn out the diode. Over 10 hours on 2 AA batteries.
Operating current:	85mA.
Laser diode:	Sony SLD1122VS.
Case:	brass . . . be.
Dimensions:	cylinder 18.5mm x 11.5mm (diam.), 0.75" x 0.45".
Beam:	6mm at 5 meters
Beam diameter:	typically 4mm x 6mm.
Operating Temp :	zero to 40 degrees Centigrade.

You can make your own laser pointer or security beam fence with the module, a press button switch and a battery holder supplied. Just add 2 x AA batteries.

## LASER DIODES

Laser Diodes (LD) have become the most widely used type of lasers. They are found in CD players, video disks, CD-ROM, printers and supermarket checkout counters where they scan the bar code printed on your purchases to automate and speed-up check-out time. Only laser light can be used in these applications. Polychromatic light (multi-wavelength) cannot be used. Monochromatic light is required.

Compared to the older He-Ne lasers, LDs are smaller, cheaper and far less complicated (both in their own physical size and the support electronics to power them.) Standard LDs are made from gallium-aluminium-arsenide. They give laser light at 775nm which is in the near infra-red part of the spectrum. The newer LDs are made from indium-gallium-aluminium-phosphide which gives laser light at 665nm (red.) It is these visible red LD modules which are used in barcode readers. These readers scan the white and black bars of a barcode; the white bars reflect light which falls on a photodiode while the black bars absorb light. The contrast between reflected and absorbed light becomes greater as the wavelength becomes smaller. Wavelengths above about 780nm cannot be used.

Most CD players, CD-ROM and video disks use 775nm LD modules. On a CD player this allows a distance between tracks of 1.9 um. This gives a total of 18,000 tracks on a 3.3cm wide CD recording surface. Now if smaller 660nm light could be used the number of tracks (and thus the playing time) could be increased by 18%. Blue laser light at 428nm and 523nm is now being looked at for the next generation of these consumer goods for even greater information storage densities - and playback times.

The actual emission surface of LDs is small - only 2.5 square mm. Light is not only emitted forward. About 5% is emitted backwards from its backplane. This falls onto a photodiode whose resistance varies in direct proportion to the intensity. This allows a feedback circuit controlled by the photodiode to regulate the current through the LD. Despite the fact that the photodiode is contained in the same housing the whole unit is referred to as the laser diode. Laser light from a LD is not produced in a narrow beam. A lens system is required to collimate the beam.

Efficient heat sinking is necessary since a temperature rise causes a decrease of optical output power.

(Revised documentation, June 1994.)

ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

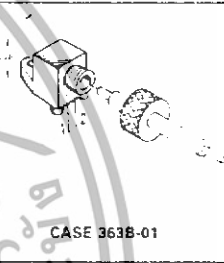
## Fiber Optics — FLCS Family Visible Red LED

**MFOE76**

FLCS FAMILY  
 FIBER OPTICS  
 VISIBLE RED  
 LED  
 660 nm

This device is designed for low cost, medium frequency, fiber optic systems using 1000 micron core plastic fiber. It is compatible with Motorola's wide variety of detector functions from the MFOD70 series. The MFOE76 employs gallium aluminum technology, and comes pre-assembled into the convenient and popular FLCS connector.

- Low Cost
- Very Simple Fiber Termination and Connection. See Figure 8
- Convenient Printed Circuit Mounting
- Integral Molded Lens for Efficient Coupling
- Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber, such as Eska SH4001



### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	$V_R$	5	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	60	mA
Forward Current — Peak Pulse	$I_{FP}$	1	A
Total Power Dissipation (at $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) Derate above $35^\circ\text{C}$	$P_D$	132 2	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	$T_A$	-40 to +100	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 to +100	°C
Lead Soldering Temperature (2)	—	260	°C

Notes: 1. Measured with device soldered into a typical printed circuit board.  
 2. 5 seconds max; 1/16 inch from case.

