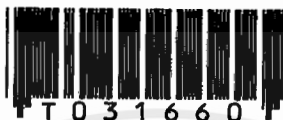


ชุดวัดความเร็วรอบโดยใช้เส้นใยนำแสง



นายชนพล
นายอนุสรณ์

อินทิยัง
ศรีอนันต์



T031660

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

1111

135

2540

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน...31660...

วัน, เดือน, ปี 19 ม.ค. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fiber - Optic Tachometer

Mr.Chanapon

Intiang

Mr.Anusorn

Srianan

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Physics
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ
โดย

ชุดวัดความเร็วรอบโดยใช้เส้นใยนำแสง
นายชนพล อินเที่ยง
นายอนุสรณ์ ศรีอนันต์

ภาควิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา

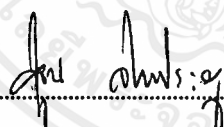
ฟิสิกส์ประยุกต์
ผศ. ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล
อ. สุน จ้างประยูร

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

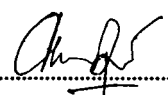

..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
(รศ. สุรพล รักวิชัย)

คณะกรรมการโครงการพิเศษ


..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล)


..... กรรมการ
(อ. สุน จ้างประยูร)


..... กรรมการ
(ดร. วิริยะ ชูปวีณ)


..... กรรมการ
(อ. สาหร่าย ฤทธิพงษ์)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

ชุดวัดความเร็วรอบ โดยใช้เส้นใยนำแสง

โดย

นายชนพล อินเที่ยง

นายอนุสรณ์ ศรีอนันต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

อ. สุน อ่างประยูร

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา

2540

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นเรื่องของการประยุกต์ใช้หลักการของแสงผ่านเข้าและออกจากเส้นใยนำแสงหนึ่งคู่ เพื่อใช้เป็นตัวตรวจวัดความเร็วรอบของชุดหมุนโดยระบบมีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ ส่วนวงจรภาคส่งสัญญาณแสงต่อเนื่อง ส่วนเส้นใยนำแสงคู่และส่วนวงจรภาครับสัญญาณแสง ในการนี้ตัวกำเนิดแสงคือ LED ซึ่งให้ลำแสงต่อเนื่องเข้าไปในเส้นใยนำแสงเส้นหนึ่งแล้วออกไปตกกระทบกับระนาบสะท้อนแสงขนาดเล็กที่ติดอยู่ตรงบริเวณขอบของชุดหมุนที่พิจารณา จากนั้นจะมีแสงสะท้อนส่วนหนึ่งผ่านกลับเข้าไปในเส้นใยนำแสงอีกเส้นหนึ่งซึ่งวางติดกับเส้นแรก โดยแสงที่สะท้อนเข้าไปจะมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ โดยมี Photodetector เป็นตัวแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นพัลส์ จากนั้นสัญญาณไฟฟ้านี้จะเข้าสู่วงจรนับแล้วไปแสดงผลออกทางภาคแสดงผล ซึ่งให้ค่าเป็นหน่วยความเร็วรอบต่อวินาที จากผลการทดสอบพบว่าระบบให้ค่าในการวัดได้ถูกต้องเทียบกับค่ามาตรฐานโดยมีค่า coefficient เท่ากับ 0.9936

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Fiber - Optic Tachometer
Name	Mr. Chanapon Intiang Mr. Anusorn Srianan
Special project Advisor	Assistant Professor Dr. Sirisak TECHATHAWEEKUL Ajan Soon Jangprayun
Department	Applied Physics
Academic	1997

Abstract

The purpose of this study is to build a Fiber - Optic tachometer making use of light coming from an optical fiber which is reflected at a small reflecting surface that is affixed on a considered rotator and then some part of light is transmitted, in the form of pulse train into another optical fiber which both are adjacent and in parallel. A Light - Emitting - Diode is used as the transmitter and a photodiode is used as the receiver that converts optical pulse into electrical pulse. The pulse signal is transferred into a counter circuit that connected to display circuit and then the result is display in the unit of round per second. It has been found that the system gives correct values compare with the standard values and its correlation coefficient (r) of this linear relationship is equal to 0.9936

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้จะไม่สำเร็จล่วงโดยสมบูรณ์ได้ ถ้าปราศจากความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีประสงค์ต่อโครงการพิเศษและข้าพเจ้าทั้งสอง บุคคลเหล่านี้มีดังนี้

ขอขอบพระคุณ

บิดา มารดา ผู้ให้ชีวิตและทุกสิ่งทุกอย่าง ที่ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี

ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล และ อ. สุน จ่างประยูร ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านคำแนะนำและสนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆ มาโดยตลอด

พี่สุรัช , พี่ศิริพงษ์ , พี่ลินดา , พี่อมร , พี่ธิปไตย , พี่อดิศักดิ์ , พี่จุฑพร ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้รู้จักว่าโครงการพิเศษคืออะไร

พี่กวี , พี่เสรี , พี่เศรษฐศักดิ์ ฯลฯ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการพิเศษนี้

คุณเจษฎา , คุณวรศักดิ์ , คุณฉัฐภูมิ , คุณฤกษ์นาวิ , คุณวรวิทย์ , คุณอนันต์ ฯลฯ ที่คอยเป็นกำลังใจให้ยามคิดค้นคำค้น

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ อีกหลายท่านที่มีประสงค์ดีต่อข้าพเจ้าทุกคนที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้

นายชนพล อินเทียง

นายอนุสรณ์ ศรีอนันต์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ	1
1.2 ประโยชน์ที่ได้รับ	1
บทที่ 2 ลักษณะพื้นฐานของแสง	
2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	2
2.2 แสงเป็นคลื่น	4
2.3 แสงเป็นอนุภาค	4
2.4 ความเร็วของแสง	5
2.5 การสะท้อนแบบลู่เข้าและลู่ออก	6
2.6 กฎของสเนลล์	8
2.7 เส้นโยนำแสง	8
2.8 นิวเมอริกอลออฟเพอเจอร์	10
2.9 การสะท้อนของเฟรสเนล	11
บทที่ 3 การสื่อสารด้วยเส้นโยนำแสง	
3.1 วิวัฒนาการของการสื่อสารด้วยแสง	12
3.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยแสง	14
3.3 เส้นโยนำแสง	14
3.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นโยนำแสง	14
3.3.2 การเคลื่อนที่ของแสงในเส้นโยนำแสง	15
3.3.3 การแตกกระจายของรูปสัญญาณจากเส้นโยนำแสง	18
3.3.4 ชนิดของเส้นโยนำแสง	19
3.4 ความสูญเสียของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยแสง	22
เอกสาร 3.5 แผนการส่งสัญญาณของเส้นโยนำแสงเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	23
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	

บทที่ 4 ระบบออปโตอิเล็กทรอนิกส์

4.1 แหล่งกำเนิดแสง	25
4.1.1 ช่วงทำงานของความยาวคลื่น	26
4.1.2 พลังงานและการเชื่อมต่อของแสง	27
4.1.3 แหล่งกำเนิดแสง LED	27
4.1.4 แหล่งกำเนิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์	31
4.1.4.1 การปล่อยแสงด้วยการกระตุ้น	31
4.1.4.2 Population Inversion	32
4.1.4.3 การจัดรูปลำของเลเซอร์	33
4.1.5 ความแตกต่างของแหล่งกำเนิด	34
4.1.6 ความยาวคลื่นของเลเซอร์ไดโอด	35
4.1.7 สเปกตรัมของเลเซอร์	35
4.1.8 Fiber Transmission windows	36
4.2 วงจรขับ	37
4.2.1 การออกแบบตัวส่งแสง	37
4.2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของตัวส่งแสง	37
4.2.3 การออกแบบตัวส่งแสงโดยใช้ LED อย่างง่าย	40
4.2.4 การออกแบบตัวส่งแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอดอย่างง่าย	41
4.3 อุปกรณ์รับแสง	42
4.3.1 พีเอ็นโฟโอดีไดโอด	43
4.3.2 พีไอเอ็นโฟโอดีไดโอด	45
4.3.3 อะวาแลนซ์โฟโอดีไดโอด	46
4.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	47
4.5 วงจรอุปกรณ์รับแสง	49
4.5.1 วงจรรับแสงแบบโฟโอดีไดโอด	50
4.5.2 วงจรรับแบบอะวาแลนซ์ไดโอด	50

บทที่ 5 หลักการและการออกแบบเครื่องมือ

5.1 โครงสร้างและการทำงานของชุดวัด	53
5.1.1 หลักการและแนวความคิดของวงจรส่งสัญญาณแสง	54
5.1.2 เส้นโยนาแสงที่ประยุกต์ใช้ทำชุดวัดความเร็วรอบ	54
5.1.3 แผ่นระนาบสะท้อน	55
5.1.4 หลักการและแนวความคิดของวงจรรับสัญญาณแสง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5	วงจรมับและส่วนแสดงผล	55
5.1.6	ชุดหมุนติดแถบสะท้อน	56
5.2	การกำหนดหน้าที่และความสามารถของวงจร	56
บทที่ 6 การสร้างชุดวัดความเร็วรอบ		
6.1	วงจรส่งสัญญาณแสง	57
6.2	วงจรรับสัญญาณแสง	58
6.2.1	วงจรรับสัญญาณแสง	58
6.2.2	วงจรขยายสัญญาณ	58
6.3	วงจรมับและส่วนแสดงผล	59
6.3.1	หลักการทำงานของวงจรมับและแสดงผล	62
6.4	ชุดหมุนติดแถบสะท้อนแสง	64
6.5	ลำดับการทำงานของวงจร	64
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา		
7.1	ลักษณะการวางอุปกรณ์	67
7.2	ผลการทดลอง	68
7.3	สรุปผลการทดลอง	70
7.4	ข้อผิดพลาด	71
7.4.1	วงจรส่งสัญญาณแสง	71
7.4.2	วงจรรับสัญญาณแสง	71
7.4.3	วงจรขยายสัญญาณ	71
7.4.4	ชุดหมุนติดแถบสะท้อนแสง	71
7.4.5	วงจรมับและส่วนแสดงผล	71
7.5	ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข	71
7.5.1	วงจรส่งสัญญาณแสง	71
7.5.2	วงจรรับสัญญาณแสง	71
7.5.3	วงจรขยายสัญญาณ	71
7.5.4	ชุดหมุนติดแถบสะท้อนแสง	71
7.5.5	วงจรมับและส่วนแสดงผล	71
ภาคผนวก ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์		
เอกสารอ้างอิง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงลักษณะการเดินทางของแสง	5
รูปที่ 2-2 แสดงแสงที่เกิดการหักเหและเกิดการสะท้อน	6
รูปที่ 2-3 (a) การสะท้อนแบบลู่เข้า , $n_1 < n_2$	7
(b) การสะท้อนแบบลู่ออก , $n_1 > n_2$	7
(c) การสะท้อนกลับหมด , $n_1 \gg n_2$	7
รูปที่ 2-4 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยนำแสง	9
รูปที่ 2-5 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง	9
รูปที่ 2-6 แสดง Acceptance Cones	9
รูปที่ 3-1 แสดงการทำงานของโฟโตโฟน	13
รูปที่ 3-2 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสง	14
รูปที่ 3-3 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสง	15
รูปที่ 3-4 แสดงการหักเหของแสง	16
รูปที่ 3-5 แสดงการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วตัน	17
รูปที่ 3-6 แสดงการเคลื่อนที่ของแสงภายในแท่งแก้ว	17
รูปที่ 3-7 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง	19
รูปที่ 3-8 แสดงดัชนีการหักเหแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันได	20
รูปที่ 3-9 แสดงดัชนีการหักเหแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน	21
รูปที่ 3-10 แสดงแนวทางของแสงในแกนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน	21
รูปที่ 3-11 แสดงการสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสง	23
รูปที่ 4-1 แสดงชื่อเรียกและชนิดต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	25
รูปที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความกว้างของสเปกตรัมของ LED และ เซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์	26
รูปที่ 4-3 แสดงการส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสู่เส้นใยนำแสง	27
รูปที่ 4-4 แสดงลักษณะการทำงานของ LED	28
รูปที่ 4-5 แสดงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำ	29
รูปที่ 4-6 แสดงลักษณะการส่งแสงของ LED	30
รูปที่ 4-7 แสดงการปล่อยแสงของ LED แบบ edge-emitter diode	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-8	แสดงไดอะแกรมของการปล่อยแสงแบบต่างๆ	32
รูปที่ 4-9	แสดงพื้นฐานการเกิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์	33
รูปที่ 4-10	แสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับกำลังของแสงที่ปล่อย	34
รูปที่ 4-11	แสดงFiber Optic transmission windows	36
รูปที่ 4-12	แสดงส่วนประกอบในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง	38
รูปที่ 4-13	แสดงส่วนเชื่อมต่อทางแสงของตัวส่ง	39
รูปที่ 4-14	แสดงวงจรขับอย่างง่ายสำหรับ LED Source	40
รูปที่ 4-15	แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบอนาล็อก	41
รูปที่ 4-16	แสดงวงจรขับเลเซอร์ไดโอดแบบดิจิทัล	42
รูปที่ 4-17	แสดงลักษณะของ Depletion Zone	43
รูปที่ 4-18	แสดงลักษณะของ PN photodiode	44
รูปที่ 4-19	แสดงโครงสร้างของ PIN photodiode	45
รูปที่ 4-20	แสดงสมบัติการดูดกลืนทางแสง	46
รูปที่ 4-21	แสดงโครงสร้างของอะวาแลนซ์โฟโอดีไดโอด	47
รูปที่ 4-22	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และกระแสโฟโอดี	48
รูปที่ 4-23	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสง	49
รูปที่ 4-24	แสดงวงจรรับแสงของ PIN และ PN photodiode	50
รูปที่ 4-25	แสดงบล็อกไดอะแกรม PIN-FET receiver circuit	50
รูปที่ 4-26	แสดงวงจรรับแบบอะวาแลนซ์โฟโอดีไดโอดอย่างง่าย	51
รูปที่ 5-1	แสดงลักษณะโครงสร้างของชุดวัดความเร็วรอบ	53
รูปที่ 5-2	แสดงลักษณะของสัญญาณแสงที่ปลายของเส้นใยนำแสง	54
รูปที่ 5-3	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรนับและแสดงผล	55
รูปที่ 6-1	แสดงวงจรขับแอลอีดีอินฟราเรด	57
รูปที่ 6-2	แสดงวงจรรับสัญญาณแสง	58
รูปที่ 6-3	แสดงวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสโดยใช้ออปแอมป์	59
รูปที่ 6-4	แสดงการใช้สัญญาณฐานเวลาเปิดเกททำให้ได้จำนวนพัลส์ตามค่าความถี่	59
รูปที่ 6-5	แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องวัดความถี่อย่างสมบูรณ์โดยไอซี 74C926	60
รูปที่ 6-6	แสดงแผนผังเวลาแสดงการทำงานของเครื่องวัดความถี่	61
รูปที่ 6-7	แสดงวงจรสมมุติของวงจรนับและส่วนแสดงผล	63
รูปที่ 6-8	แสดงลักษณะของชุดหมุน	64
รูปที่ 6-9	แสดงวงจรสมมุติของชุดวัดความเร็วรอบทั้งหมด	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-10 แสดงลักษณะภายในชุดวัดความเร็วรอบ	66
รูปที่ 6-11 แสดงลักษณะภายนอกชุดวัดความเร็วรอบ	66
รูปที่ 7-1 แสดงลักษณะการวางอุปกรณ์การทดลอง	67
รูปที่ 7-2 แสดงกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จาก Digital Tachometer มาตรฐาน กับ Fiber - Optic Tachometer	69
รูปที่ 7-3 แสดงลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการวัด	70



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงหน่วยของความดีและความชั่วคลืน	2
ตารางที่ 2-2 แสดงช่วงการทำงานของแต่ละความดี	3
ตารางที่ 2-3 แสดงคำดัชนีหักเหของวัตถุ	6
ตารางที่ 4-1 แสดงธาตุหมู่ที่ 3a และ 5a ที่มีความสำคัญ	28
ตารางที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	49
ตารางที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบตัวรับแสงชนิดต่างๆ	52
ตารางที่ 7-1 แสดงผลการทดลอง	68



บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากว่าในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางด้านเส้นใยนำแสงได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและกว้างขวาง ซึ่งการพัฒนาส่วนมากจะเข้าไปในด้านที่เกี่ยวกับการสื่อสารแต่ประโยชน์ของเส้นใยนำแสงมิได้มีเพียงแค่นี้เกี่ยวกับการสื่อสารเท่านั้น เส้นใยนำแสงยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นได้อีกมากและหนึ่งในประโยชน์นั้นก็คือ การนำเส้นใยนำแสงมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเป็นเครื่องมือต่างๆ ในโครงการพิเศษขึ้นนี้เป็นการนำเส้นใยนำแสงมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเป็นชุดวัดความเร็วรอบโดยใช้เส้นใยนำแสงเพื่อจะได้เรียนรู้และเข้าใจถึงการนำเส้นใยนำแสงมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเป็นเครื่องมือวัด และเพื่อทำการศึกษาเกี่ยวกับวงจรที่ใช้ทำเป็นชุดวัดความเร็วโดยใช้ร่วมกับเส้นใยนำแสงได้

1.1 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับเส้นใยนำแสง
2. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรไฟฟ้าที่สร้างขึ้นใช้ร่วมกับเส้นใยนำแสง
3. เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้เส้นใยนำแสงในการสร้างชุดวัดความเร็วรอบ

1.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทำให้เข้าใจหลักการทำงานและทฤษฎีของเส้นใยนำแสงได้
2. ทำให้เข้าใจการเชื่อมต่อวงจรภาคต่างๆที่ใช้ในชุดวัดความเร็วรอบและลำดับความสำคัญก่อนหลังของอุปกรณ์แต่ละชิ้น
3. ทำให้เข้าใจหลักการทำงานทั้งหมดของชุดวัดความเร็วรอบ
4. สามารถนำหลักการของชุดวัดความเร็วรอบนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่นๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ลักษณะพื้นฐานของแสง

ก่อนที่จะทำความเข้าใจกับเทคโนโลยีทางเส้นใยนำแสงนั้น เราจะต้องมีความเข้าใจในเรื่องของแสงให้ดียิ่งขึ้น

2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใช้อธิบายในเรื่องของแสงโดยแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง โดยถูกจัดแบ่งไว้ด้วยสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) ดังในตาราง 2-1 ซึ่งจะแสดงหน่วยของการวัดสำหรับ ความถี่ และ ความยาวคลื่น

	Frequency Designations	
10^{12} Hz	terahertz	THz
10^9 Hz	gigahertz	GHz
10^6 Hz	megahertz	MHz
10^3 Hz	kilohertz	kHz
	Wavelength Designations	
10^{-6} Hz	micrometer	μm
10^{-9} Hz	nanometer	nm
10^{-12} Hz	femtometer	fm

ตาราง 2-1 แสดงหน่วยของ ความถี่ และ ความยาวคลื่น

ช่วงการทำงานของความถี่ทั่วไปในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงจะถูกวัดในเทอมของความยาวคลื่นในช่วงนาโนเมตร (nm) หรือ (μm) ส่วนแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (Visible light) จะอยู่ในช่วงสเปกตรัมที่แคบคือ 380 (สีม่วง) ถึง 780 (สีแดง) นาโนเมตร ซึ่งการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงจะใช้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 800-1600 นาโนเมตร การเลือกช่วงของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสำหรับเส้นใยนำแสงนั้นแสงจะต้องมีความยาวคลื่นที่ทำให้มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านเส้นใยนำแสงมากที่สุด ตามปกติจะนิยมใช้กันอยู่ที่ 850,1300 หรือ 1550 นาโนเมตร

Subsonic	0-10 Hz
Sound	$15\text{-}2 \times 10^4$ Hz
Radio frequencies AM, FM, shortwave, television	$10^3\text{ - }10^9$ Hz
Microwaves	$10^9\text{ - }3 \times 10^{11}$ Hz
Infrared	$3 \times 10^{11}\text{ - }5 \times 10^{14}$ Hz
Visible light	$5 \times 10^{14}\text{ - }7.7 \times 10^{14}$ Hz
Red	384 - 482 THz
Orange	482 - 503 THz
Yellow	503 - 520 THz
Green	520 - 610 THz
Blue	610 - 659 THz
Violet	659 - 769 THz
Ultraviolet	$7.7 \times 10^{14}\text{ - }3 \times 10^{17}$ Hz
X-ray	$3 \times 10^{17}\text{ - }5 \times 10^{19}$ Hz
Gamma rays	$10^{19}\text{ - }10^{21}$ Hz
Cosmic rays	10^{22} Hz

ตาราง 2-2 แสดงช่วงการทำงานของแต่ละความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แสงเป็นคลื่น