5

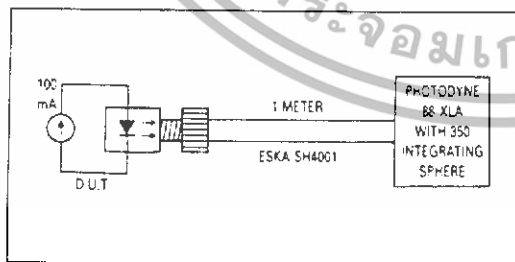


Figure 1. Power Launched Test Setup

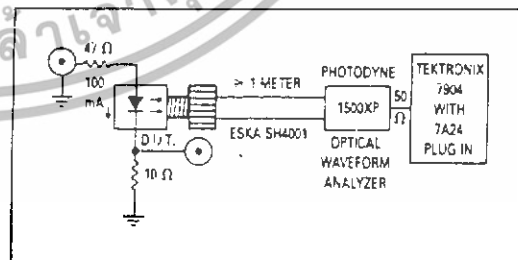


Figure 2. Optical Turn-On and Turn-Off Test Setup

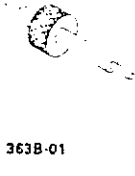
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELE  
 R  
 R  
 F  
 T  
 C  
 OP  
 F  
 In  
 O  
 O  
 F  
 H  
 H  
 V<sub>F</sub> FORWARD VOLTAGE (V)  
 1000  
 POWER LAUNCHED (μW)  
 100  
 10  
 Fi

# MFOE76

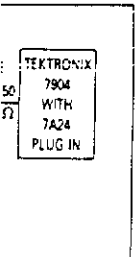
OE76

FAMILY  
OPTICS  
ELED RED  
LED  
0 nm



363B-01

Unit
Volts
mA
A
mW
mW/°C
°C
°C
°C



est Setup

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current (V <sub>R</sub> = 3 V)	I <sub>R</sub>	—	100	—	nA
Reverse Leakage Current (V <sub>R</sub> = 5 V)	I <sub>R</sub>	—	10	100	μA
Forward Voltage (I <sub>F</sub> = 60 mA)	V <sub>F</sub>	—	1.8	2.2	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	ΔV <sub>F</sub>	—	-2.2	—	mV/K
Capacitance (f = 1 MHz)	C	—	50	—	μF

## OPTICAL CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Wavelength (I <sub>F</sub> = 60 mA)	λ <sub>p</sub>	—	660	—	nm
Instantaneous Power Launched (I <sub>F</sub> = 100 mA, Figure 1)	P <sub>L</sub>	200	540	—	μW
Optical Turn-On Time (Figure 2)	t <sub>on</sub>	—	200	—	ns
Optical Turn-Off Time (Figure 2)	t <sub>off</sub>	—	150	—	ns
Half-Power Electrical Bandwidth (1)	BWe	—	6	—	MHz