แสงจะมีค่าความเร็วประมาณ 3×10^8 เมตร/วินาที หรือ 186,000 ไมล์/วินาที ในอากาศ แสงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกับคลื่นไมโครเวฟ หรือ ความถี่วิทยุอื่นๆ แต่จะมีความยาวคลื่นสั้นความถี่สูง ซึ่งใช้อธิบายเรื่องคลื่น คือ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน สนามไฟฟ้าจะมีผลต่อระบบการสื่อสารด้วยแสงมากกว่าสนามแม่เหล็ก โดยแสงจะกล่าวได้ว่าการโพลาไรซ์ในทิศทางกลับไปกลับมาของสนามไฟฟ้า ถ้าสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้ามีทิศไปตามแนวเชิงเส้น คลื่นแบบนี้จะถูกเรียกว่าเกิดโพลาไรซ์ ถ้ามีทิศไปตามแนววงกลมหรือวงรี คลื่นก็จะเกิดโพลาไรซ์เชิงวงกลมหรือวงรี ซึ่งโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดนั้นจะถูกนำไปใช้พิจารณาในการออกแบบเลนส์ของระบบเส้นใยนำแสง

ความยาวคลื่น คือ คลื่นไซน์ที่เคลื่อนที่ในทิศทาง z จุดบนคลื่นที่เคลื่อนไปได้ระยะทางหนึ่งในช่วงเวลา T โดยมีค่าความเร็วของแสงในอากาศคือ c (3×10^8 เมตร/วินาที) ค่าที่ได้ออกมาคือ ความยาวคลื่น แสดงให้เห็นได้ในรูป $T \times c$. คลื่นไซน์สามารถแสดงในรูปของค่าความถี่ โดยค่าเวลา T จะเป็นส่วนกลับกับค่าความถี่ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\lambda = T \times c$$

และ $T = 1 / f$

ดังนั้น $\lambda = c / f$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น

c คือ ความเร็วของแสง

f คือ ความถี่

2.3 แสงเป็นอนุภาค

แสงนอกจากจะเป็นคลื่นแล้วยังมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคด้วย ดังเช่นที่รู้จักกันคือโฟตอน โฟตอนถูกอธิบายได้ด้วยค่าความถี่ของคลื่นกับระดับพลังงานสูงและความถี่สูง ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงการทำงานของ LED (light emitting diode) เมื่อ LED ให้แสงออกมาอิเล็กตรอนในไดโอดจะทำให้พลังงานที่จะทำให้เกิดโฟตอนอิเล็กตรอนใน LED จะกระโดดข้ามไปยังระดับพลังงานที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้เกิดความยาวคลื่นที่แตกต่างกันแม้ว่าแสงจะมาจาก LED ชนิดเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามแลเซอร์ให้แสงออกมาอิเล็กตรอนทั้งหมดจะกระโดดข้ามไปยังระดับพลังงานที่ใกล้เคียงกันและจะมีค่าความยาวคลื่นค่าเดียว พลังงานโฟตอน 1 ตัวจะมีค่าดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (\text{จูลส์})$$

พลังงานของโฟตอนไม่สำคัญมากเท่ากับจำนวนของโฟตอน (N) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดค่าของ N แสดงให้เห็นถึงจำนวนโฟตอนที่ผ่านเข้าไปในเส้นใยนำแสง สมการที่ได้จะเป็นดังนี้

$$N = \frac{E \cdot \lambda}{h \cdot c}$$

โดยที่

N คือ จำนวนของโฟตอน

E คือ พลังงานของโฟตอน (จูลส์)

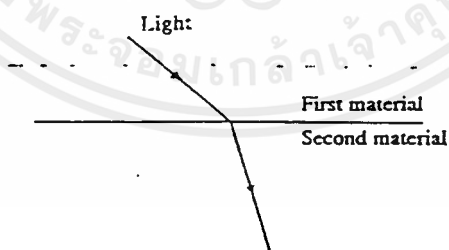
λ คือ ความยาวคลื่น

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (จูลส์-วินาที)

c คือ ความเร็วของแสง (เมตร/วินาที)

2.3 ความเร็วของแสง

แสงจะมีค่าความเร็ว 3×10^8 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าในสุญญากาศแต่ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่ตัวกลางอีกชนิดหนึ่งมันจะเกิดการเปลี่ยนความเร็วและเกิดการหักเห ดังในรูป



รูปที่ 2-1 แสดงลักษณะการเดินทางของแสง

องค์ประกอบที่ทำให้แสงเกิดการเปลี่ยนค่าความเร็วก็คือ ค่าดัชนีหักเห หรือ ดัชนีของการหักเห ค่าดัชนีของการหักเห (n) ของตัวกลางสามารถอธิบายได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างค่าความเร็วแสงในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(c)กับค่าความเร็วแสงในตัวกลางอีกชนิดหนึ่ง(v) โดยค่าดัชนีหักเหมักจะมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งแปรค่าไปตามช่วงสีของแสง ถ้ามีความยาวคลื่นสั้นจะมีค่าดัชนีการหักเหสูง ค่าดัชนีหักเหเป็นไปได้ตามสมการ

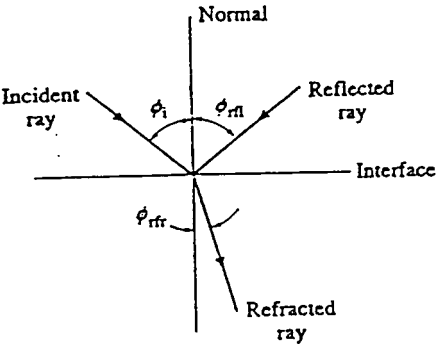
$$n = \frac{c}{v}$$

วัตถุ	ดัชนีหักเห (n)	ความเร็วแสงในวัตถุ v (x 10 ⁶ m/s)
สุญญากาศ	1.000	300
อากาศ	1.0003	299.9
น้ำ	1.33	225.56
แก้ว	1.46 - 1.96	205.48 - 153
เพชร	2.42	123.97
ซิลิกอน	3.4	88.23
แกเลียมอาร์เซไนด์	3.6	83.33

ตาราง 2-3 แสดงค่าดัชนีหักเหของวัตถุ

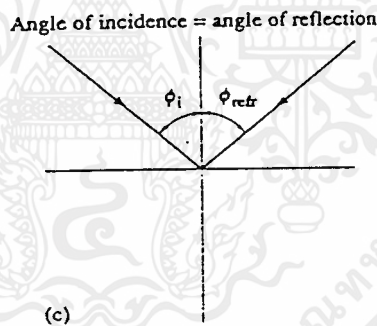
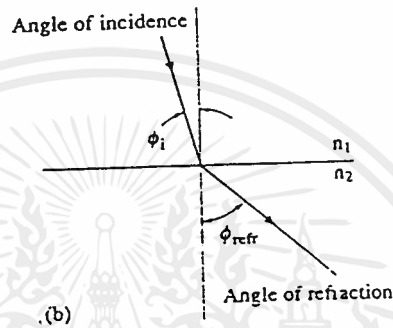
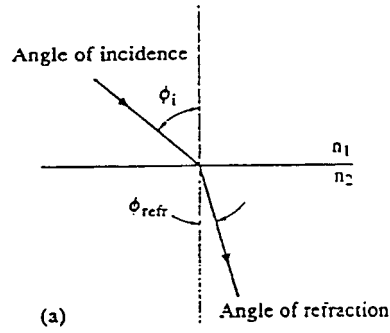
2.5 การสะท้อนแบบอู่เข้าและอู่ออก

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางจากอากาศไปยังตัวกลางอีกชนิดหนึ่งจะเกิดการหักเหเกิดขึ้น นอกจากนั้นจะมีบางส่วนที่สะท้อนกลับไปในทิศทางเดียวกันกับที่แสงตกกระทบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของมุมที่แสงตกกระทบด้วย ดังรูป



รูปที่ 2-2 แสดงแสงที่เกิดการหักเหและเกิดการสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-3 (a) การสะท้อนแบบสู่เข้า, $n_1 < n_2$

(b) การสะท้อนแบบสู่ออก, $n_1 > n_2$

(c) การสะท้อนกลับหมด, $n_1 \gg n_2$

เมื่อแสงผ่านตัวกลางตัวหนึ่งที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าตัวกลางตัวที่สอง ถ้าหักเหของแสงจะสู่เข้าสู่เส้นปกติเรียกว่า การสะท้อนภายใน แต่ถ้าค่าของมุมตกกระทบเพิ่มขึ้นและมุมของการสะท้อนมีค่าเข้าสู่ 90 องศา แสงจะไม่ผ่านเข้าสู่ตัวกลางตัวที่สองโดยจะเกิดสะท้อนกลับไปที่บริเวณผิวหน้าเราเรียกมุมนี้ว่า มุมวิกฤต (critical angle) ถ้าค่ามุมตกกระทบเพิ่มขึ้นจนมากกว่าค่ามุมวิกฤตจะเกิดการสะท้อนกลับหมดที่บริเวณผิวหน้าทั้งหมดโดยไม่ผ่านเข้าไปสู่ตัวกลางตัวที่สองเลย มุมระหว่างแสงที่ตกกระทบกับเส้นปกติเรียกว่า มุมของการสะท้อน โดยมุมของการสะท้อนจะเท่ากับมุมตกกระทบเมื่อมุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 กฎของสเนลล์

กฎของสภาวะการหักเหเมื่อค่าของมุมตกกระทบมีค่าไม่เท่ากับมุมสะท้อน แสงจะเกิดการหักเหขึ้นในตัวกลางที่สองโดยค่าของมุมตกกระทบจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของมุมวิกฤต ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของตัวกลางตัวที่หนึ่งและตัวกลางตัวที่สอง คือ n_1 และ n_2 ส่วนค่าของมุมการตกกระทบและการสะท้อน คือ θ_1 และ θ_2 โดยอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

กฎของสเนลล์เป็นเรื่องที่สำคัญเรื่องหนึ่งในเรื่องเส้นใยนำแสง ถูกใช้เป็นทฤษฎีที่อธิบายการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง โดยการที่แสงเดินทางไปในเส้นใยนำแสงค่าของมุมการตกกระทบจะมากกว่าค่าของมุมวิกฤต มุมวิกฤตที่เกิดขึ้นเมื่อมุมของการตกกระทบจากรังสีการส่งผ่านจะเกิดการสะท้อนไปตามผิวของรอยต่อได้ดีกว่ามุมของการตกกระทบจากรังสีที่เข้ามา จากกฎของสเนลล์เมื่อกำหนดให้ $\theta_1 = \theta_c$ เมื่อ θ_2 มีค่าเท่ากับ 90° องศา และ $\sin \theta_2 = 1$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

หรือ

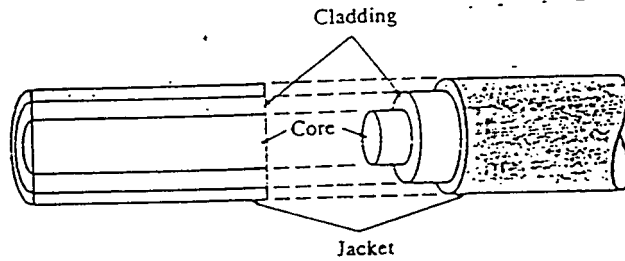
$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

สำหรับกรณีที่ $\theta = 90^\circ - \theta_c$ สำหรับค่าของมุมที่น้อยกว่ามุมวิกฤต ผลรวมของการสะท้อนภายในจะถูกนำไปแทน ดังนั้นถ้าทราบค่ามุมวิกฤตก็จะทราบค่าอัตราส่วนของการหักเหซึ่ง เป็นค่าที่จะนำไปใช้ตัดสินใจในการออกแบบชนิดของวัสดุที่ใช้ทำคอร์ (core) หรือ แคลดดิง (cladding)

2.7 เส้นใยนำแสง

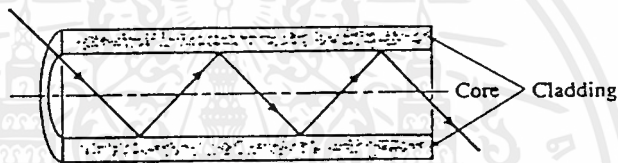
ในสภาวะเริ่มต้นแสงจะปฏิบัติตัวเป็นเหมือนรังสี โดยมีการแพร่กระจายไปตามคลื่นตัวนำและมีการจำกัดขอบเขตทางฟิสิกส์แสงบางส่วนจะเคลื่อนไปตามแนวเส้นมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงของคลื่นตัวนำเหมือนกับการสะท้อน รังสีบางส่วนจะเกิดการสูญเสียในคลื่นตัวนำแต่ส่วนที่เหลือก็จะเกิดการสะท้อนต่อไป ดังในรูป 2-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



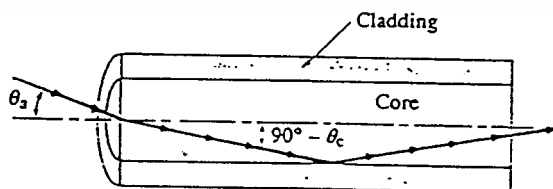
รูปที่ 2-4 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยนำแสง

สายตัวนำจะประกอบไปด้วยชั้น 2 ชั้นที่เป็นแก้วหรือพลาสติก โดยชั้นในหรือคอร์เป็นส่วนที่แสงมีการเคลื่อนที่มีค่าดัชนีหักเห คือ n_1 และรอบๆคอร์จะหุ้มด้วยชั้นที่เรียกว่า แคลดดิง มีค่าดัชนีหักเห คือ n_2 และชั้นทั้งสองจะมีสารที่เป็นตัวหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ค่าดัชนีหักเหของคอร์จะมีค่าสูงกว่าของแคลดดิงซึ่งผลรวมการสะท้อนภายในจะเกิดขึ้นเมื่อ $n_{\text{core}} > n_{\text{cladding}}$ ดังในรูป 2-5



รูปที่ 2-5 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง

แสงจะถูกส่งผ่านเข้าไปในคอร์ด้วยมุมตกกระทบที่มากกว่ามุมวิกฤตจะเกิดการชนกลับ ไปกลับมาที่บริเวณรอยต่อของคอร์กับแคลดดิง จากกฎของสเนลล์เมื่อมุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤตแสงทั้งหมดจะเกิดการสะท้อนเมื่อมุมของการตกกระทบเท่ากับมุมของการสะท้อนแสงจะเคลื่อน ที่ไปตลอดตามเส้นใยนำแสงด้วยผลรวมการสะท้อนภายใน ทุกลำแสงที่ชนกลับ ไปกลับมาที่บริเวณรอยต่อที่มีค่ามุมตกกระทบน้อยกว่ามุมวิกฤตแสงจะไม่สะท้อนกลับไปยังแนวขอบเขตจะถูกดูดกลืนหรือสูญเสียไปในแคลดดิงเรียกว่า acceptance cone ดังในรูป 2-6



รูปที่ 2-6 แสดง Acceptance Cones

ซึ่งส่วนใหญ่จะเคลื่อนไปตามเส้นใยนำแสงเพื่อรับและแพร่กระจายแสงจาก LED ซึ่งมีสนามของแสงขนาดใหญ่ ปัญหาที่เกิดจากการกระจัดกระจายของแสงหรือการกระจายของพัลส์เป็นผลมาจากการผลิตเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยนำแสงส่วน acceptance cone ที่แคบต้องการแหล่งกำเนิดแสงดังเช่นเลเซอร์ การรับลำรังสีของเส้นใยนำแสงสามารถบ่งบอกได้ด้วยค่าความแตกต่างของการหักเห ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกเรียกว่าค่าดัชนีหักเหการสะท้อน อธิบายได้ดังสมการ

$$\Delta = \frac{n_{core} - n_{cladding}}{n_{core}}$$

จากสมการใช้สำหรับค่ามุมวิกฤต ถ้ามีค่ามุนน้อยกว่า $90^\circ - \theta_c$ จะถูกนำหรือผ่านเข้าไปในคอร์แสงที่ผ่านเข้าไปในคอร์บางส่วนอาจจะผ่านเข้ามาจากภายนอก ค่าของมุมที่แสงเข้ามาจากภายนอกระหว่างลำแสงกับแกนเส้นใยนำแสงสามารถเขียนออกมาได้โดยใช้กฎของการหักเห

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin(90^\circ - \theta_c)} = \frac{n_2}{n_1}$$

เมื่อกำหนดค่าดัชนีหักเหของอากาศเป็น 1 และ n_1 มีค่าเท่ากับ 1 จะได้ว่า

$$\sin \Theta = n_2 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c}$$

จากสมการข้างบนและจากสมการมุมวิกฤต จะได้ค่ามุม acceptance Θ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงสารที่ผ่านเข้ามาในคอร์และยังคงทำให้เกิดการนำในคลื่นตัวนำได้

$$\sin \Theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

เมื่อ

n_1 คือ ค่าดัชนีหักเหของคอร์

n_2 คือ ค่าดัชนีหักเหของแคลคดิง

2.8 นิยามของ NA

ค่านิยามของ NA (NA) คือค่าทางตัวเลขที่แสดงถึงขีดขั้นความสามารถของการรับแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสง มีสมการทั่วไปเป็นดังนี้

$$NA = \sin \Theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

ค่า NA มักจะมีค่าน้อยกว่า 1

2.9 การสะท้อนของเฟรสนเนล

แสงที่ผ่านมาจากค่าดัชนีหักเหของตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่ง จะมีบางส่วนของแสงจะสะท้อนกลับไปเรียกว่า การสะท้อนเฟรสนเนล สามารถอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

เมื่อ

n_1 คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1

n_2 คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2

ค่าสูญเสียสามารถคำนวณออกมาได้ในรูปของหน่วยเดซิเบล (dB) ดังนี้

$$dB = 10 \log_{10} (1 - \rho)$$

บทที่ 3

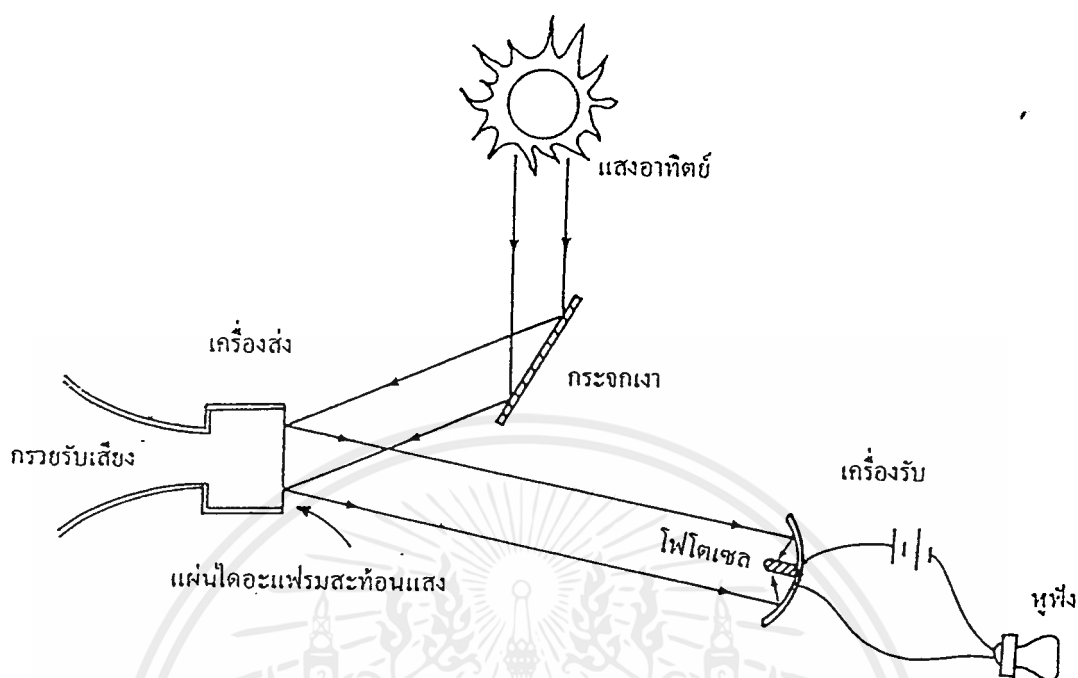
การสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

การสื่อสารยุคใหม่ที่กำลังมีวิวัฒนาการก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมากในปัจจุบันคงได้แก่การสื่อสารด้วยแสง ทั้งนี้เพราะระบบการสื่อสารด้วยแสงที่เราสามารถควบคุมสถานภาพแวดล้อมได้นั้นจะมีข้อได้เปรียบเหนือการสื่อสารที่ใช้สัญญาณไฟฟ้าอยู่หลายประการจึงทำให้เกิดการค้นคว้าและพัฒนาเกี่ยวกับระบบการสื่อสารนี้อย่างต่อเนื่องและจริงจัง สถานภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของการสื่อสารด้วยแสงมากที่สุดนั่นก็คือ สถานภาพของตัวกลางที่ใช้สำหรับให้แสงเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ สิ่งที่เหมาะใช้เป็นตัวกลางสำหรับการสื่อสารระบบนี้ ได้แก่ เส้นใยนำแสงเพราะฉะนั้นเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงเส้นใยนำแสงเป็นหลัก