(1) I<sub>F</sub> = 100 mA pulsed, 100% modulation

## TYPICAL CHARACTERISTICS

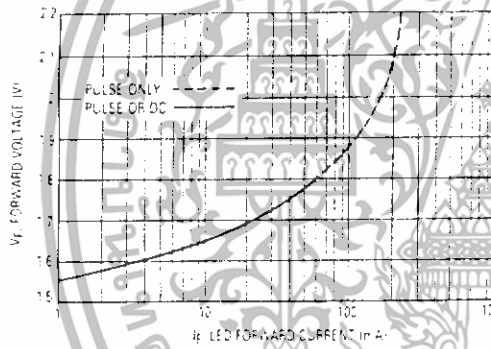


Figure 3. Forward Voltage versus Forward Current

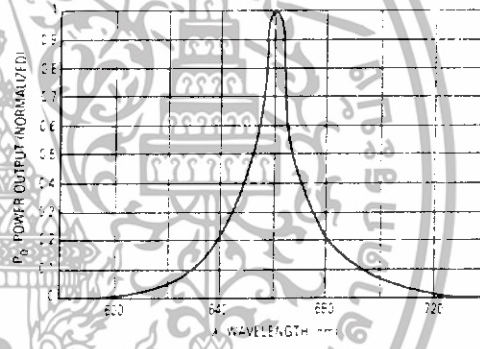


Figure 4. Relative Spectral Output

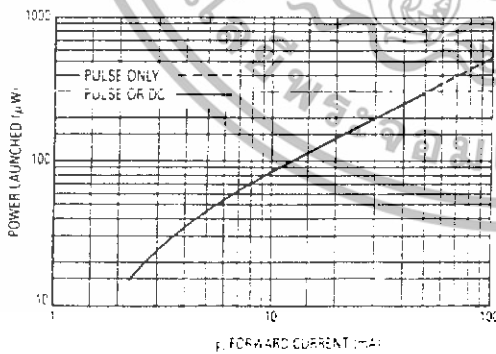


Figure 5. Power Launched versus LED Forward Current

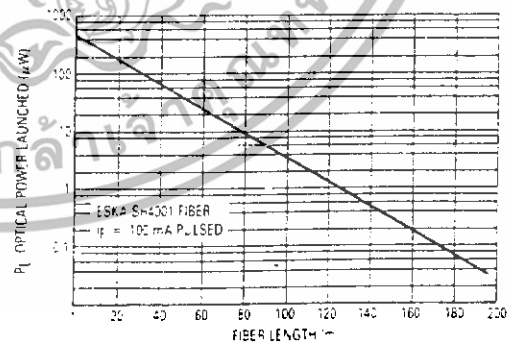


Figure 6. Power Launched versus Fiber Length

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MFOE76

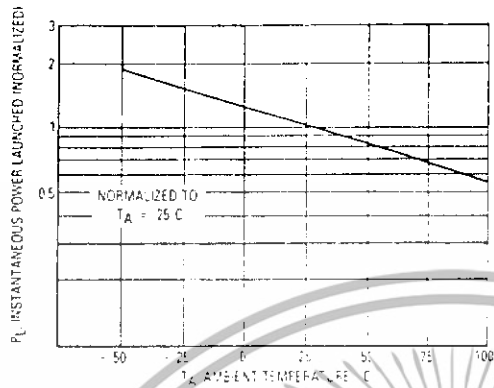


Figure 7. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

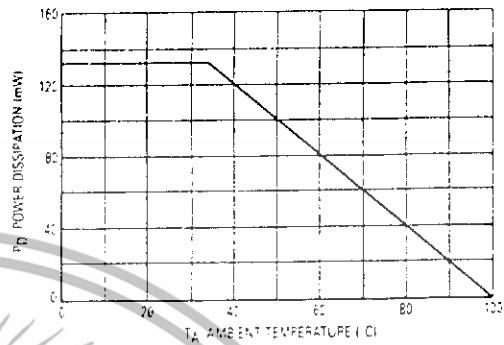


Figure 8. Power Dissipation

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eksa SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current ( $I_f$ ) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

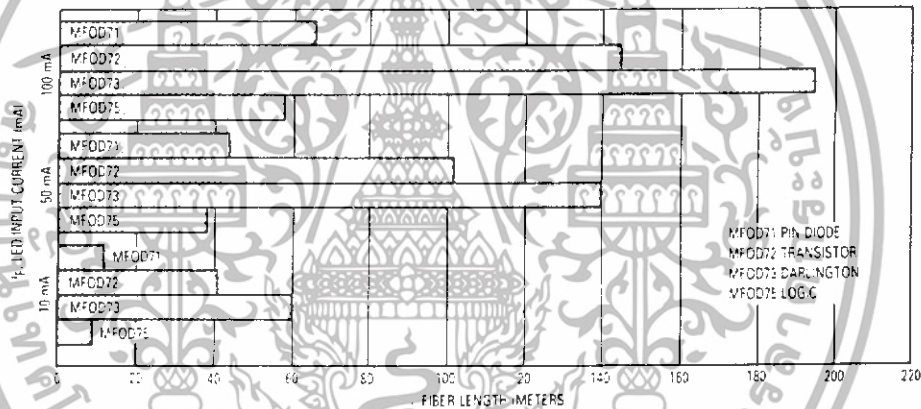


Figure 9. MFOE76 Working Distances

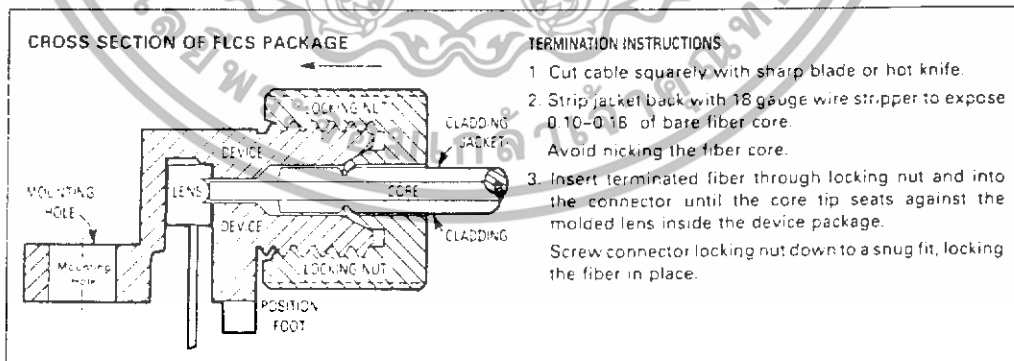
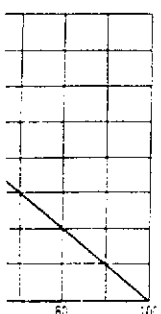
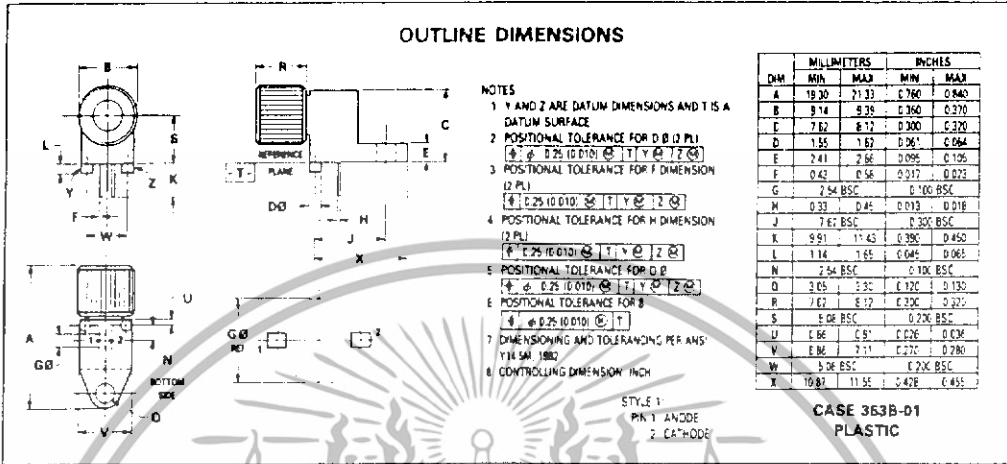


Figure 10. FO Cable Termination and Assembly

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MFOE76



ation  
detector chosen  
FOE76 up to the



ot knife.  
der to expose  
nut and into  
against the  
rg fit. locking



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Fiber Optics — FLCS Family**  
**Photo Detector**  
**Diode Output**

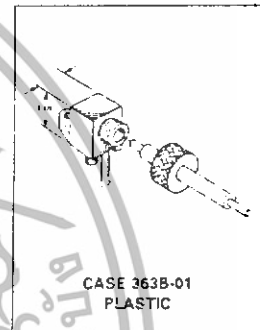
**MFOD71**

**FLCS FAMILY**  
**FIBER OPTICS**  
**PHOTO DETECTOR**  
**DIODE OUTPUT**

... designed for low cost, short distance Fiber Optic Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- Fast PIN Photodiode, Response Time < 5 ns
- Ideally Matched to MFOE76 Emitter for Plastic Fiber Systems
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- FLCS Package
  - Includes Connector
  - Simple Fiber Termination and Connection (Figure 4)
  - Easy Board Mounting
  - Molded Lens for Efficient Coupling
  - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Eska SH4001)