3.1 วิวัฒนาการของการสื่อสารด้วยแสง

แม้ว่าจะมีการบันทึกจากชนชาติกรีกโบราณ ที่กล่าวถึงเรื่องราวเกี่ยวกับแสงที่สามารถเดินทางไปตามสายน้ำที่ไหลอยู่ในท่อระบายน้ำซึ่งคาดเดาก็คตาม แต่ก็ดูเหมือนว่า มิได้มีใครที่จะใส่ใจในเรื่องนี้อย่างจริงจังเลย จนกระทั่งในปี 1870 จอห์น ทิดัล (John Tydal) ได้ทำการทดลองให้เห็นว่า แสงนั้นสามารถเดินทางตามสายน้ำที่ถูกเทออกจากภาชนะที่มีแสงสว่างส่องอยู่ภายในได้และกล่าวกันว่า บันทึกเรื่องราวต่างๆ เหล่านี้คือ ต้นเหตุที่มาของการคิดค้นเกี่ยวกับเส้นใยนำแสงในปัจจุบันเมื่อไม่นาน กระทั่งที่ใช้ในการสะท้อนแสงอาทิตย์หรือการสื่อสารแบบโบราณแล้ว สิ่งประดิษฐ์ชิ้นแรกที่เกี่ยวข้องกับระบบการสื่อสารด้วยแสงก็จะเป็นโฟโตโฟน (Photo phone) ของ อเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบล (Alexander Graham Bel) ซึ่งได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี 1880 ส่วนประกอบนั้นมีแสดงในรูปที่ 3-1 การทำงานของโฟโตโฟนนี้อธิบายได้ง่ายดังนี้ คือ เมื่อมีเสียงพูดเข้าไปในกรวยรับเสียง เสียงจะทำให้แผ่นไดอะแฟรม (diaphram) ซึ่งสะท้อนแสงที่ติดอยู่กับกรวยรับรับเสียงนั้นสั่นเป็นเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแสงที่สะท้อนออกมาจากแผ่นไดอะแฟรมนั้น ดังนั้นแสงที่ถูกสะท้อนนี้จะพุ่งไปยังเครื่องรับซึ่งมีโฟโตเซลล์ (photo cell) เป็นตัวรับแสงและเป็นตัวควบคุมการไหลของไฟฟ้าในวงจรที่มีดังแสดงไว้ในรูป เพราะฉะนั้นโฟโตโฟนจึงสามารถที่จะส่งข่าวสารที่เป็นเสียงได้โดยใช้แสงเป็นตัวพาห้จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากสถานภาพของสิ่งแวดล้อมต่างๆ มีอิทธิพล ต่อการส่งสัญญาณในระบบนี้มาก จึงทำให้ระยะการใช้งานของโฟโตโฟนนี้นั้นสั้นมากคือเพียงประมาณ 200 เมตร เท่านั้น เลยทำให้ไม่มีบทบาทเท่าใดนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



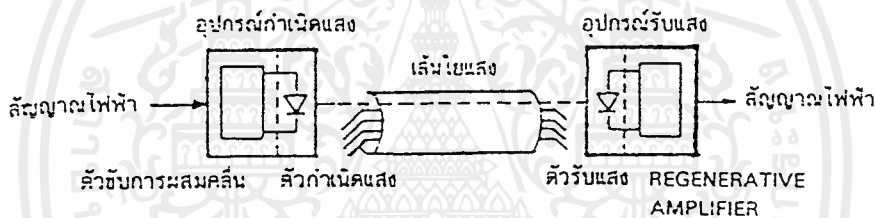
รูปที่ 3-1 แสดงการทำงานของโฟโตโฟน

แม้ว่าในปี 1960 Dr. Theodore Maiman จะสามารถคิดค้นวิธีผลิตแสงเลเซอร์ออกมาได้ เป็นผลสำเร็จก็ตาม แต่แสงเลเซอร์ที่ผลิตออกมาด้วยวิธีการนี้ก็ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการสื่อสาร จนกระทั่งปี 1970 จึงได้มีการผลิตเลเซอร์ไดโอดซึ่งสามารถใช้เป็นตัวผลิตสัญญาณเพื่อการสื่อสารขึ้นได้ สำเร็จ และได้ใช้ทำการสื่อสารร่วมกับสายใยนำแสงขึ้นได้เป็นครั้งแรก อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของเลเซอร์ ไดโอดและสายใยนำแสงในสมัยนั้น เมื่อคิดเปรียบเทียบกับข้อดีข้อเสียในการสื่อสารในระบบไฟฟ้าที่มีอยู่ก็ ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานจริง อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ในครั้งนั้นได้เกิดแรงคล้อยใจอันยิ่งใหญ่ที่ทำให้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารด้วยแสงขึ้นมาอย่างจริงจัง ประเด็นสำคัญในการพัฒนานี้คือ ความ ต้องการที่จะลดค่าความลดทอนในเส้นใยนำแสงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้จนบัดนี้นับว่าการ พัฒนาได้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก โดยพิจารณาจากปี 1970 ค่าความลดทอนของสัญญาณในเส้น ใยนำแสงมีค่ามากถึง 20 dB / กิโลเมตร แต่ในปัจจุบันการลดทอนของสายใยนำแสงนั้นได้รับการปรับ ประปรุงให้มีค่าลดลงเหลือเพียงประมาณ 0.2 dB/ กิโลเมตร เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยแสง

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง แสดงดังรูป 3-2 โดยทั่วไปแล้วสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งจากอุปกรณ์ปลาย (Terminal equipment) ต่างๆ เช่น โทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูล (data terminal) โทรสาร (Facsimile) เป็นต้น จะถูกอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง (E/O convertor) เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแสง (นั่นคือความแรงของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นความเข้มของแสงหรือ “1” “0” ของสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นแสงที่สว่าง และมืด) และส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง สัญญาณที่เดินทางในเส้นใยนำแสงนั้นกำลังของมันจะอ่อนลง เมื่อเดินทางในระยะทางที่เพิ่มขึ้นพร้อมทั้งรูปคลื่นก็ขยายกว้าง (Spreading) ออกไปด้วย เมื่อไปถึงอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า (O/E converter) ของทางด้านรับสัญญาณ แสงที่ส่งมาจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งไปยังอุปกรณ์ปลาย เพื่อทำการเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณของ โทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูล โทรภาพ และอื่นๆ



รูปที่ 3-2 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยแสง

หนึ่ง อุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงนั้นทำได้ โดยใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงได้แก่ LED หรือ Semiconductor laser ส่วนอุปกรณ์เปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้านั้นทำได้โดยใช้ไดโอดแสง (Photo diode) , ทรานซิสเตอร์แสง (Photo transistor) นอกจากนี้กรณีที่ระยะทางของสายส่งยาวอาจจำเป็นต้องติดตั้งตัวทวนสัญญาณ (repeater) ณ. ตำแหน่งที่เหมาะสม ตัวทวนสัญญาณนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงที่เข้ามาให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการขยายแล้วเปลี่ยนกลับให้เป็นสัญญาณแสงอีกและส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง ในช่วงต่อไป

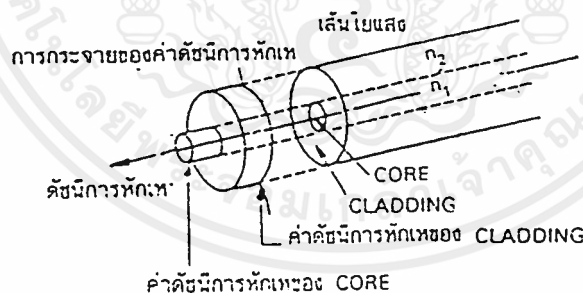
3.3 เส้นใยนำแสง

3.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วเส้นใยนำแสงเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่ทำจากแก้ว สิ่งที่เราพบเห็นบ่อยๆ คือ เส้นใยที่ใช้ในการนำแสงของดอกไม้เรืองแสงสำหรับตั้งประดับเพื่อความสวยงามที่มีขายตามห้างสรรพสินค้าทั่วไป โดยการป้อนแสงสีแดง สีเหลือง สีเขียวเข้าไปที่ปลายข้างหนึ่งของเส้นใยนำแสง และเราจะมองเห็นแสงออกมาจากปลายอีกข้างหนึ่งของเส้นใยนำแสงนี้ได้

โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยนำแสงประกอบด้วยสารไดอิเล็กตริก 2 ชนิดที่มีค่าดัชนีหักเหไม่เท่ากัน โดยสารไดอิเล็กตริกที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่ำจะเป็นส่วนที่ห่อหุ้มส่วนที่อยู่ตรงกลาง ส่วนตรงกลางนั้นมีค่าดัชนีหักเหของแสงสูงเรียกว่า คออร์ และส่วนหุ้มด้านนอกที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่ำกว่าเรียกว่า แคลดดิง ยกตัวอย่างเช่น ที่คออร์ของเส้นใยนำแสง มีค่าดัชนีหักเหของแสงคงที่ แต่ค่าดัชนีหักเหของ คออร์ กับ แคลดดิง เปลี่ยนแปลงในลักษณะของขั้นบันได เส้นใยนำแสงแบบนี้เรียกว่า Step-index Optical Fiber ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูป 3-3 เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของคออร์และเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิงจะมีค่าต่างกันตามชนิดของเส้นใยนำแสง สำหรับเส้นใยนำแสงแบบ Multimode นั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของ คออร์ มีค่า 40~100 μm ส่วนเส้นใยนำแสงแบบ Single mode นั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของคออร์มีค่า 5~15 μm สำหรับส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของแคลดดิง นั้น กำหนดให้มีค่าเหมือนกันหมดไม่ว่าจะเป็นเส้นใยนำแสงชนิดไหนโดยมีค่า 100~200 μm นอกจากนั้นค่าดัชนีหักเหของคออร์จะมีค่ามากกว่าค่าดัชนีหักเหของแคลดดิง โดยที่เส้นใยนำแสงแบบ Multimode จะมีค่า 1~5% แต่ถ้าเป็นเส้นใยนำแสงแบบ Single mode จะมีค่า 0.1~0.5% มากกว่าค่าดัชนีหักเหของแคลดดิง เป็นต้น



รูปที่ 3-3 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยแสง

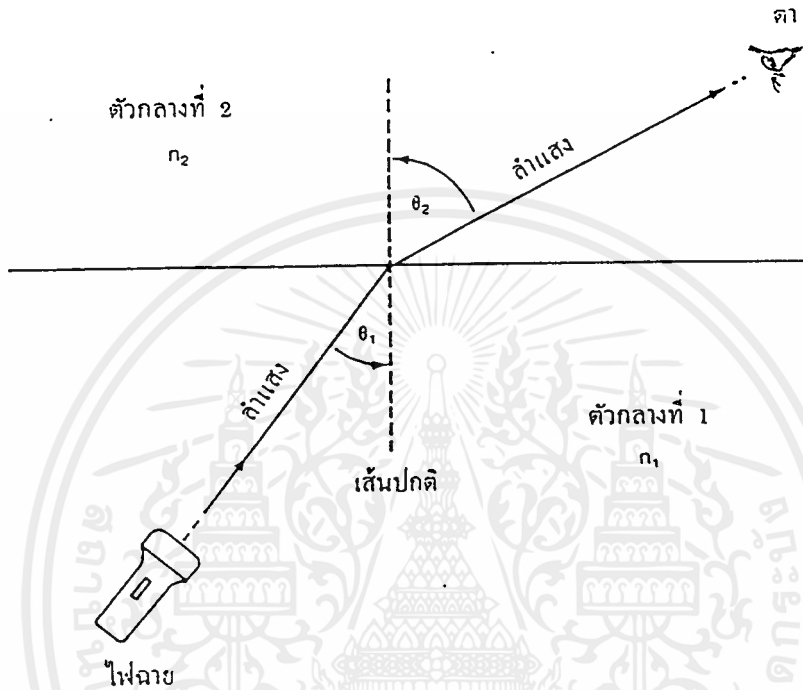
3.3.2 การเคลื่อนที่ของแสงในเส้นใยนำแสง

ดังเป็นที่ทราบกันคืออยู่แล้วว่า เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง 2 ชนิดที่มีค่าดัชนีหักเห (Light reflective index) ต่างกันแล้ว ก็จะมีการหักเหของแสงเกิดขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของสเนลล์ (Snell's Law) คือ

$$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = n_2/n_1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ในที่นี้ n_1 และ n_2 คือ ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ตามลำดับ ส่วน θ_1 และ θ_2 คือค่าของมุมที่ลำแสงทำกับเส้นปกติ (normal line) บนผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง ดังแสดงในรูป 3-4

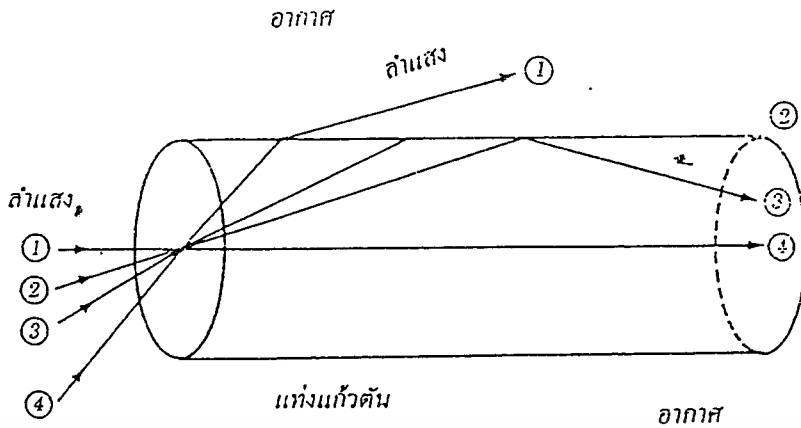


รูปที่ 3-4 แสดงการหักเหของแสง

ดังนั้นเมื่อมีการฉายแสงเข้าสู่แท่งแก้วตันที่วางอยู่ในอากาศด้วยค่ามุมตกกระทบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-5 แล้วเราจะพบว่าเนื่องจากมุมตกกระทบของลำแสงที่หนึ่งมีขนาดเล็กดังนั้นลำแสงนี้จึงเดินทางหักเหทะลุผ่านแท่งแก้วออกไปได้ เมื่อมุมตกกระทบของลำแสงนั้นโตขึ้นเรื่อย ๆ แล้ว ก็ย่อมที่จะมีค่ามุมตกกระทบอยู่มุมหนึ่งที่ทำให้แสงนั้นเกิดการหักเหไปในแนวที่ขนานไปกับผนังของแท่งแก้วนั้นพอดี ซึ่งเรียกมุมตกกระทบที่สามารถทำให้แสงเดินทางขนานไปกับแท่งแก้วได้นั้น เรียกว่า มุมรับแสงสูงสุด ($\theta_{\max}$) ดังเช่นการเดินทางของลำแสงที่ 2 ค่ามุมตกกระทบของลำแสงดังกล่าวมีชื่อว่า มุมวิกฤต (critical angle) โดยค่าของมุมวิกฤตนี้สามารถหาได้จากสมการ

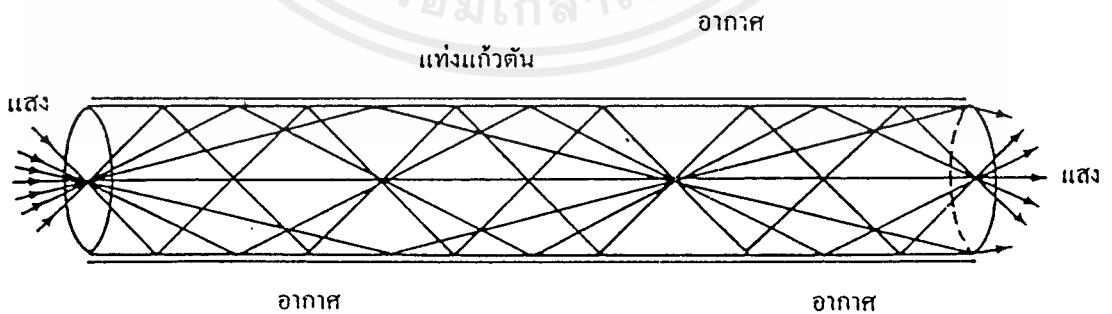
$$\theta_{\max} = \sin^{-1} [(n_1/n_2)\sin\theta_c] \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\theta_c = \cos^{-1} (n_2/n_1) \quad \dots\dots\dots(3)$$



รูปที่ 3-5 แสดงการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วตัน

ดังที่เราทราบกันดีอยู่แล้วว่า เมื่อมุมตกกระทบของลำแสงโตขึ้นเกินกว่ามุมวิกฤตดัชนีของลำแสงที่ 3 นั้น ลำแสงนี้ก็จะไม่สามารถหักเหออกไปจากแท่งแก้วได้ และจะเกิดการสะท้อนกลับของลำแสงนั้นกลับไปในแท่งแก้วนั้นอีก และถ้าแท่งแก้วนี้ยาวมากลำแสงนี้ก็จะสะท้อนกลับไปกลับมาอยู่ในแท่งแก้ว นี้เรื่อยไป ดังแสดงในรูปที่ 3-6 โดยการสะท้อนของแสงในลักษณะนี้เรียกว่าการสะท้อนกลับหมด ลักษณะเช่นนี้เอง ทำให้แสงสามารถเดินทางจากปลายข้างหนึ่งไปยังปลายอีกข้างหนึ่งของแท่งแก้วนั้นได้ ในทำนองเดียวกัน ลักษณะการเคลื่อนที่ของแสงในเส้นใยนำแสงนั้นก็เช่นเช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของแสงตามรูปที่ 3-6 นี้เอง เพราะแกนของเส้นใยนำแสงซึ่งใช้เพื่อเป็นทางเดินของสัญญาณแสงนั้น ก็มีลักษณะโครงสร้างเหมือนกับแท่งแก้วทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กๆ มากเท่านั้น



รูปที่ 3-6 แสดงการเคลื่อนที่ของแสงภายในแท่งแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การแตกกระจายของรูปสัญญาณจากเส้นใยนำแสง

จากรูปที่ 3-5 เราจะพบว่า เพราะแท่งแก้วนั้นมีขนาดใหญ่ ดังนั้นแนวของลำแสงที่มีมุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤตก็ย่อมมีได้หลายแนว จึงทำให้แนวการเดินทางของลำแสงที่สะท้อนไปมาระหว่างผนังของแท่งแก้วนี้เกิดขึ้นได้หลายแนวด้วยกัน ฉะนั้นจึงเป็นการแน่นอนว่าแสงที่เดินทางไปในแต่ละแนวทางนี้ย่อมจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านจากปลายข้างหนึ่งของแท่งแก้วไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่งนั้นจะไม่เท่ากัน ดังนั้นถ้าลำแสงแต่ละลำแสงที่เคลื่อนที่ผ่านแท่งแก้วนี้ทำหน้าที่เป็นคลื่นพาห้ของสัญญาณเดียวกันอยู่แล้ว สัญญาณนั้นก็จะต้องเดินทางไปถึงปลายอีกข้างหนึ่งของแท่งแก้วได้ไม่พร้อมกัน จึงเป็นเหตุให้สัญญาณผลลัพธ์ที่เกิดจากผลรวมของสัญญาณจากลำแสงแต่ละลำนั้นเกิดการกระจัดกระจายตัวอย่างเช่น ถ้าลักษณะของสัญญาณที่มีอยู่ก่อนหน้านั้นเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมแคบๆ สัญญาณผลลัพธ์ก็อาจจะกลายเป็นพัลส์กว้างๆ ที่มีลักษณะไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังนั้นเป็นต้น ลักษณะที่สัญญาณเกิดความผิดเพี้ยนดังกล่าวมาแล้วนี้ เราเรียกว่า ยืดขยายตัว (dispersion) ของสัญญาณนั้น จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจึงเกิดความจำเป็นที่ต้องสร้างเส้นใยนำแสงให้มีขนาดเล็กทั้งนี้เพื่อลดจำนวนของแนวแสงให้น้อยลง อันจะทำให้เกิดการแตกกระจายของสัญญาณนั้นน้อยลงด้วยนั่นเอง

โดยวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของแสงด้วยทฤษฎีขั้นสูงแล้ว พบว่า ในการที่แสงสะท้อนไปมาอยู่ได้ในแท่งแก้วหรือเส้นใยนำแสงนั้น นอกจากมุมตกกระทบของลำแสงแต่ละลำบนผนังของแท่งแก้วหรือเส้นใยนำแสงนั้นต้องมีค่าโคกว่ามุมวิกฤตแล้ว เรายังได้ทราบเพิ่มเติมอีกว่า ค่าของมุมตกกระทบของลำแสงเหล่านั้นมีค่าไม่ต่อเนื่องกัน หากแต่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเป็นแบบดิสครีต ซึ่งก็หมายความว่า ลำแสงต่างๆ ที่เคลื่อนที่อยู่ได้ในเส้นใยนำแสงนั้นจะเกิดมีขึ้นโดยแยกกันออกเป็นลำ ๆ ซึ่งสามารถนับจำนวนได้อย่างแน่นอน ในเส้นใยนำแสงนั้นจำนวนลำแสงที่เกิดขึ้นเหล่านั้นจะเป็นตัวบอกจำนวนโหมด (mode) ของเส้นใยนำแสงนั้น ยกตัวอย่างเช่น เส้นใยนำแสงที่มีแนวลำแสงอยู่เพียงแนวเดียวเราเรียกว่า เส้นใยนำแสงโหมดเดียว (single mode fiber) แต่ในเส้นใยนำแสงที่มีแนวลำแสงเกิดขึ้นได้เป็นจำนวนมาก เราเรียกเส้นใยนำแสงนั้นว่า เส้นใยนำแสงมัลติโหมด (multimode fiber)