**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	$V_R$	100	Volts
Total Power Dissipation ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$ )	$P_D$	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-40 to +100	°C

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current ( $V_R = 20\text{ V}, R_L = 1\text{ M}\Omega, T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$ )	$I_D$	—	0.05 10	10	nA
Reverse Breakdown Voltage ( $I_R = 10\ \mu\text{A}$ )	$V_{(BR)R}$	50	100	—	Volts
Forward Voltage ( $I_F = 50\text{ mA}$ )	$V_F$	—	—	1.1	Volts
Series Resistance ( $I_F = 50\text{ mA}$ )	$R_s$	—	8	—	Ohms
Total Capacitance ( $V_R = 20\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$ )	$C_T$	—	3	—	pF

**OPTICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Responsivity ( $V_R = 5\text{ V}$ , Figure 2)	$R$	0.15	0.2	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Response Time ( $V_R = 5\text{ V}, R_L = 50\ \Omega$ )	$t_{(resp)}$	—	5	—	ns

# MFOD71

## FOD71

.CS FAMILY  
BER OPTICS  
TO DETECTOR  
IDE OUTPUT

USE 363B-01  
PLASTIC

	Unit
	Volts
	mW
	mW/°C
	°C

Max	Unit
10	nA
—	Volts
1.1	Volts
—	Ohms
—	pF

—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
—	ns

### TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

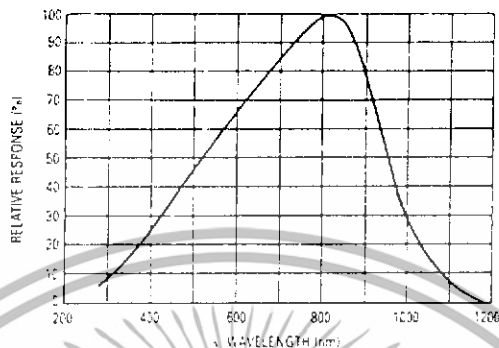


Figure 1. Relative Spectral Response

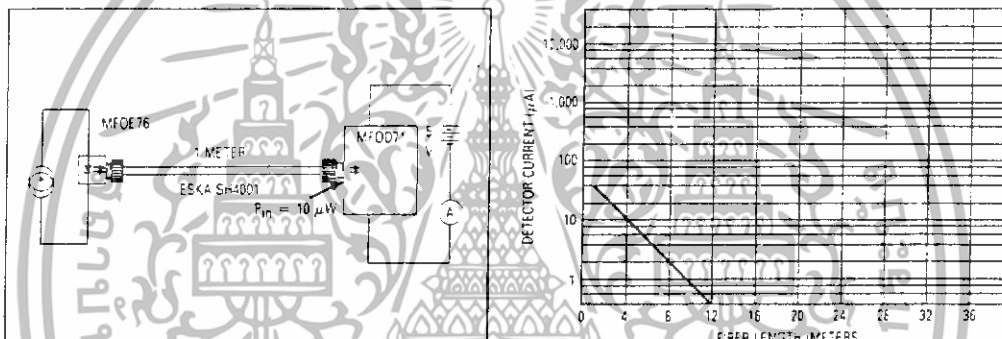


Figure 2. Responsivity Test Configuration

Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eska SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current ( $I_f$ ) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

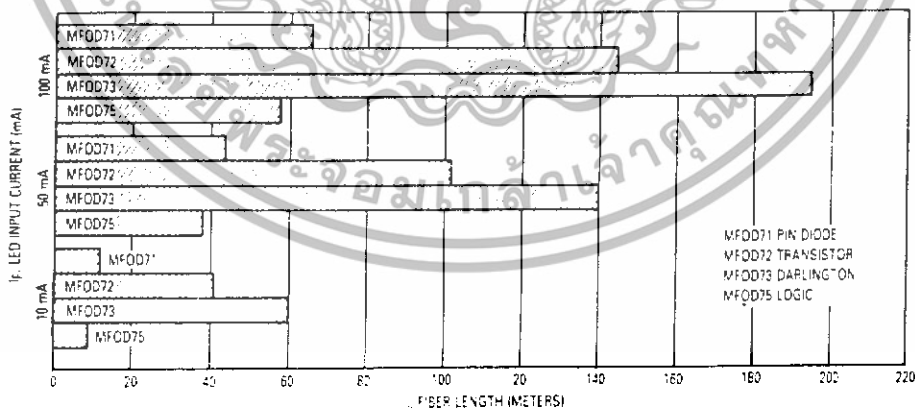


Figure 4. MFOE76 Working Distances

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MFOD71

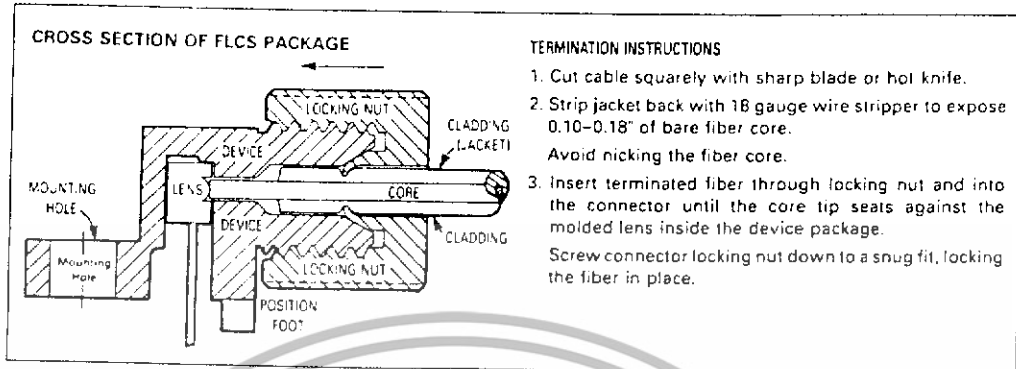


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

## INPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuits are suggested to provide the desired forward current through the emitter.

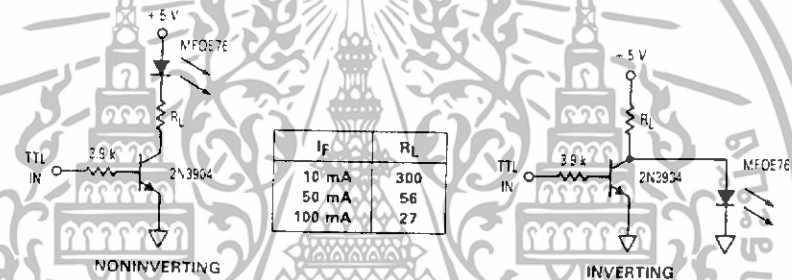
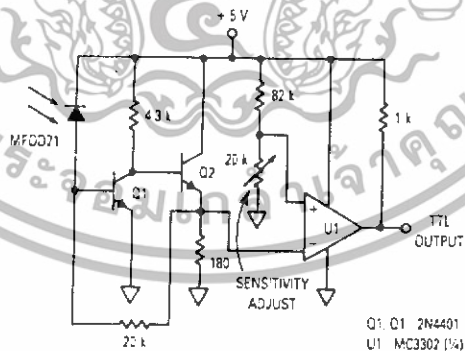


Figure 6. TTL Transmitters

## OUTPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuit is suggested to take the MFOD71 detector output and condition it to drive TTL with an acceptable bit error rate.