การแตกกระจายของสัญญาณอันเนื่องมาจากที่แสงแต่ละโหมดเดินทางโดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันนี้มีชื่อว่า โหมดดิสเพอร์ชัน (mode dispersion) นอกจากการแตกกระจายของสัญญาณชนิดนี้แล้ว ยังมีสาเหตุอื่นที่ทำให้เกิดการแตกกระจายของสัญญาณอีกนั่นก็คือ การแตกกระจายของสัญญาณอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของเนื้อสารในแกนเส้นใยนำแสงนั้น ซึ่งเรียกว่า แมททีเรียลดิสเพอร์ชัน (material dispersion) นอกจากนี้แล้วยังมีการแตกกระจายของสัญญาณอันเนื่องมาจากความแตกต่างของความยาวคลื่นในลำแสงที่เคลื่อนที่ไปตามเส้นใยนำแสงนั้น ซึ่งเราเรียกว่า เวฟเลนทด์ิสเพอร์ชัน (wavelength dispersion) ข้อดีของเส้นใยนำแสงแบบโหมดเดียวจะเกิดการแตกกระจายของสัญญาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

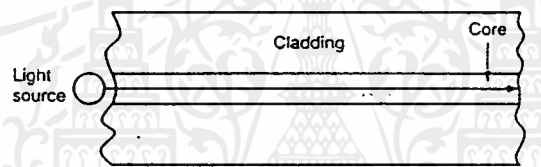
3.3.4 ชนิดของเส้นใยนำแสง

ชนิดของเส้นใยนำแสงสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆได้ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเห แบ่งตามจำนวนโหมด แบ่งตามสารที่ใช้ผลิต แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเส้นใยนำแสงเพียง 3 ชนิด เท่านั้น คือ

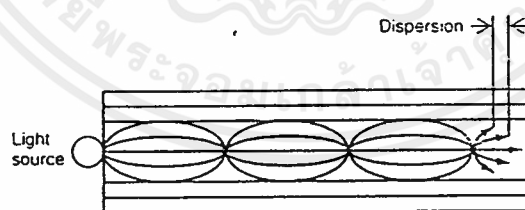
1. แบ่งตามลักษณะการเดินทางของแสง (propagation mode) คือ

1.1 เส้นใยนำแสง Single mode โดยแนวลำแสงที่เคลื่อนที่ ภายในเส้นใยนำแสงมีเพียงแนวลำแสงเดียวเท่านั้น

1.2 เส้นใยนำแสง Multimode โดยแนวลำแสงที่เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในเส้นใยนำแสงมีหลายแนวลำแสงด้วยกัน



(a)



(b)

รูปที่ 3-7 แสดงการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง

a) Single-mode step-index cable

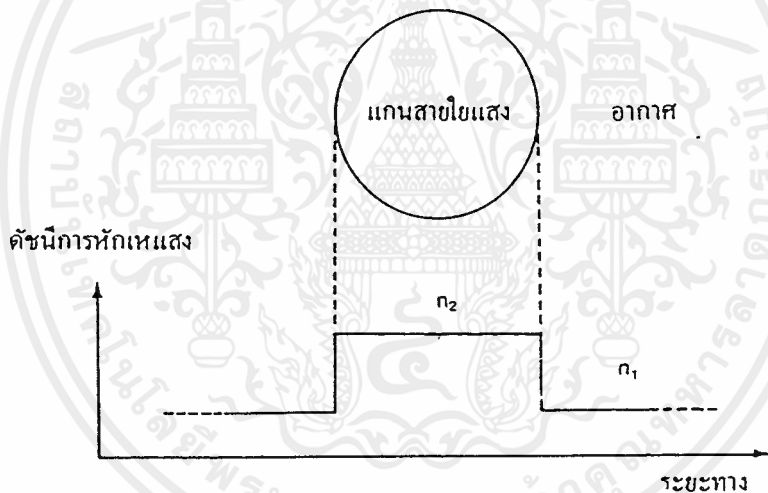
b) A Multimode graded-index cable

2. แบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหของแสง (index profile) คือ

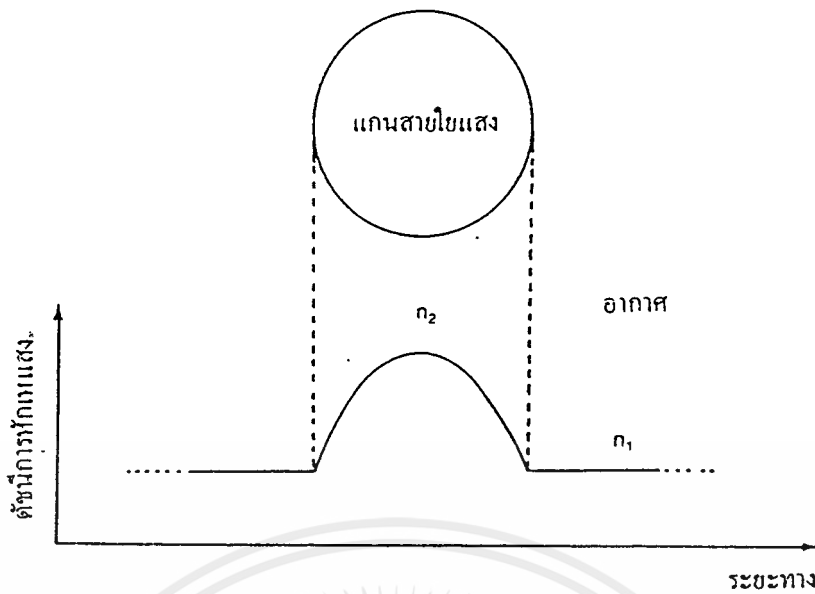
2.1 เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันได (step-index fiber)

2.2 เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน (graded-index fiber)

โดยเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันไดนั้นแกนของตัวเส้นใยนำแสงดังกล่าวมีค่าดัชนีหักเหของแสงที่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งเส้น ซึ่งถ้าเขียนกราฟแสดงค่าดัชนีหักเหของแสงของแกนของเส้นใยนำแสง เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีหักเหของอากาศที่มีอยู่รอบตัวมันแล้วจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3-8 ซึ่งมีลักษณะเหมือนว่าเป็นชั้นบันได ส่วนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมนนั้นดัชนีหักเหของแสงค่อยๆ เปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีหักเหของแสงของอากาศที่อยู่รอบตัวมันแล้วจะมีลักษณะตามรูปที่ 3-9

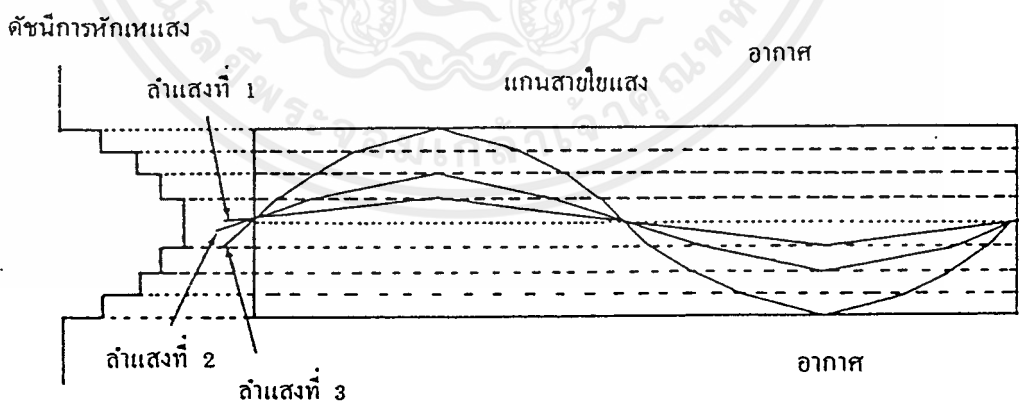


รูปที่ 3-8 แสดงดัชนีการหักเหแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีชั้นบันได (step-index fiber)



รูปที่ 3-9 แสดงดัชนีการหักเหแสงของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน (graded-index fiber)

เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน (graded-index fiber) ถูกสร้างขึ้นเพื่อปรับปรุงลดการแตกกระจายของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากเส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมดให้น้อยลง โดยลำแสงทุกลำที่เคลื่อนที่ผ่านเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีเวลาการเดินทางในเวลาเท่ากันจึงเป็นเหตุทำให้การแตกกระจายของเส้นใยนำแสงน้อยลง ลักษณะแนวทางการเดินของแสงภายในเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะได้ดังรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 แสดงแนวทางของแสงในแกนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีรูปมน

สำหรับเส้นใยนำแสงเหล่านี้ ถ้าหากจะแสดงการสูญเสียของแสงเมื่อแสงเดินทางในเส้นใยนำแสงแล้วจะไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าหากแสดงด้วย Transmission bandwidth ว่าสามารถส่งปริมาณข่าวสารได้มากเท่าไรนั้น เส้นใยนำแสงทั้งหลายแบบจะแตกต่างกันมากทีเดียว โดยทั่วไปแล้วเส้นใยนำแสง single mode มีแบนด์วิธกว้างที่สุด รองลงมาคือเส้นใยนำแสง Multimode แบบ Graded index และถัดมาคือ เส้นใยนำแสง Multimode แบบ Step index

3. แบ่งตามชนิดของสารที่ใช้ผลิต

3.1 Silica glass Optic Fiber ซึ่งเป็นสารไดอิเล็กตริกที่เป็น Silica glass นอกจากจะใช้ซิลิกา (SiO_2) ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อให้ค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปนี้ เรียกว่าโดเปนต์ (Dopant) ได้แก่ เจอร์มันเนียม (Ga) , โบรอน (B) , ฟลูออรีน (F) เป็นต้น

3.2 Multi component glass Optic Fiber ซึ่งใช้สารไดอิเล็กตริกที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน ส่วนมากจะใช้โซดาแคลเซียม (Soda Calcium) แก้วที่มีโบรอน และซิลิคอนผสมสารอื่นๆ เป็นหลัก ส่วนสารเจือได้แก่ โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca)

3.3 Plastic Optic Fiber ซึ่งใช้สารไดอิเล็กตริกที่เป็นพลาสติกในการทำเส้นใยนำแสงเป็นพวกที่มีดัชนีหักเหสูง ส่วนมากทำจากสารโพลีเมทิลเมทาไครเลต (polymethyl methacrylate) เรียกชื่อย่อๆ ว่า PMMA ส่วนใหญ่แล้วเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกนิยมใช้กันมากเนื่องจากราคาถูก มีการยืดหยุ่นที่ดี และสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและไม่แตกหักง่าย ส่วนข้อเสียของมันคือเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกมีการลดทอนของสัญญาณมาก ส่วนใหญ่เส้นใยนำแสงแบบพลาสติกจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนประมาณ 85-300 ไมครอน

3.4 ความสูญเสียของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยแสง

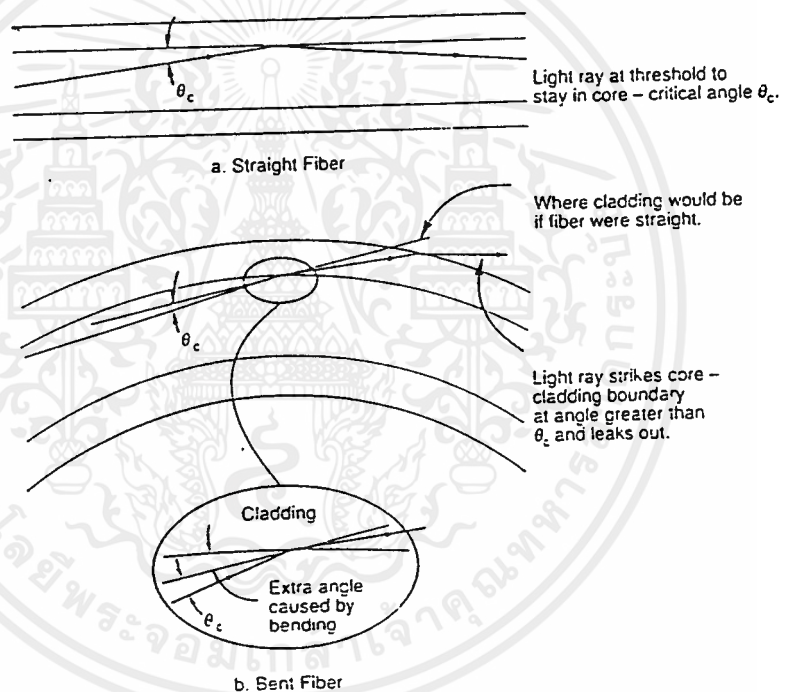
สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยแสงที่ผ่านในเส้นใยนำแสงนั้นเกิดจากความสูญเสียโดยสาเหตุ 4 ประการ

1. ความสูญเสียอันเนื่องมาจากการแผ่รังสีหรือการกระจัดกระจายของคลื่น (scattering loss) ซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของเนื้อสารเพราะมีสิ่งเจือปนอื่นๆ เช่น อนุภาคของน้ำแฝงปนอยู่ในสารซึ่งเป็นแกนของเส้นใยนำแสงนั้น เป็นเหตุให้แสงที่เคลื่อนที่ผ่านไปในนั้นเกิดการกระจัดกระจาย ทำให้สูญเสียพลังงานไป

2. ความสูญเสียเพราะถูกซึมซับพลังงาน (absorption loss) เกิดขึ้นเนื่องจากเนื้อสารนั้นได้ซึมซับเอาพลังงานของแสงไว้ โดยแปรรูปของพลังงานแสงไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน เป็นต้น

3. ความสูญเสียที่จุดต่ออุปกรณ์ (connection loss) เกิดขึ้นเพราะการที่เราไม่สามารถติดตั้งเครื่องมืออย่างมีประสิทธิภาพเหมือนในอุดมคติได้

4. ความสูญเสียจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง (bending loss) เมื่อเกิดการโค้งงอของสายเส้นใยนำแสงจะทำให้ค่ามุมตกกระทบที่ผนังของเส้นใยนำแสงเปลี่ยนแปลงไป และถ้าความโค้งนั้นมีค่ามากพอสมควรแล้วก็จะทำให้แสงบางส่วนเกิดการหักเหออกจากเส้นใยนำแสงได้ จึงทำให้มีการสูญเสียเกิดขึ้น ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 แสดงการสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยนำแสง

3.5 แบนการส่งสัญญาณของเส้นใยแสง (Transmission Bandwidth)

องค์ประกอบสำคัญที่กำหนดระยะห่างของตัวทวนสัญญาณ (Repeater) ในการสื่อสารเส้นใยแสงได้แก่ การสูญเสียแสง (Loss) และ Transmission bandwidth ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เส้นใยนำแสงมีหลายชนิดคือ เส้นใยนำแสง multimode แบบ step index เส้นใยนำแสง multimode แบบ graded index และเส้นใยนำแสง single mode สำหรับเส้นใยนำแสง multimode ทั้ง 2 แบบนั้นความเร็วในการสื่อสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเดินทางของแสงจะแตกต่างกันตาม mode ทำให้ในระหว่างที่แสงเดินทาง ความกว้างของรูปคลื่น ขยายกว้างออกตามระยะทาง นอกจากนั้น ทั้งเส้นใยนำแสง multimode และ singlemode ค่า Propagation constant ของสารที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงจะมีค่าแตกต่างกันตามความยาวคลื่นของแสง ดังนั้น แสง Incoherent light ในขณะเดินทาง ความกว้างของรูปคลื่นจะขยายกว้างออกตามระยะทาง นั่นคือรูป คลื่นของสัญญาณแสงจะมีรูปร่างผิดไปจากเดิม ในการสื่อสารเส้นใยนำแสงนั้น ความเร็วในการส่งและ ระยะห่างของตัวด้านทวนสัญญาณ (repeater) จะขึ้นอยู่กับ Transmission bandwidth นี้

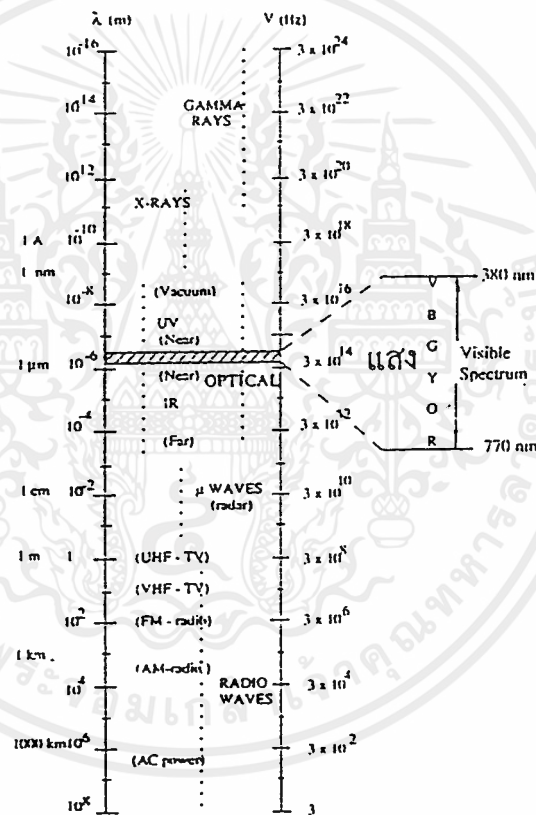
องค์ประกอบที่กำหนด Transmission bandwidth สำหรับเส้นใยนำแสง singlemode ซึ่งมี propagation mode เพียงอันเดียวจึงไม่มีปัญหาจากผลของ Dispersion ดังนั้น Bandwidth ของการส่ง สัญญาณจึงขึ้นกับความไม่สมบูรณ์ของความเป็น coherent light ของต้นกำเนิดแสง ส่วนเส้นใยนำแสง multimode แบบ graded-index ให้ผลต่างของความเร็วในการเดินทางระหว่างโหมดน้อยมาก จึงมีแบนด์ วิธ กว้างต่างกับ multimode แบบ step-index ที่ให้ dispersion เกิดขึ้น ดังนั้นเส้นใยนำแสงแบบ multimode แบบ graded index จึงมีคุณสมบัติรองลงมาจากเส้นใยนำแสงแบบ single mode ซึ่ง เหมาะแก่การใช้งานในระยะทางไกลและการส่งช่วงสัญญาณจำนวนมากได้

บทที่ 4

ระบบออปโตอิเล็กทรอนิกส์

4.1 แหล่งกำเนิดแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง แสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (Visible light) จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น $0.4 \mu\text{m} \sim 0.7 \mu\text{m}$ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามช่วงความยาวคลื่น และช่วงความถี่ ดังแสดงในรูป 4-1



รูปที่ 4-1 แสดงชื่อเรียกและชนิดต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

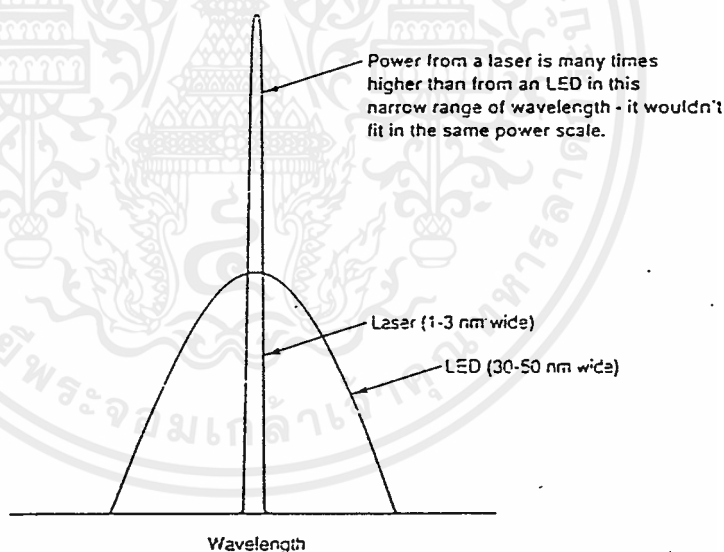
การเลือกช่วงของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสำหรับเส้นใยนำแสงนั้นแสงจะต้องมีความยาวคลื่นที่ทำให้มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านเส้นใยนำแสงมากที่สุด ตามปกติจะนิยมใช้กันอยู่ที่ 850, 1300 หรือ 1550 นาโนเมตร สำหรับเส้นใยนำแสงแบบแก้ว ช่วงของความยาวคลื่นนี้สำคัญมากเนื่องจากช่วงความกว้างของมันมากก็จะเกิดปัญหาการเพี้ยนและการกระจายของสัญญาณ แหล่งกำเนิดแสงจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถให้พลังงานที่เพียงพอที่จะสามารถส่งสัญญาณผ่านไปใยในเส้นใยนำแสงได้ และไม่มีผลต่อการเพี้ยนของสัญญาณที่เครื่องรับด้วย แหล่งกำเนิดแสงส่วนมากที่ใช้ในระบบการสื่อสารทางแสงนี้จะอุปกรณ์ชนิดสารกึ่งตัวนำ คือ light emitter diode หรือ LED และเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ (semiconductor laser) และบ่อยครั้งที่จะได้ยินว่า เลเซอร์ ไดโอด (laser diode (LD)) อุปกรณ์พวกนี้ส่วนมากจะเป็นมาตรฐานซึ่งใช้ควบคู่กับวงจรที่ใช้ในการ สื่อสารระบบนี้ด้วย

4.1.1 ช่วงทำงานของความยาวคลื่น (operating wavelength)

แหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่นมีผลทั้งต่อการลดทอนของสัญญาณและการแตกกระจายของสัญญาณในการส่งผ่านเส้นใยนำแสง ปกติจะใช้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 780-850 ,1300 ,1550 นาโนเมตร ในเส้นใยนำแสงชนิดซิลิกอน และประมาณ 660 ในเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก ความกว้างของช่วงสเปกตรัมหรือช่วงความยาวคลื่นที่ส่งนี้ สำหรับแหล่งกำเนิดที่เป็น LED และแหล่งกำเนิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะมีความแตกต่างกันตามรูปที่ 4-2



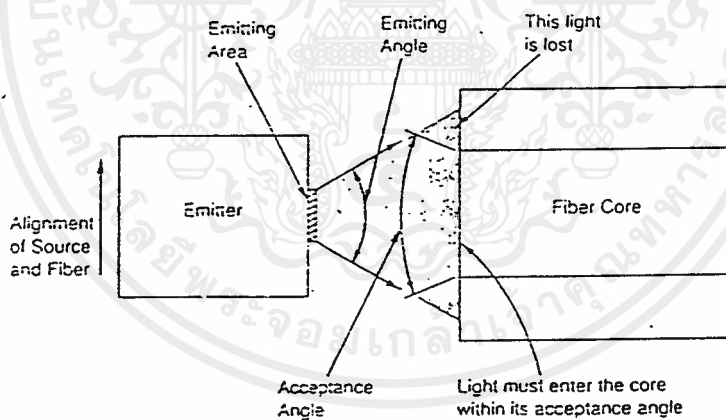
รูปที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความกว้างของสเปกตรัมของ LED และเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์

ความยาวคลื่นที่ปลดปล่อยออกมาและช่วงความกว้างของสเปกตรัมขึ้นอยู่กับความแตกต่างของส่วนประกอบความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับสารกึ่งตัวนำที่นำมาทำเป็นแหล่งกำเนิดแสง ส่วนช่วงสเปกตรัมขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอุปกรณ์ ทั้งแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์และ LED นั้นทำมาสารเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงตัวนำเหมือนกันและมีความยาวศูนย์กลางเหมือนกัน แต่ LED จะมีความกว้างของช่วงสเปกตรัมมากกว่า ซึ่งถ้าเป็นเลเซอร์ 2 อันที่มีโครงสร้างเหมือนกันแต่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดต่างชนิดกันช่วงสเปกตรัมแคบคล้ายกันแต่ความยาวคลื่นต่างกัน

4.1.2 พลังงานและการเชื่อมต่อของแสง (Output Power and Light Coupling)

พลังงานที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงนี้แหล่งกำเนิดแสงต้องมีพลังงานที่สอดคล้องกับเส้นใยนำแสงที่ใช้ซึ่งโดยปกติจะใช้พลังงานอยู่ในช่วงที่มากกว่า 100 มิลลิวัตต์ สำหรับแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์และ 10 ไมโครวัตต์สำหรับแหล่งกำเนิดที่เป็น LED พลังงานเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับมุมของแสงที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยแสง การจัดเรียงของแหล่งกำเนิดกับเส้นใยนำแสง และลักษณะการรับแสงของเส้นใยนำแสง ดังรูปที่ 4-3 ความเข้มของแสงที่ปล่อยออกมาจะไม่สม่ำเสมอที่แสงถูกปล่อยออกมาแต่แสงจะมีความเข้มมากตรงตำแหน่งศูนย์กลางการปล่อยปกติแล้วเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะไม่มีกระจายของแสงด้วยมุมประมาณ $10-20^\circ$ และแสงจาก LED จะกระจายแสงด้วยมุมที่ใหญ่กว่ามุมของเลเซอร์

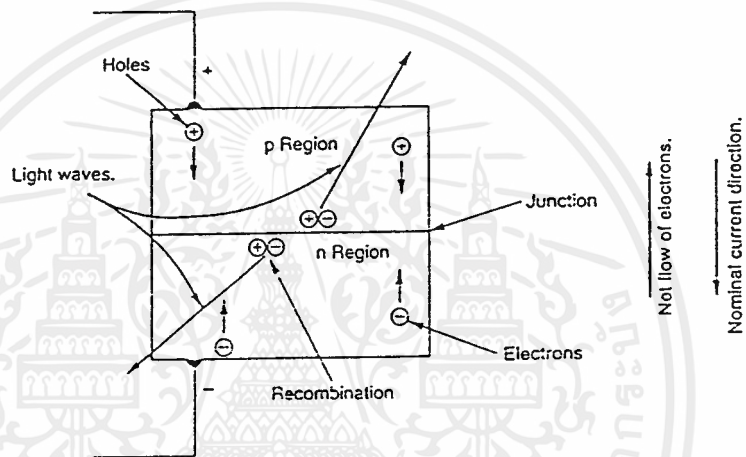


รูปที่ 4-3 แสดงการส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสู่เส้นใยนำแสง

4.1.3 แหล่งกำเนิดแสง LED (light-emission diode source)

LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วงที่ตาไม่สามารถมองเห็นได้อยู่ในช่วงของแสงอินฟราเรด (infrared light) โดยปกติแหล่งกำเนิดนี้จะใช้ในการสื่อสารในระยะสั้นๆ แนวคิดพื้นฐานของการปล่อยแสงของ LED นี้แสดงดังรูปที่ 4-4 ถ้ามีแรงดันไฟอย่างอ่อนดกกร้อมเซมิคอนดักเตอร์ไดโอด (เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

semiconductor diode) จะมีผลทำให้เกิดการไหลของกระแสตรงในรอยต่อ เนื่องจากไดโอดทำขึ้นจากพื้นที่ 2 บริเวณแต่ละบริเวณมีการเจือสารไม่บริสุทธิ์ (impurities) ทำให้มีลักษณะความต้องการทางไฟฟ้าต่างกัน บริเวณด้านหนึ่งจะถูกเจือด้วยสารเจือไม่บริสุทธิ์ที่น้อยกว่าอะตอมของสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดโฮล (hole) บริเวณด้านอื่นจะถูกเจือด้วยสารที่ไม่บริสุทธิ์ ซึ่งจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้น (free-electron) ดังนั้นจึงมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อย่างมากมายในโครงสร้างผลึก ถ้าใส่แรงดันไฟบวกให้กับด้านที่และแรงดันไฟลบให้บริเวณด้านอื่น มีผลทำให้อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่มารวมตัวกันรอยต่อของทั้ง 2 บริเวณ ถ้าให้แรงดันไฟอย่างต่อเนื่องอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่ผ่านไปเป็นไดโอดและเกิดการรวมตัวตัวกันอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4-4 แสดงลักษณะการทำงานของ LED

สารกึ่งตัวนำหลายชนิดไม่จำเป็นต้องเป็นซิลิคอนและเจอร์เมเนียมจะมีการปล่อยพลังงานความร้อนซึ่งเกิดจากการสั้นในโครงผลึก ซึ่งในสารที่นำมาทำเป็น LED นี้การรวมตัวกันของพาหะจะทำให้เกิดโฟตอนของแสงขึ้นซึ่งเกิดจากการปล่อยมาจากสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่มีความสำคัญที่สุดคือ แกลเลียมอะเซไนด์ (Gallium arsenide) และอื่นๆ ธาตุในหมู่ที่ 3a และ 5a ในตารางธาตุดังแสดงในตาราง

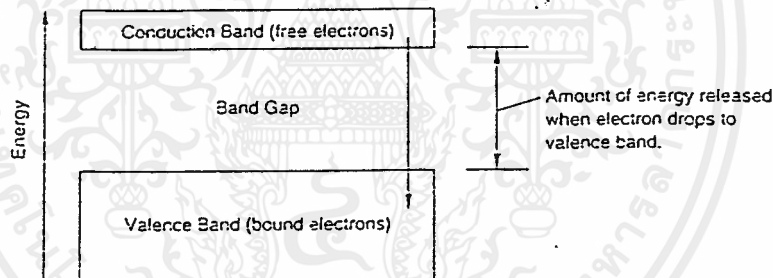
3a	5a
อะลูมิเนียม (Al)	ไนโตรเจน (N)
แกลเลียม (Ga)	อะเซนิค (As)
อินเดียม (In)	ฟอสฟอรัส (P)
	แอสโดโนมี (Sb)

ตาราง 4-1 แสดงธาตุหมู่ที่ 3a และ 5a ที่มีความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงความยาวคลื่นที่ถูกปล่อยออกมานั้นขึ้นอยู่กับระดับพลังงานภายในของสารกึ่งตัวนำ ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์ที่อุณหภูมิค่า อิเล็กตรอนทั้งหมดจะมีพันธะอยู่ภายในโครงสร้างผลึก ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอิเล็กตรอนบางตัวจะแตกจากพันธะแล้วกระโดดสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่าเรียกว่า ระดับคอนดักชัน (conduction level) ทำให้พวกมันสามารถที่จะเคลื่อนที่อย่างอิสระในโครงสร้างผลึกนั้น แถบพลังงานชั้นวาเลนซ์ (valence band) และแถบพลังงานคอนดักชัน (conduction band) จะแยกกันอยู่ โดยมีระดับพลังงานที่แบ่งกันเอาไว้เรียกว่า แถบพลังงานหวงห้าม (band gap) ซึ่งจะเป็นตัวบอกคุณลักษณะหลายอย่างของสารกึ่งตัวนำ

แถบพลังงานคอนดักชันจะมีอิเล็กตรอนอิสระหลังจากเกิดโวลที่แถบพลังงานวาเลนซ์ซึ่งมันจะถูกพิจารณาว่าเป็นประจุบวก โวลนี้สามารถเคลื่อนที่ได้อิเล็กตรอนจากตำแหน่งอื่นๆ ในโครงสร้างผลึก จะเคลื่อนที่มารวมตัวกับโวลและแตกออกเป็นโวลตามเดิมอีกครั้ง สารเจือที่ไม่บริสุทธิ์ของสารกึ่งตัวนำจะเป็นตัวกำเนิดอิเล็กตรอนและโวล เมื่ออิเล็กตรอนตกจากแถบพลังงานคอนดักชันลงสู่แถบพลังงานวาเลนซ์จะ เกิดการปล่อยพลังงานที่มีค่าเท่ากับค่าความแตกต่างของพลังงานของทั้งสองระดับ ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 แสดงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

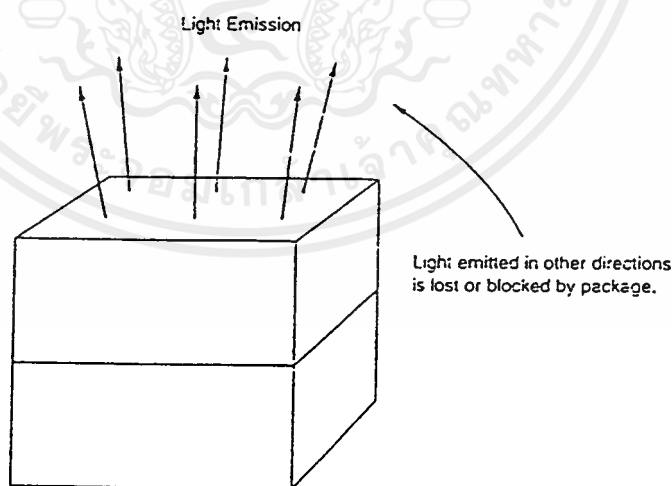
ความแตกต่างของระดับพลังงานทั้งสองหรือแถบพลังงานหวงห้ามซึ่งทำให้เกิดจำนวนพลังงานที่คายออกมาและความยาวคลื่นที่ถูกปล่อยซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารกึ่งตัวนำนั้น ตามปกติแล้วจะใช้ LED ในเส้นใยนำแสงแบบพลาสติกโดยทำจากแกลเลียมอะลูมิเนียมอะเซไนด์ (Gallium aluminum arsenide) หรือแกลเลียมอะเซไนด์ (Gallium arsenide) LED แบบแกลเลียมอะเซไนด์จะให้แสงอยู่ในช่วง 930 นาโนเมตร ถ้าเพิ่มอะลูมิเนียมเข้าไปจะเกิดการลดลงของค่ากระแสขีดเริ่ม (threshold current) ซึ่งทำให้มีช่วงชีวิตดีขึ้นและสามารถเพิ่มพลังงานในแถบพลังงานหวงห้ามได้ทำให้แสงที่ปล่อยออกมาอยู่ในช่วง 750-900 นาโนเมตร ความยาวคลื่นที่ใช้งานกันอยู่ที่ 820-850 nm ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น ๆ ก็สามารถนำมาใช้ทำ LED ได้ซึ่งจะมีช่วงความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาแตกต่างกันออกไป เช่น แกลเลียมอะเซไนด์ฟอสไฟด์ (Gallium arsenide phosphide : GaAsP) ให้แสงในช่วง 665 นาโนเมตร เป็นแสงสีแดง แต่จะไม่ดีเท่ากับแกลเลียมอะลูมิเนียมอะเซไนด์ (GaAlAs) และ GaAsP มีราคาถูกกว่า GaAlAs แต่มีคุณภาพในการทำงานต่ำกว่า

สารประกอบสารกึ่งตัวนำที่สำคัญมีคุณภาพสูง คือ อินเดียมแกลเลียมอะเซไนด์ฟอสไฟด์ (InGaAsP) ทำจากอินเดียมแกลเลียมอะเซไนด์และฟอสฟอรัสรวมกันด้วยจำนวนของอินเดียม (indium) บวกกับแกลเลียม (gallium) อย่างเท่าๆกัน และเติมอะเซไนด์กับฟอสฟอรัสลงไปด้วย ผลของสารประกอบนี้คือเขียนได้เป็น $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ เมื่อ x เป็นสัดส่วนของอินเดียมและ y เป็นสัดส่วนของอาร์เซนิก ซึ่งพวกนี้จะถูกเรียกว่า ควอเตอร์นารี (quaternary) เป็นพวกที่มี 4 สารประกอบพวกนี้ทำยากกว่าเตอร์นารี (ternary) พวก 3 สารประกอบคือ GaAlAs ซึ่งให้ความยาวคลื่น 1300 และ 1550 nm LED บ่อยครั้งใช้ในระยะสั้นๆ โดยใช้ความยาวคลื่น 1300 nm เพื่อความสะดวกและการแตกกระจายของสีน้อย แต่ 1550 nm นั้นความแตกกระจายของสีมีมากกว่า

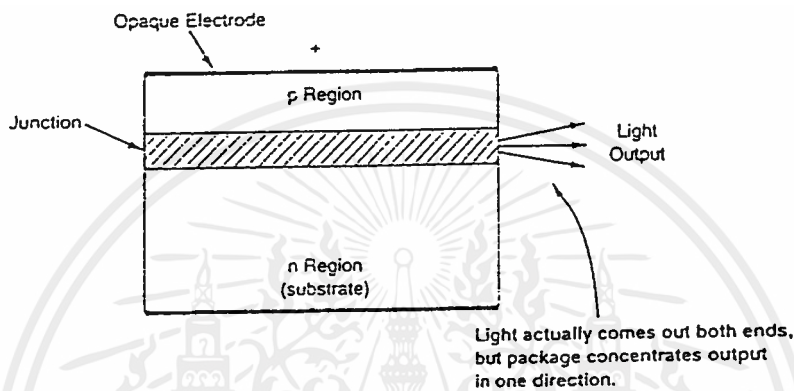
คุณลักษณะอื่นๆของ LED ขึ้นอยู่กับรูปทรงของอุปกรณ์และโครงสร้างภายใน ซึ่งไม่สามารถอธิบายทิศทางของการเกิดแสงได้ ในความจริงแล้วตัวอย่างการเกิดแสงในทุกทิศทางแสดงดังรูปที่ 4-6 และรูปแบบส่วนใหญ่จะเกิดการปล่อยแสงจากผิวหน้าของมัน แสงที่ถูกปล่อยออกมาจะเป็นรูปทรงกรวยแบบกว้างๆ ซึ่งความเข้มของแสงจะตกมากและจะเป็นไปตามมุมของรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำ เรียกว่า เป็นการกระจายแบบแลมเบิร์ตเทียน (Lambertian distribution)



รูปที่ 4-6 แสดงลักษณะการส่องแสงของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างพื้นฐานที่แตกต่างกันคือไดโอดที่เปล่งแสงทางขอบ (edge emitter diode) ดังแสดงในรูป 4-7 บริเวณที่สัมผัสกับคุณสมบัติของไฟฟ้าจะครอบคลุมทั้งด้านบนสุดและล่างสุดของขอบอิมิตเตอร์ ดังนั้นแสงจึงไม่สามารถออกมาได้ LED จะจำกัดแสงให้อยู่ในแนวแคบในระนาบของรอยต่อ p/n ซึ่ง LED ที่สร้างขึ้นนี้จะถูกล้อมรอบด้วยบริเวณที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่า โดยการสร้างท่อนำคลื่น (waveguide) ซึ่งมีหน้าที่เหมือนกันกับเส้นใยแสง และทำการปล่อยแสงออกจากปลายทั้งสองซึ่งสามารถที่จะต่อเชื่อมเข้าไปในเส้นใยแสง ข้อเสียคือเมื่อปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ LED เสียหาย



รูปที่ 4-7 แสดงการปล่อยแสงของ LED แบบ edge-emitter diode

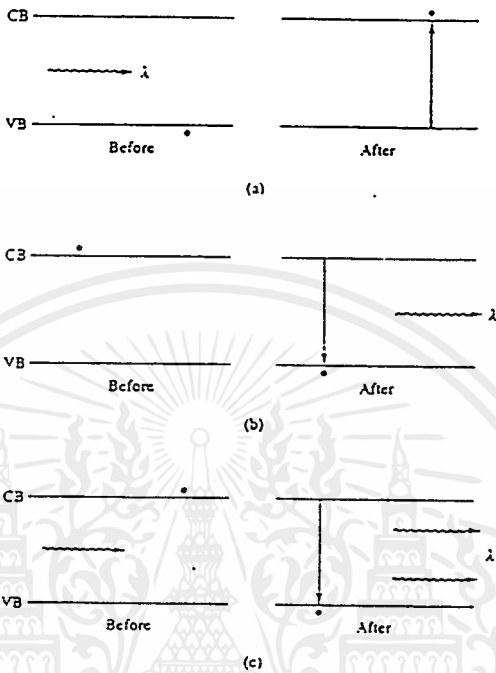
4.1.4 แหล่งกำเนิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ (Semiconductor Laser Sources)

ถึงแม้ว่าเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะมีพื้นที่ในการปล่อยแสงเหมือน LED แต่จะให้แสงในช่วงที่ต่างกัน ซึ่งมีผลต่อพลังงานที่ดีกว่าและทิศทางที่แน่นอนกว่า

4.1.4.1 การปล่อยแสงด้วยการกระตุ้น (Stimulated Emission)

แสงจะถูกปล่อยออกมาเมื่อมีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าตกลงสู่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่า ซึ่งจะให้พลังงานออกมา โดยจะปลดปล่อยแสงที่ปราศจากอิทธิพลจากภายนอก ซึ่งเรียกว่า การปล่อยแสงตามธรรมชาติ (spontaneous emission) แต่ก็เป็นเพียงชั่วขณะเท่านั้น ถ้าเราใช้เวลารอบๆการเกิดแสงอย่างการปล่อยแสงตามธรรมชาตินี้ โดยสมมติว่ามีอิเล็กตรอนที่อยู่บนระดับพลังงานบนซึ่งพร้อมที่จะปลดปล่อยพลังงานอยู่แล้ว และใส่พลังงานโฟตอนเข้าไป ซึ่งจะเป็นจำนวนของพลังงานที่อิเล็กตรอนต้องการที่จะปลดปล่อย โฟตอนภายนอกนี้สามารถกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากระดับพลังงานชั้นบนลงสู่ระดับพลังงานชั้นล่างและคายพลังงานออกมาเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเดิมได้ กระบวนการนี้เรียกว่า การเอกซาร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายแสงด้วยการกระตุ้น (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation) หรือเรียกย่อๆ ว่า LASER ซึ่งแสดงได้ตามไอะแกรมของการปล่อยแสงแบบต่างๆ ในรูปที่ 4-8



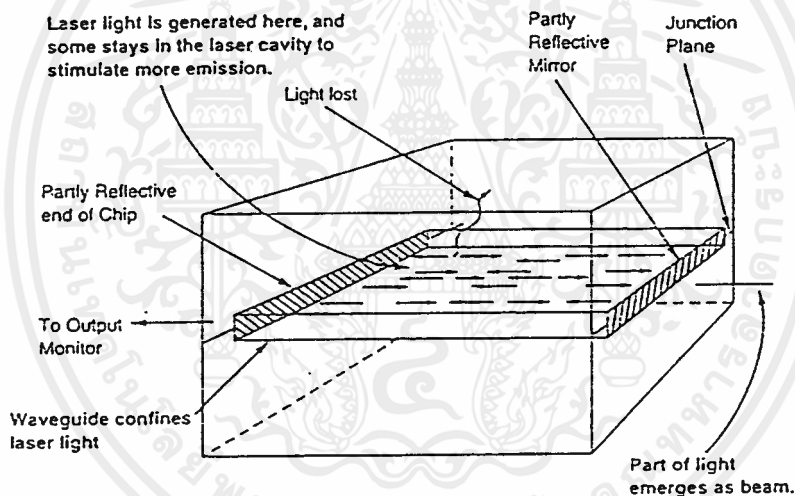
รูปที่ 4-8 a) การดูดกลืนพลังงาน
 b) การปล่อยตามธรรมชาติ
 c) การปล่อยโดยการกระตุ้น