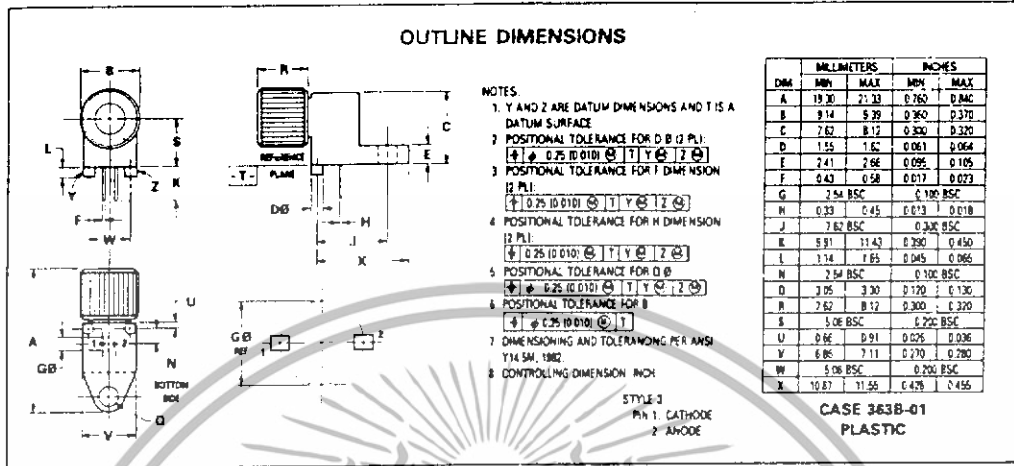
1 MHz PIN RECEIVER

Figure 7. TTL Receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

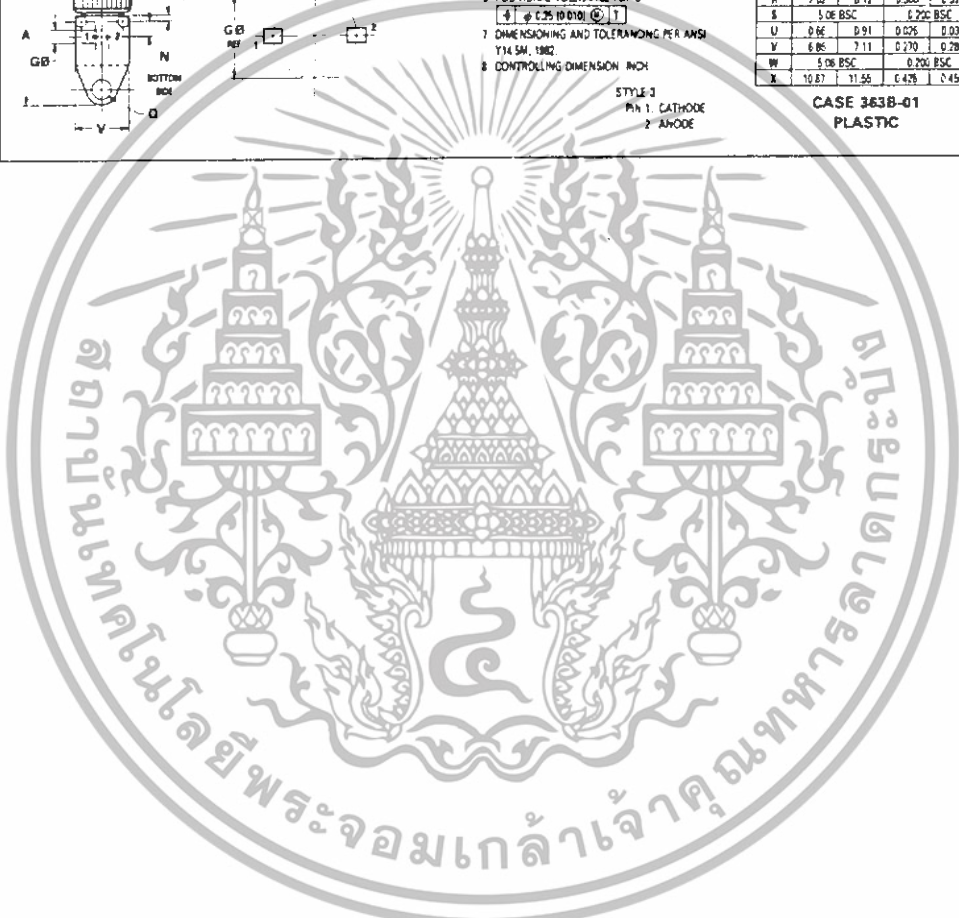
# MFOD71

hot knife.  
 pper to expose  
 g nut and into  
 ts against the  
 snug fit, locking



76

h an acceptable



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้