4.1.4.2 Population Inversion

เงื่อนไขพิเศษที่ดึงดูดสนใจของการเกิดเลเซอร์ คือ มีจำนวนอิเล็กตรอน หรืออะตอมหรือโมเลกุลอย่างมาก ในชั้นระดับพลังงานด้านบนมากกว่าชั้นระดับพลังงานด้านล่าง เงื่อนไขนี้เรียกว่า population inversion เนื่องจากตามปกติอิเล็กตรอนมากมายอยู่ในชั้นล่างอยู่แล้ว สิ่งนี้เป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากอะไรก็ตามที่อยู่ในระดับพลังงานชั้นล่างนั้นสามารถดูดกลืนแสงถูกปล่อยออกมาได้ โดยจะมีการดูดกลืนแสงเร็วกว่าการปล่อยแสง ถ้ามีเงื่อนไขนี้เกิดขึ้น การกระตุ้นให้เกิดการปล่อยแสงก็จะหยุดลงในทุกทิศทาง

4.1.4.3 การจัดรูปของลำเลเซอร์ (Laser Beam Formation)

ลำแสงเลเซอร์ถูกจัดรูปแบบโดยอุปกรณ์สำหรับเพิ่มค่าการเรโซแนนซ์ (resonator) ซึ่งเป็นตัวจำกัดขอบเขตของแสงและทำให้ผ่านไปมาอีกครั้งในตัวกลางที่ถูกกระตุ้น ดังรูปที่ 4-9 สำหรับเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ เรโซเนเตอร์นี้สามารถทำได้จากส่วนของกระจกที่ขอบแต่ละด้านของบริเวณที่อะตอมถูกกระตุ้นนั้นอยู่แสงที่ถูกปล่อยออกมาจะเคลื่อนไปข้างหน้าตรงไปยังกระจกด้านหนึ่งแล้วจะสะท้อนกลับและเป็นอย่างนี้ต่อไปแสงที่ถูกกระตุ้นให้ปล่อยอิเล็กตรอนจะรวมเข้ากันกับแสงที่ผ่านระนาบของรอยต่อแสงที่ถูกปล่อยในทิศทางอื่นๆจะรั่วไหลออกไปดังนั้นแสงที่มีการเดินทางกลับมาตลอดทางแคบๆของบริเวณที่ถูกกระตุ้นจะถูกขยายและสร้างขึ้นเป็นลำแสงเลเซอร์



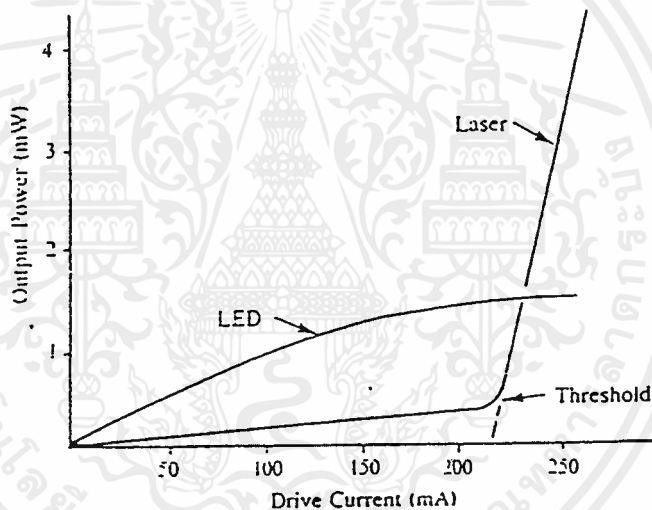
รูปที่ 4-9 แสดงพื้นฐานการเกิดเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์

ส่วนปิดกั้นที่เห็นแสดงออกอยู่นั้นเป็นขบวนการที่ยุ่ยากเล็กน้อยกระจกจะอยู่ส่วนขอบของโครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำเรียกว่าแฟลคเค็ต (facets) ซึ่งแฟลคเค็ตคอนทักซ์จะทำให้แสงทะลุออกมาแต่จะครอบคลุมการสะท้อนของแสงส่วนใหญ่ ในทางปฏิบัติแฟลคเค็ตที่อยู่ด้านหน้าจะไม่ทำให้แสงออกมาแต่จะเป็นตัวสะท้อนไปมาในสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำเป็นสารซึ่งถูกกระตุ้นให้ปล่อยแสงมาก ดังนั้นที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จึงจำเป็นต่อการสร้างลำแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ความแตกต่างของแหล่งกำเนิด (Functional Differences)

สิ่งที่แตกต่างกันระหว่าง LED กับเลเซอร์ไดโอดนั้นมีอยู่ 2 ประการคือ ถ้าเป็น LED นั้นจะไม่มีตัวเรโซเนเตอร์ แต่ก็สามารถสร้างให้มีขนาดเล็กได้และเลเซอร์นั้นต้องทำที่แรงขับเคลื่อนสูงเพื่อที่จะได้ความหนาแน่นของเลเซอร์มากเท่าที่ทุกของเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ขึ้นอยู่กับแรงขับเคลื่อนที่ผ่านทะลุตัวมันโดยต้องมีแรงดันไบอัสที่มีค่าแรงขับเคลื่อนอย่างน้อยตามต้องการและยาวนานที่ค่ากระแสต่ำๆเลเซอร์ที่ถูกปล่อยออกมาจะอ่อนเหมือนการปล่อยแสงตามธรรมชาติ (spontaneous emission) ซึ่งมีประสิทธิภาพเหมือนกับ LED ถ้ากระแสที่ให้ผ่านค่าขีดเริ่มไปแล้วนั้นก็จะเกิดเป็นแสงเลเซอร์และเพิ่มความเข้มข้นเรื่อยๆดังรูป 4-10



รูปที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับกำลังของแสงที่ปล่อย

ความสัมพันธ์ของกระแสกับกำลังงานของแสงที่ปล่อยสามารถหาได้จากสมการด้านล่าง คือ

$$P = N \cdot hc / \lambda = (\eta \cdot E_g \cdot I) / e \dots\dots\dots(1)$$

- เมื่อ N คือ จำนวนของการประจุต่อวินาที
- η คือ อัตราส่วนของแพร่กระจายประจุที่ถูกรวมตัว
- E_g คือ พลังงานแถบหวงห้ามของสารในหน่วยของจูล

ความแตกต่างภายในโครงสร้างนี้เป็นส่วนสำคัญเลเซอร์นั้นสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่า LED ธรรมดาและให้กระแสขั้วที่สูงด้วยดังนั้นเลเซอร์จึงมีกำลังงานมากกว่า LED มากความเข้มข้นของแสงที่ปล่อยออกมานั้นจะเป็นลำแคบกว่าแสงจาก LED ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4-1 ที่กล่าวมาแล้ว

4.1.6 ความยาวคลื่นของเลเซอร์ไดโอด

แสงเลเซอร์ของเลเซอร์ไดโอดนั้นขึ้นอยู่กับสิ่งที่ประกอบขึ้นของชั้นรอยต่อของสารกึ่งตัวนำเหมือนกับ LED สารประกอบสารกึ่งตัวนำส่วนใหญ่ที่นำมาทำเป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับเส้นใยนำแสงจะใช้สารประกอบสารกึ่งตัวนำหมู่ที่ 3 รวมกับหมู่ที่ 5 เช่น แกลเลียมอะเซไนด์ (Gallium arsenide) หรือ อินเดียมอะเซไนด์ (Indium phosphide) โดย

- | | | |
|--|--------------|-------------------|
| 1. $\text{Ga}_{(1-x)}\text{Al}_x\text{As}$ บน GaAs | ความยาวคลื่น | 780 nm ถึง 850 nm |
| 2. $\text{In}_{0.73}\text{Ga}_{0.27}\text{As}_{0.58}\text{P}_{0.42}$ บน InP | ความยาวคลื่น | 1310 nm |
| 3. $\text{In}_{0.58}\text{Ga}_{0.42}\text{As}_{0.9}\text{P}_{0.1}$ บน InP | ความยาวคลื่น | 1550 nm |

โดยที่ InGaAsP ยังให้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วงระหว่าง 1100 nm ถึง 1600 nm และ InGaAs ให้ความยาวคลื่น 980 nm

4.1.7 สเปกตรัมของเลเซอร์ (Laser output spectrum)

เป็นที่รู้กันอยู่แล้วว่าเลเซอร์ไดโอดจะให้แถบสเปกตรัมที่แคบกว่า LED มากจึงทำให้เลเซอร์ไดโอดมีความสามารถในการส่งสัญญาณด้วยความเร็วสูงผ่านเส้นใยนำแสงโดยทำให้มีการแตกกระจายของสัญญาณน้อย ถึงอย่างไรก็ตามขนาดของแถบสเปกตรัมที่มีขนาด 1 ถึง 3 nm ก็ใหญ่เพียงพอที่จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการแตกกระจายของสัญญาณสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอด ถึงแม้ว่าจะมีความเข้มข้นของกำลังงานมากที่สุดที่ความยาวคลื่นหนึ่งก็ตาม แต่ในเลเซอร์ไดโอดการเกิดเลเซอร์ออสซิลเลชัน (Laser oscillation) ที่ต่อเนื่องกันทำให้เกิดอัตราขยายซึ่งมีผลต่อการเกิดความยาวคลื่นอื่นๆ ด้วย แต่ความยาวคลื่นเดียวเท่านั้นที่มีอัตราขยายสูงสุดระหว่างระยะทางของตัวเรโซเนเตอร์ที่กำเนิดเลเซอร์โดยความยาวคลื่นหาได้จาก

$$2D = N\lambda \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ 2D คือ ระยะไปกลับในระหว่างเรโซเนเตอร์ในหนึ่งรอบ

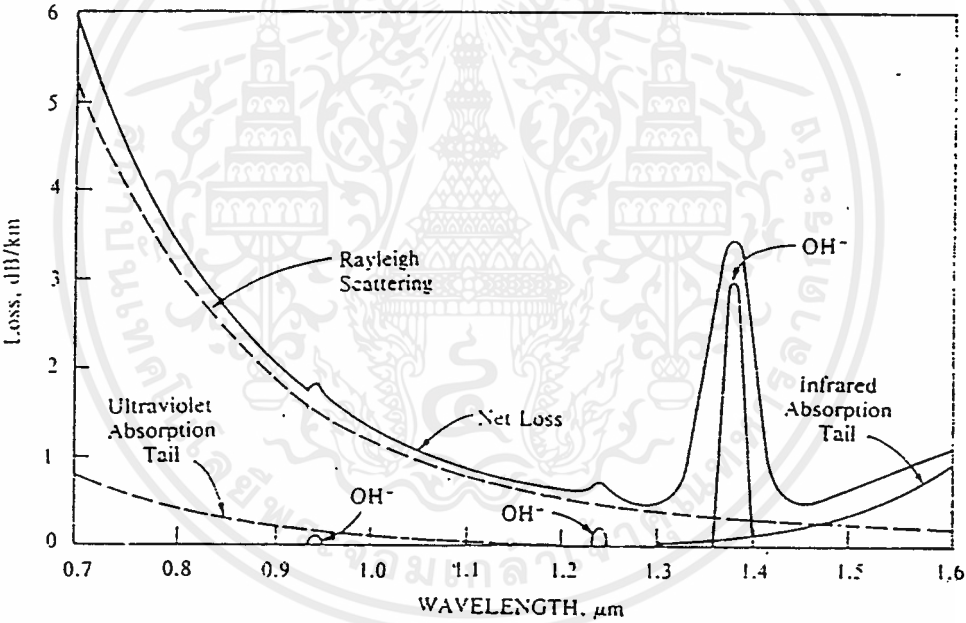
N คือ จำนวนเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความยาวคลื่นนั้นต้องอยู่ในขอบเขตของความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่เกิดจากการปล่อย
โดยการกระตุ้น

4.1.8 Fiber Transmission windows

ทั้งแหล่งกำเนิดที่เป็น LED และเลเซอร์ไดโอดจะมีลักษณะการส่งผ่านเหมือนกันถึงแม้ว่า
จำนวนค่าตัวเลข (numerical value) จะต่างกัน คุณสมบัติเด่นของการปล่อยแสงนั้นจะต้องเข้ากัน
ได้กับช่องการปล่อยให้ผ่านของเส้นใยนำแสง (Fiber Transmission windows) ซึ่งตามปกติจะมีค่าอยู่ที่
0.85 , 1.3 , 1.5 ไมโครเมตร โดยแสดงไว้ดังรูปที่ 4-11 ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียในเส้นใยนำแสงน้อย
วัสดุที่ใช้ทำแหล่งกำเนิดนั้นสามารถทำให้มีพฤติกรรมตามช่องทางนี้ได้



รูปที่ 4-11 Fiber Optic transmission windows

อัตราส่วนของการได้ปในสารที่เป็นวัสดุที่ใช้ทำเลเซอร์ไดโอดจะสามารถหาช่องว่างแถบ
พลังงาน (band gap) ของสารผสมนั้นได้ ซึ่งจะทำให้ได้ความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาด้วย สมการด้าน
ล่างนี้ใช้ในการหาความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาเมื่อทราบค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารผสมนั้น

$$\lambda \text{ (}\mu\text{m)} = 1.240 / E_g \text{ (eV)}..... (2)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นที่ต้องการหา

E_g คือ ช่องว่างแถบพลังงานในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจรขับ

เป็นส่วนที่ในการมอดคูเลทสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงเข้ากับแสง โดยใช้ความเข้มของกระแสเป็นตัวกำหนดความเข้มของแสงที่จะเปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้แล้ว ส่งเข้าไปในสายเส้นใยนำแสงเรียกว่าอินเทนซิติอมอดคูเลชัน(Intensity modulation) โดยความยาวคลื่นของสัญญาณแสงจะมีค่าสั้นกว่า(ความถี่มากกว่า)ความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามาก ดังนั้นความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า จึงเป็นตัวที่ทำหน้าที่เป็นเอนเวลลอปของสัญญาณแสงที่ออกมา

4.2.1 การออกแบบตัวส่งแสง (transmitter desing)

แหล่งกำเนิดแสงเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบโดยตัวส่งแสงจะต้องสอดคล้องกับประเภทของแหล่งกำเนิดแสงด้วย และสอดคล้องกับประเภทของสัญญาณที่ส่งด้วยว่าเป็นแบบอนาล็อกหรือดิจิทัล (analog or digital) โดยการออกแบบจะมีตัวเรือน(housing) ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่ต้องการเพื่อช่วยป้องกันแหล่งกำเนิดไม่ให้เกิดการเสียหายและช่วยในการสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์และช่วยในการส่งแสงผ่านเส้นใยนำแสง โดยส่วนประกอบภายในจะเป็นส่วนช่วยในการต่อเชื่อมแสงกับเส้นใยนำแสง และยังต้องการวงจรขับเพื่อขับกระแส การควบคุมอุณหภูมิ

4.2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของตัวส่งแสง

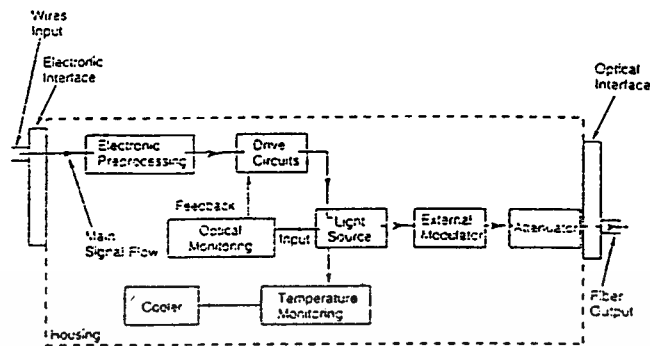
ในตัวเรือนของตัวส่งแสงจะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์พื้นฐานที่จะกล่าวนี้ซึ่ง ประกอบเหล่านี้สามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 4-12

1. ตัวเรือน (housing)
2. ส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic interfaces)
3. ส่วนเชื่อมต่อทางแสง (Optical interfaces)
4. วงจรขับ (drive circuitry)
5. ส่วนควบคุมอุณหภูมิและส่วนหล่อเย็น (Temperature sensing and control)
6. กระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic processing)
7. ส่วนของมอนิเตอร์ทางแสง (Optical Monitoring)
8. ตัวลดทอนสัญญาณ (Attenuator)

โดยบางครั้งอาจจะมีอุปกรณ์ส่วนอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น External modulator ในกรณีที่แหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำเนิดแสงไม่สามารถมอดูเลตแสงได้เอง หรือส่วนของการลดทอนสัญญาณในกรณีที่มีการติดต่อสื่อสารในระบบสั้นๆ

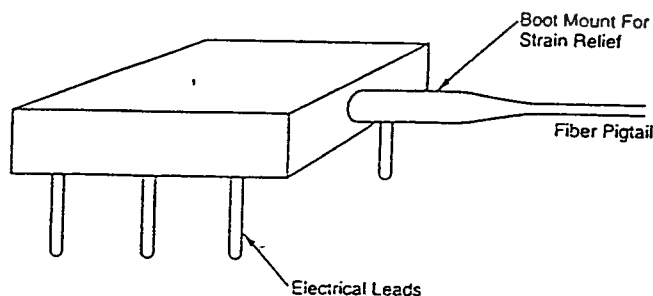


รูปที่ 4-12 แสดงส่วนประกอบในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง

1. ตัวเรือน (housing) ตัวเรือนนี้จะมีรูปแบบอย่างง่ายๆ โดยจะออกแบบเป็นกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อความสะดวกซึ่งจะมีหัวต่อ 2 ส่วน คือ ส่วนเชื่อมต่อทางแสงและส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งส่วนใหญ่จะออกแบบเป็นมาตรฐาน

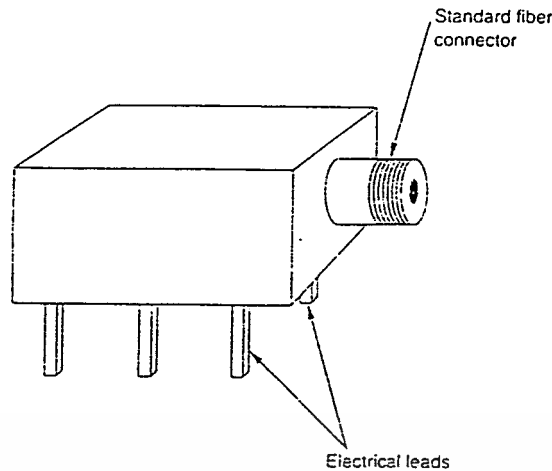
2. ส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic interfaces) ส่วนนี้อาจจะเป็นสายไฟ (wire) ธรรมดา หรือเป็นขาขึ้นออกมาจากรูปทรงของหีบห่อ (packages) ตัวส่งแสงอย่างง่ายสามารถที่จะขับเคลื่อนด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่เข้าไปได้โดยตรง

3. ส่วนเชื่อมต่อทางแสง (Optical interfaces) เป็นการเชื่อมต่อระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและเส้นใยนำแสง ดังแสดงในรูป 4-13 ซึ่งเป็นหัวต่ออยู่ในตัวเรือน แสงจะถูกส่งไปยังเส้นใยนำแสงโดยเลนส์ข้างในที่ประกอบด้วย collimating lens และส่วนของเส้นใยนำแสง ส่วน Fiber Pigtail จะทำการรวมแสงจากบริเวณที่มีแสงเปล่งออกมาและส่งไปข้างนอกซึ่งสามารถต่อเข้ากับเส้นใยนำแสงภายนอกได้



a) Transmitter with Fiber Pigtail

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) Transmitter with Integral Connector

รูปที่ 4-13 แสดงส่วนเชื่อมต่อทางแสงของตัวส่ง

4. วงจรขับ (Drive circuitry) ขึ้นอยู่กับชนิดของการใช้งาน ขนาดข้อมูล และแหล่งกำเนิดแสง LED สามารถถูกขับได้โดยตรง โดยอาศัยแหล่งกำเนิดกระแส (current source) ที่เหมาะสม (ถึงแม้ว่า สัญญาณส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแรงดันและจะต้องถูกแปลงให้เป็นกระแส) อย่างไรก็ตาม เซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะต้องถูกไบอัสจนถึงระดับกระแสที่ใกล้เคียงกับค่า laser threshold

5. ส่วนควบคุมอุณหภูมิและส่วนหล่อเย็น (Temperature sensing and cooling) คุณสมบัติการทำงานของเซมิคอนดักเตอร์ อันได้แก่ threshold current กำลังเอาต์พุตและความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ค่า threshold current จะเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โปเนนเชียลตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป $\Delta T = (T_1 - T_2) / T_1$ ซึ่ง T_1 คืออุณหภูมิตอนเริ่มต้น T_2 คืออุณหภูมิสุดท้าย เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับกระแสขับที่มีค่ามากกว่า threshold current กำลังเอาต์พุตลดลงขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น กำลังเอาต์พุตจะถูกทำให้หมดไปภายในเลเซอร์ ดังนั้นช่วงชีวิต (life time) ของเลเซอร์จะลดลงตามอุณหภูมิทำงาน การเปลี่ยนแปลงในเรื่องความยาวคลื่นมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในดัชนีหักเหของสารกึ่งตัวนำและในช่องว่างเลเซอร์ (laser cavity)

Thermoelectric cooler ในตัวส่งแสงสามารถทำให้การทำงานมีความแน่นอนที่อุณหภูมิคงที่ การควบคุมอุณหภูมิของเลเซอร์สามารถลดความไม่เสถียรของกำลังเอาต์พุตอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ จะทำให้กำลังเอาต์พุตที่คงที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์รับแสง ขณะที่กำลังเอาต์พุตที่ตรวจวัดได้ลดลง อัตราบิตคลาดเคลื่อน (bit-error rate) เพิ่มขึ้นในระบบดิจิทัล และ s/n ratio ลดลงในระบบอนาล็อกจะทำให้การทำงานของอุปกรณ์กำเนิดแสงลดลงและขั้นตอนนี้จะทำให้ความยาวคลื่นของแสงคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง กระแสขีดเริ่มมีค่าคงที่ (threshold current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

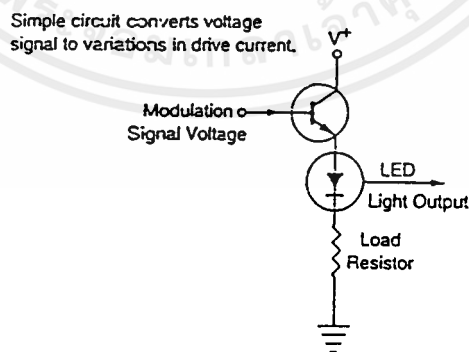
6. กระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic processing) เป็นกระบวนการขั้นต้นที่วงจรจับของตัวส่งแสงจะทำการใส่สัญญาณไฟฟ้าทางอินพุตให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมสำหรับการจับแหล่งกำเนิดแสง ตัวอย่างเช่นการแปลงสัญญาณจากแรงดันซึ่งจะจับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไปเป็นกระแสซึ่งจะมอดูเลต LASER และ LED

7. ส่วนของมอนิเตอร์ทางแสง (Optical Monitoring) ตัวส่งแสงชนิดเลเซอร์ประกอบด้วยวงจรเอาต์พุตที่มีเสถียรภาพ โฟโตดีเทคเตอร์จะตรวจจับแสงที่แผ่ออกจากส่วนหน้าของเลเซอร์และจับวงจรการป้อนกลับ (Feedback circuit) ซึ่งจะปรับกระแสขับจนกำลังเอาต์พุตทั้งหมดคงที่

นอกจากนี้ตัวลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ตัวส่งแสงจะสร้างระดับกำลังที่เป็นมาตรฐาน แต่ในบางกรณีระดับกำลังเหล่านี้อาจจะสูงกว่าที่ต้องการเนื่องจากตัวรับแสงสามารถรับกำลังอินพุตได้จำกัด ในบางครั้งจะใช้ตัวลดทอนสัญญาณเพื่อที่จะลดเอาต์พุตของตัวส่งแสงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับตัวรับแสง

4.2.3 การออกแบบตัวส่งแสงโดยใช้ LED อย่างง่าย

LED เป็นแหล่งกำเนิดที่จะเปล่งแสงเมื่อทำการไบอัสแรงดันซึ่งมีค่าอย่างน้อยสูงกว่าแรงดันในช่องว่างหรือช่วงดีพลิตชัน โดยมีค่าประมาณ 1.5 โวลต์สำหรับ LED ที่ทำจาก GaAlAs ความยาวคลื่น 800-900 nm และประมาณ 1 โวลต์สำหรับ GaAsP ที่มีความยาวคลื่น 1300 nm วงจรจับสำหรับแหล่งกำเนิด LED แสดงดังรูป 4-14

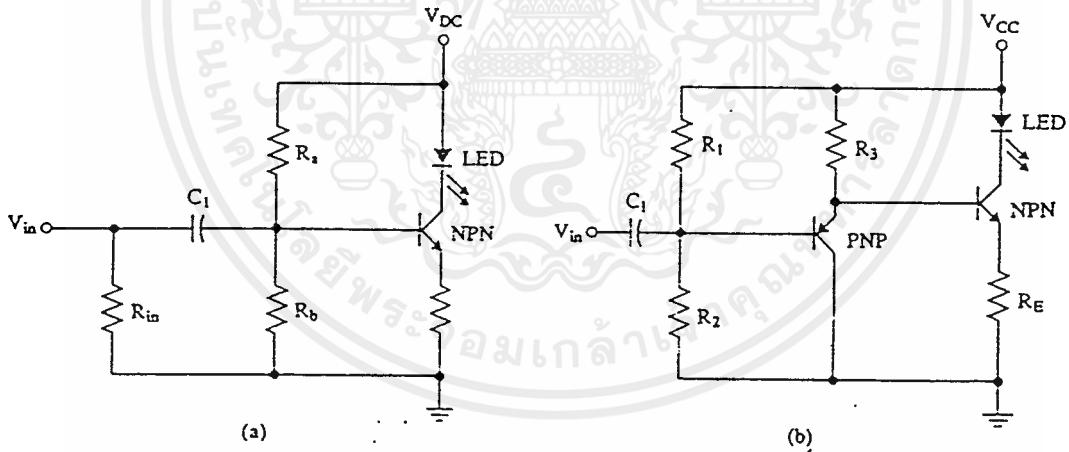


รูปที่ 4-14 แสดงวงจรจับอย่างง่ายสำหรับ LED source

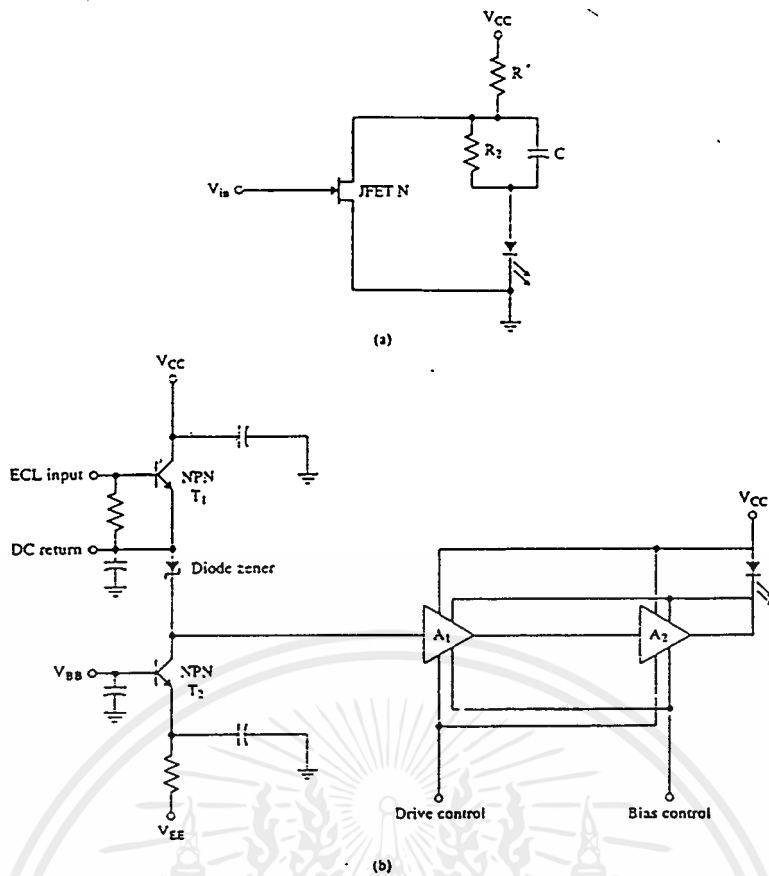
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การออกแบบตัวส่งแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอดอย่างง่าย

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะเหมือนกับ LED เนื่องจากทั้งคู่เป็นแหล่งกำเนิดแบบใช้สารกึ่งตัวนำทั้งคู่ แต่เลเซอร์จะให้แสงออกมาก็ต่อเมื่อแรงขับเคลื่อนสูงกว่าค่าแรงขับเคลื่อนขีดเริ่ม (threshold current) เนื่องจากต้องการกระแสขับที่มากกว่านั้นตัวต้านทานที่ใช้จำกัดกระแสจึงต้องมีค่าที่น้อย โดยค่าแรงขับเคลื่อนแสงอยู่ในช่วง 100-200 mA และแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.6-1.8 V วงจรขับของเลเซอร์ไดโอดในรูปที่ 4.15 เป็นการใช้ในทางอนาล็อกและรูปที่ 4-16 ใช้ในทางดิจิทัล ซึ่งในวงจร 4-16a ใช้วงจรขับแบบแบ่งกระแส (shunt driver) และทรานซิสเตอร์แบบฟิลด์เอฟเฟ็ค (field effect transistor) โดยค่า R_2 และ C ใช้ในการไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ โครงสร้างของวงจรนี้สามารถที่จะมอดดูเลทแสงได้มากถึงหน่วยของจิกะ (10^9)



รูปที่ 4-15 แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบอนาล็อก



รูปที่ 4-16 แสดงวงจรขับเลเซอร์ไดโอดแบบคิติดอล

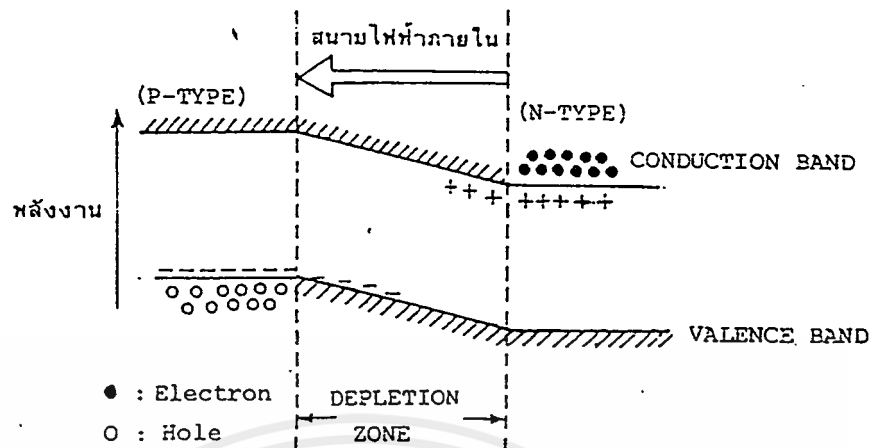
4.3 อุปกรณ์รับแสง

การรับแสงหมายถึงการเปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ในการทำงานนี้แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี วิธีที่หนึ่งเป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งเรียกวินี้ว่า Photo electric effect โดยใช้กระบวนการดูดพลังงานนั้นคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์แบนด์จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่คอนดักชันแบนด์แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแค่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เท่านั้น และในที่สุดจะกลับมารวมกับโฮลอีกครั้งหนึ่งในแถบวาเลนซ์แบนด์ทำให้ไม่ได้รับ photo electric effect ด้วยเหตุนี้เพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้าจะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับโฮลก่อนที่มันจะมารวมตัวกัน

วิธีที่สองทำโดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า Sensitive Heat effect โดยทั่วไปจะมีการตอบสนองช้ามากและความไวไม่ดีนักจึงใช้กับ เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และโบโรมิเตอร์และอื่นๆ แต่ไม่นำมาใช้ในการสื่อสารด้วยแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง นั่นคือเพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับโฮลนั้นโดยทั่วไปใช้ PN-junction ซึ่งที่รอยต่อของ P-N นั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในที่ว่างขึ้นโดยมันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของ N-type ของโฮลของ P-type ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและบวกตามลำดับ เป็นผลทำให้ไม่มีอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นตรงบริเวณรอยต่อนี้ เรียกว่า Depletion zone ดังในรูปที่ 4-17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-17 แสดงลักษณะของ Depletion zone

อุปกรณ์รับแสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่จะเป็นพวกโฟโตดีเทคเตอร์ (photodetector) โดยทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานทางแสงเป็นพลังงานทางไฟฟ้า โฟโตดีเทคเตอร์ในอุดมคติจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

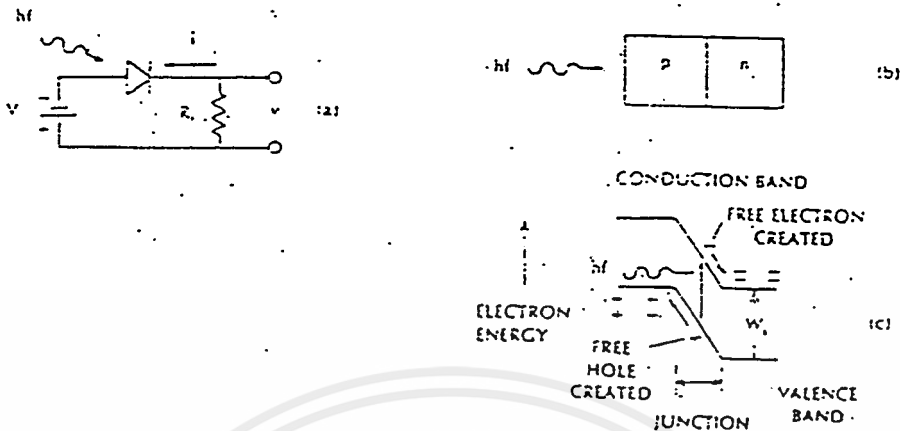
1. จะต้องมีความสามารถในการรับแสงที่เบาบางที่ตกกระทบอุปกรณ์
2. จะต้องสามารถทำงานในช่วงใกล้อินฟราเรด (850,1300,1500 nm)
3. จะต้องมีความเร็วเพียงพอต่อการเปลี่ยนแสงเป็นอิเล็กตรอน
4. จะต้องมีขนาดเล็กเข้ากับเส้นใยนำแสงได้ดี
5. จะต้องมียุคที่ต่ำ
6. จะต้องไม่ไวต่อสิ่งแวดลอม

โดยปกติทั่วไปจะใช้ตัวรับแสงชนิดที่เรียกว่า PN Photodiode, PIN Photodiode และ APD (avalanche photodiode)

4.3.1 โฟโตไดโอด (PN Photodiode)

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าโฟโตไดโอดจะทำงานเมื่อมีแรงดันไบอัสให้กับตัวโฟโตไดโอดแบบไบอัสกลับ(reverse bias) ตามรูปที่ 4-18 แสดงลักษณะของ PN photodiode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-18 a) เมื่อป้อนแรงดัน reverse bias
b) ลักษณะของ PN junction
c) แสดงระดับพลังงาน

เมื่อให้แรงดันไฟไบอัสกลับจะทำให้ค่าพลังงานก่อกำแพงศักย์ (energy barrier) ระหว่างรอยต่อพีและเอ็นเพิ่มขึ้นทำให้อิเล็กตรอนอิสระทางด้านเอ็นและโฮลอิสระทางด้านพีไม่สามารถข้ามบริเวณที่เกิดก่อกำแพงศักย์ได้จึงไม่มีกระแสไหล บริเวณรอยต่อที่ไม่มีประจุใดๆเลยนี้เรียกว่า Depletion zone ตามที่กล่าวมาแล้ว บริเวณความต้านทานสูงเป็นผลให้โวลเตจทั้งหมดที่ตกคร่อม ไดโอดจะตกคร่อมบริเวณนี้เกือบทั้งหมด

พิจารณา รูปที่ 4-18(c) เมื่อกลุ่มก้อนโฟตอนถูกดูดกลืนในรอยต่อหลังจากที่ผ่านด้านพี มาแล้ว การดูดกลืนพลังงานทำให้อิเล็กตรอนข้ามแถบช่องว่างพลังงาน (band gap) จากวาเลนซ์แบนด์ไปยังคอนดักชันแบนด์ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและจะทำให้โฮลออกจาก วาเลนซ์แบนด์ ดังนั้นจะมีประจุอิสระที่ถูกสร้างขึ้นจากการดูดกลืนโฟตอน ซึ่งอิเล็กตรอนจะเคลื่อนตัวลงไปยังก่อกำแพงศักย์และโฮลก็จะเคลื่อนที่ไปยังก่อกำแพงศักย์ซึ่งเป็นสาเหตุให้กระแสไหลผ่าน วงจรภายนอกเหมือนกับการปลดปล่อยแสงของอิเล็กตรอน ซึ่งในกรณีนี้จะเกิดกระแสไหลในหลอดไฟได้ไดโอดเมื่อโฮลและอิเล็กตรอนรวมตัวกันใหม่ที่บริเวณนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าอ่อนๆ ซึ่งจะทำให้ประจุต่างๆหยุดเคลื่อนที่ทำให้กระแสหยุดไหล นอกจากนี้ประจุพาหะจะถูกสร้างขึ้นใกล้ๆ Depletion zone และมันสามารถที่จะแพร่ผ่านบริเวณนี้ไปได้ ดังนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าจำนวนมากที่บริเวณรอยต่อทำให้มีกระแสจากภายนอกเกิดขึ้น

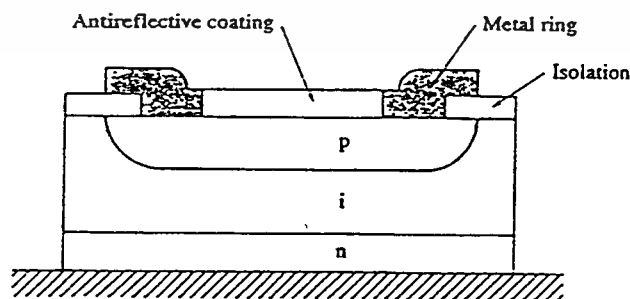
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ฟิโตนไดโอด (PIN photodiode)

ฟิโตนไดโอดเป็นอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ชั้นของ depletion-layer เข้ามาใช้ในการทำงาน เรียกเต็มๆว่า positive-intrinsic-negative เป็นที่นิยมใช้มากในระบบสื่อสารในการเป็นดีเทคเตอร์รับแสง ฟิโตนจะมีชั้นอินทริสติก (intrinsic) อยู่ระหว่างกลางของชั้นที่มีการโด๊ปเป็นพาหะบวก หรือด้านพี และชั้นที่มีการโด๊ปเป็นพาหะลบหรือด้านเอ็น มีโครงสร้างดังที่มีแสดงในรูปที่ 4-19 แสงจะตกกระทบบนด้านพีของฟิโตนไดโอด และมีการดูดกลืนแสงโดยอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเข้าไปยังชั้นอินทริสติกเลเยอร์ที่ไม่ประจุอยู่เลย ดังนั้นจึงมีความต้านทานสูงทำให้โวลเตจที่ตกคร่อมไดโอดจะตกคร่อมที่ชั้นนี้เกือบทั้งหมดและจะมีแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ามาก โดยในระหว่างนั้นต้องมีการไบอัสแรงดันแบบกลับให้กับฟิโตนไดโอดด้วย โดยในการสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลนั้นต้องใช้พลังงานที่เพียงพอ พลังงานโฟตอนที่ใช้ทำให้เราทราบค่าของความยาวคลื่นคัทออฟ (Cutoff wavelength) ไม่อย่างนั้นฟิโตนไดโอดจะไม่เปลี่ยนแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งค่าของความยาวคลื่นคัทออฟสามารถหาได้จากค่าแถบพลังงานช่องว่างของสารที่นำมาทำฟิโตนไดโอดได้ดังสมการ

$$\lambda_c = (h \cdot c) / E_g = 1.24 / E_g \dots\dots\dots(3)$$

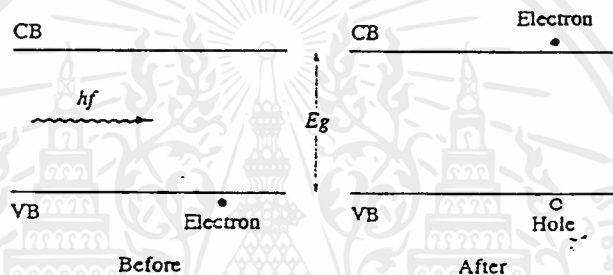
เมื่อ λ_c คือ ความยาวคลื่นที่ทำงาน ในหน่วยไมโครเมตร
 h คือ ค่าคงที่ของพลังค์
 c คือ ความเร็วของแสง
 E_g คือ แถบพลังงานช่องว่างของสารที่นำมาทำฟิโตนไดโอด (eV)



รูปที่ 4-19 แสดงโครงสร้างของ PIN photodiode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนจะต้องอยู่ในชั้นของคอนดักชันแบนด์ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าหรือกระแสโฟตอน คู่อิเล็กตรอน-โฮลจะถูกแยกโดยค่าสนามไฟฟ้าในชั้นอินทรีนสิกเลเยอร์ ความหนาของชั้นอินทรีนสิกเลเยอร์ควรจะบางแต่กว้างสำหรับการดูดกลืน (บริเวณที่ทำให้เกิดประจุลบ) ตามรูปที่ 4-20 ความบางเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากมันจะอำนวยความสะดวกในการตกกระทบของโฟตอนแล้วสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นมาบริเวณด้านอื่นควรจะแคบมากๆ อิเล็กตรอนจะได้ไม่เคลื่อนที่ออกจากอุปกรณ์ PIN photodiode จะใช้ในการสื่อสารระยะสั้นๆ และมีการมอดูเลตด้วยความถี่ต่ำ เหมาะสำหรับเป็นตัวรับของ LED ซึ่งปกติจะใช้แรงดันไบอัสกลับ 7-10 โวลต์

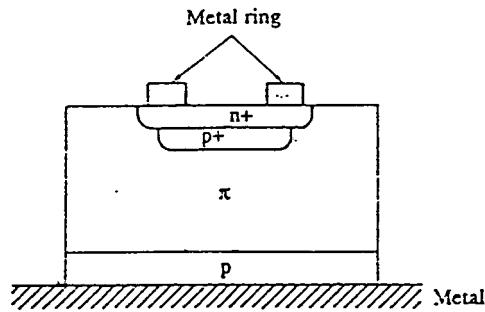


รูปที่ 4-20 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนทางแสง

4.3.3 อะวาลันซ์โฟโตไดโอด (avalanche photodiode)

อุปกรณ์รับแสงชนิดนี้จะทำงานเมื่อมีแรงดันไบอัสที่สูงมากตามปกติแล้วจะมากกว่า 300 โวลต์โดยมีกลไกขยายหรือการเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณของกระแสโฟโต้ที่เกิดขึ้น APDหรืออะวาลันซ์โฟโตไดโอดนี้เหมาะสำหรับการสื่อสารที่ใช้ระยะทางไกลๆและความถี่ที่มอดูเลตสูง (ประมาณ 100 MHz) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กับแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์ไดโอด ซึ่งโดยปกติจะใช้โครงสร้างที่เรียกว่า reach-through construction APD (RAPD) โดยที่ reach-through avalanche photodiode จะเรียงจากด้านพี (P-type) ซึ่งมี p^+ วางอยู่ และมี n^+ วางอยู่ด้วยตามรูปที่ 4-21 โครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างแบบ $p^+ \pi pn^+$ ชั้นของ π เลเยอร์นี้เป็นชั้นของอินทรีนสิกเลเยอร์ซึ่งมีการโด๊ปเป็นชนิดพีด้วยโบรอนหรือฟอสฟอรัส ลักษณะของ APD เหมือนกับ PN-junction สนามไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากชั้น depletion region

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-21 แสดงโครงสร้างของอะวาลานซ์โฟโต้ไดโอด

แสงที่เข้ามาจะต้องผ่านชั้น p^+ และจะถูกดูดกลืนโดยชั้น π เลเยอร์ โฟตอนจะสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนลอยมาที่รอยต่อพีเอ็น (PN^+ -junction) ซึ่งมีสนามไฟฟ้าสูง ซึ่งสนามนี้จะไปเร่งให้อิเล็กตรอน-โฮลเร็วขึ้นเป็นผลให้เกิดการชนกับคู่อิเล็กตรอน-โฮลคู่อื่นๆ ซึ่งการชนนี้จะเกิดขบวนการเพิ่มอย่างทวีคูณของพาหะโดยนิยามไว้ว่า

$$M = 1/(1 - V/V_B)^n \quad \dots\dots\dots(4)$$

- เมื่อ V คือ แรงดันไบอัสกลับที่ใส่เข้าไป
 V_B คือ แรงดันพังทลาย (Breakdown voltage)
 n คือ ค่าคงที่ระหว่าง 3 กับ 6 ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของสารที่ทำอุปกรณ์รับแสง

จำนวนเฉลี่ยของการเกิดอิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดจากการสร้างโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยความยาวเรียกว่า ไอออไนซ์เซชันเรต (ionization rate) บอกถึงความแตกต่างสำหรับอิเล็กตรอนกับโฮล

4.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินได้จากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพทางควอนตัม (Quantum efficiency) ซึ่งแสดงว่าแสงที่รับมานั้นเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากเท่าใด ความไวการรับแสง (ระดับรับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบระยะการถ่ายทอดของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงสัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้นและความเร็วของการตอบสนองการทำงาน สำหรับประสิทธิภาพทางควอนตัมกำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจาก APD ใช้ปรากฏการณ์การขยายแบบอะวาลานซ์ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10-20 dB (10-100 เท่า) เมื่อเทียบกับโฟโตไดโอดธรรมดา สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งๆที่เรียกว่า Shot noise ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสโฟโต้ (photo current) ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบทางเวลา โดย shot noise เป็นดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\text{short noise current} = I_o M^{2+F} \dots\dots\dots(5)$$

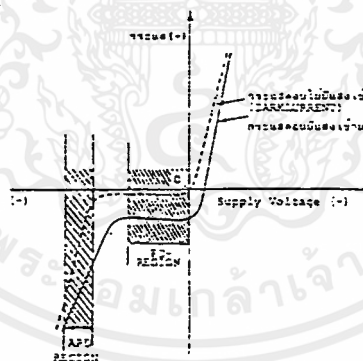
เมื่อ M คือ อัตราการขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง

I_o คือ กระแสโฟโต้ ในกรณีที่ $M=1$

F คือ Excess noise figure มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

นั่นคือจากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงที่เท่ากันถ้าหากว่าทำให้แรงดันไบอัสแบบย้อนกลับที่ป้อนให้มีค่าสูงและทำให้อัตราการขยายกระแสเพิ่มขึ้นนั้นสัญญาณออก(output signal $I_o M^{2+F}$) จะเพิ่มขึ้นมากด้วย แต่ shot noise ก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงโดยทั่วไปแสดงดังรูป 4-22 จากรูปจะช่วยให้เข้าใจความแตกต่างของบริเวณการทำงานของ APD และ photodiode ได้ดี และในรูปนี้ได้แสดงการไหลของกระแสที่เรียกว่า dark current ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไบอัสแบบกลับแต่ไม่มีแสงเข้ามา



รูปที่ 4-22 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และกระแสโฟโต้

กระแส dark current นี้มีลักษณะพิเศษคือ มันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณออก (output signal) shot noise เป็นสิ่งที่เกิดจาก dark current และอื่นๆ ที่เป็นแหล่งต้นกำเนิด ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนอกจากจะต้องคำนึงถึง shot noise นี้แล้วยังมี thermal noise ที่เกิดในวงจรไฟฟ้าไม่เกี่ยวกับสัญญาณแสงที่เข้ามา ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องเลือกค่า M ที่เหมาะสมทำให้ผลรวมของ shot noise และ thermal noise มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับระดับของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

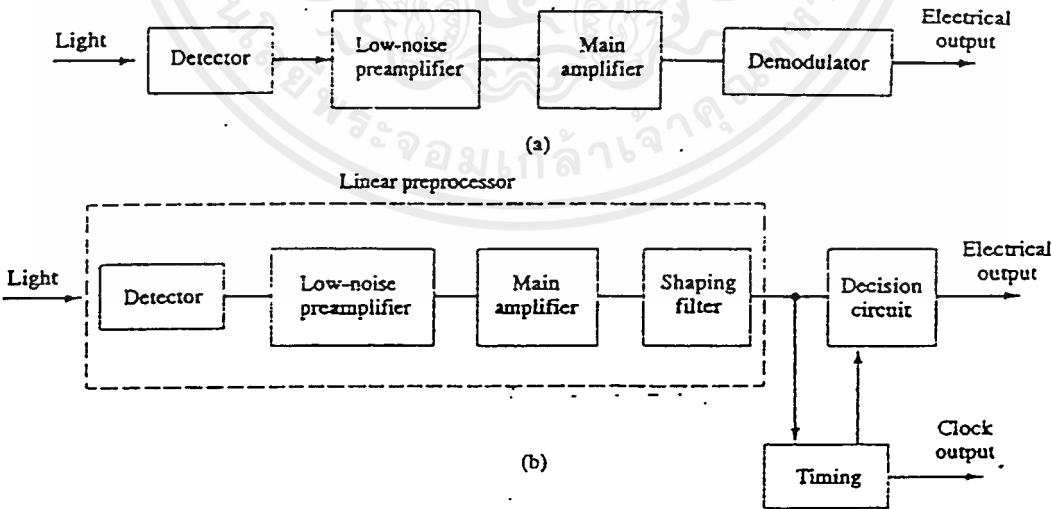
ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณเข้ามาจนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์คู่แสง แต่ปัจจุบันเนื่องจากทั้ง APD และ photodiode สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GHz จึงไม่มีปัญหาใช้งานการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ APD และ photodiode แสดงดังตารางที่ 4-2

ตาราง 4-2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

หัวข้อ \ อุปกรณ์รับแสง	PD	APD
ประสิทธิภาพทางควอนตัม	80%	80%
ความไวการรับแสง	-15-20 dBm 0	-30-40 dBm 0
ความเร็วการตอบสนองความถี่	หลาย GHz	หลาย GHz
อัตราขยาย	1	500
ค่าแรงดันไฟฟ้าไบอัสที่ต้องการ	0-20 V	30-200 V

4.5 วงจรอุปกรณ์รับแสง

ตามรูปที่ 4-23 แสดงลักษณะบล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสงทั้งสัญญาณที่เป็นดิจิทัลและอนาล็อกจะคล้ายกันมาก เอาท์พุทที่ออกมาจากดีเทคเตอร์จะมาเข้าในวงจรขยายเพื่อทำให้กระแสมากขึ้น

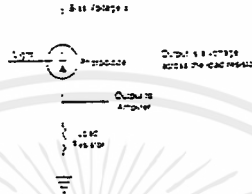


รูปที่ 4-23 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสง

- a) analog
- b) digital

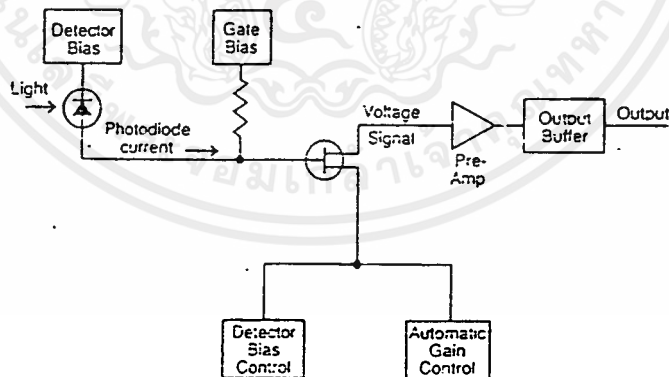
4.5.1 วงจรรับแสงแบบโฟโตรีโอด

ตามปกติ PIN และ PN photodiode ที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงมีวงจรที่ใช้ตามรูปแบบที่กำหนดซึ่งจะต้องมีการไบอัสกลับให้แก่โฟโตรีโอดและความต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่กับโฟโตรีโอด ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4-24 ซึ่งวิธีนี้โฟโตรีโอดจะเป็นตัวนำทางแสง (photoconductive) เนื่องจากกระแสโฟโตรีโอดที่ไหลเป็นสัดส่วนกับความต้านทานของความสว่างของโฟโตรีโอด



รูปที่ 4-24 แสดงวงจรรับแสงของ PIN และ PN photodiode

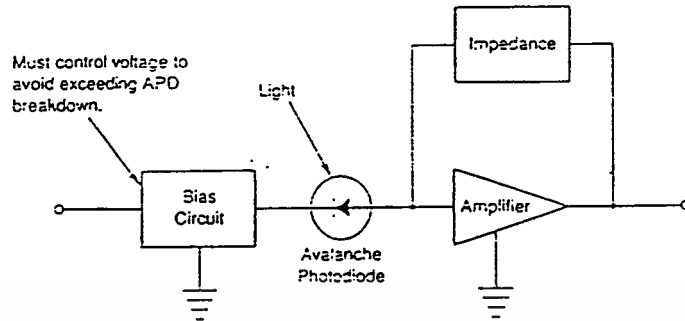
การแบ่งแรงดันระหว่างโฟโตรีโอดกับตัวต้านทานขึ้นอยู่กับความสว่างถ้าสว่างมากโฟโตรีโอดกระแสก็มากในวงจรที่แสดงนี้สัญญาณข้อมูลจะตกคร่อมที่ตัวความต้านทานนอกจากนี้ยังมีวงจรที่ยุ่งยากกว่าโดยมีวงจรขยายด้วยนอกจากตัวต้านทาน คือ PIN-FET and detector preamplifier ในรูปที่ 4-25



รูปที่ 4-25 แสดงบล็อกไดอะแกรม PIN-FET receiver circuit

4.5.2 วงจรรับแบบอะวาลานซ์โฟโตรีโอด

รูปแบบของวงจรก็จะคล้ายกับวิธีแรกเนื่องจากต้องการแรงดันไบอัสเหมือนกันแต่ต้องการมากกว่า ซึ่งแต่ละขั้นตอนต้องใช้ความแน่นอนในการทำซึ่งรูปแบบแสดงในรูปที่ 4-26 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-26 แสดงวงจรรับแบบอะวอลานซ์โฟโอดีโคอย่างง่าย

ในทางปฏิบัติมีค่าๆ หนึ่งที่มีความสำคัญกับโฟโอดีคเทคเตอร์ คือค่า Responsivity (R) บางครั้งอาจเรียกว่า radiant sensitivity ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของกระแสโฟโอดี (กระแสที่เกิดจากการดูดกลืนโฟตอน) กับพลังงานที่ตกกระทบ

$$R = I_p / P_i \quad \dots\dots\dots (6)$$

โดย R มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อวัตต์ (Ampere/ watt)

และ $I_p = (N_e * e) / s \quad \dots\dots\dots (7)$

โดย e คือ ประจุของอิเล็กตรอน

N_e คือ จำนวนของอิเล็กตรอนที่ถูกสร้างขึ้น

และ $P_i = (N_p E_p / s) \quad \dots\dots\dots (8)$

โดย E_p คือ พลังงานของโฟตอน

N_p คือ จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบ

ดังนั้นจะได้ว่า

$$R = (N_e * e) / (N_p E_p) = (n_e) / E_p \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$R = (n_e) / (hf) = [n_e (e \lambda)] / (hc) \quad \dots\dots\dots (10)$$

เมื่อ λ มีหน่วยเป็นเมตร

c มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

R มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อวัตต์

e มีหน่วยเป็นคูลอมป์

ดังนั้นจะได้

$$R = (n_q \lambda) / 1.24 \dots\dots\dots(11)$$

จากสมการข้างต้นและ responsivity จะเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มความยาวคลื่น เมื่อแสงพุ่งเข้าโฟโตะไดโอดที่บรรจุอยู่ภายในแก้วหรือพลาสติก โดยแสงต้องทะลุผ่านชั้นพีหรือชั้นเอ็นเข้าสู่ดีพลีชันหรืออินทรินสิก โดยหารผ่านเข้าได้ก็ขึ้นอยู่กับกำลังส่งของแสงด้วย

ตาราง 4-3 ตารางเปรียบเทียบตัวรับแสงชนิดต่างๆ

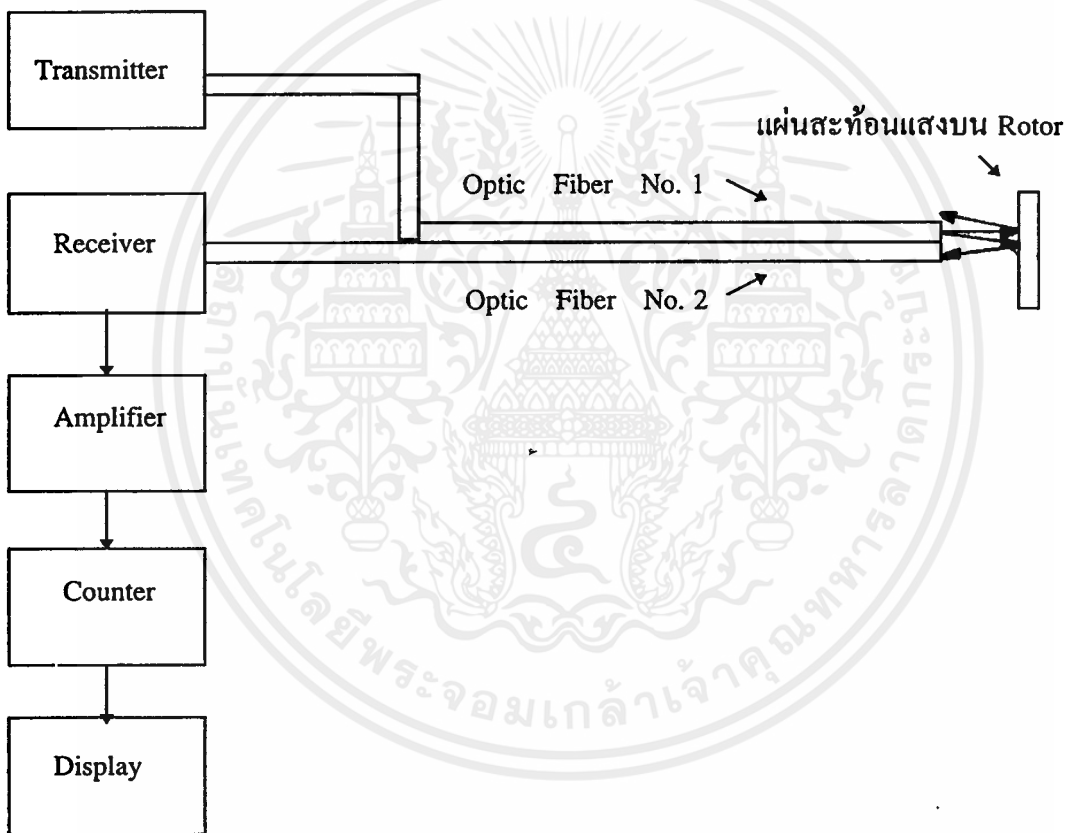
photo detector	wavelength (nm)	responsivity (A/W)	dark current (nA)	rise time (nS)	operating voltage(V)
Si P-N	550-850	0.4-0.7	1 - 5	5-10	20-40
Si PIN	850-950	0.6-0.8	3-300	1-5	5-40
InGaAs PIN	300-1500	0.8	10-30	1-3	5-40
Si APD	650-900	7.4-100	1	0.5-2	60-120
photo TR	800-900	70	25-100	5-15µs	10

บทที่ 5

หลักการและการออกแบบเครื่องมือ

5.1 โครงสร้างและการทำงานของชุดวัด

โดยอาศัยหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นในการนำเส้นใยนำแสงมาประยุกต์ใช้ทำชุดวัดความเร็วรอบโดยจะใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก เมื่อทำการออกแบบโครงสร้างของชุดวัดความเร็วรอบพบว่ามีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 5-1 แสดงลักษณะโครงสร้างของชุดวัดความเร็วรอบ

ส่วนประกอบที่สำคัญของชุดวัดความเร็วรอบ

1. เส้นใยนำแสงที่ประยุกต์ใช้ทำเป็นชุดวัดความเร็วรอบ (Fiber Optic Transmission Line)
2. วงจรส่งสัญญาณแสง (Transmitter)
3. วงจรรับสัญญาณแสง (Reciever)
4. ชุดหมุนที่ติดแถบสะท้อน (Rotor)
5. วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)
6. วงจรนับค่าความเร็ว (Counter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

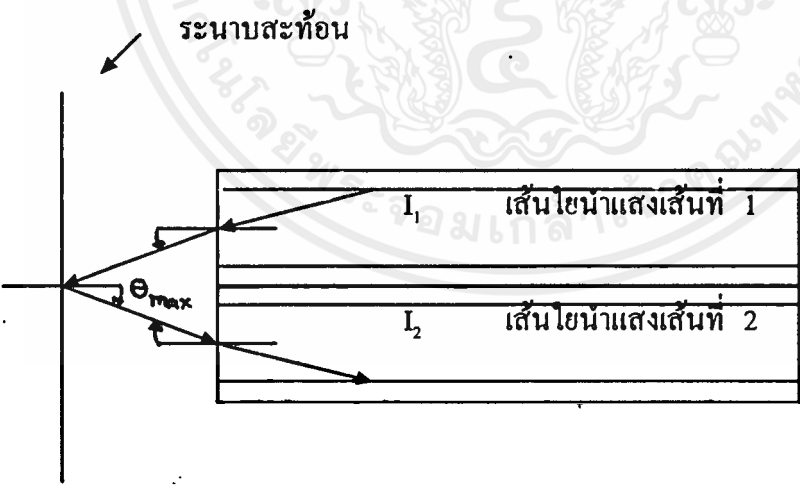
7. ส่วนแสดงผล (Display)

5.1.1 หลักการและแนวความคิดของวงจรส่งสัญญาณแสง

วงจรส่งสัญญาณแสงจะประกอบด้วย วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ขับ แอลอีดีอินฟาเรด ให้ส่งสัญญาณแสงออกมาตลอดเวลา สัญญาณแสงที่ได้ควรจะมีค่าความเข้มที่คงที่และสัญญาณแสงนี้จะถูก คลังปั้งเข้าไปในเส้นใยนำแสงเส้นที่หนึ่ง ซึ่งสัญญาณแสงที่ถูกส่งออกมาตรงปลายเส้นใยนำแสงเส้นที่ หนึ่ง จะไปตกกระทบบนระนาบสะท้อนแสง ซึ่งติดอยู่บนชุดหมุนแล้วจะสะท้อนกลับเข้ามายังเส้นใยนำ แสงเส้นที่สอง สัญญาณแสงที่สะท้อนกลับเข้ามานี้จะมีลักษณะเป็นพัลส์ และเข้าสู่วงจรรับสัญญาณแสง ค่อไป

5.1.2 เส้นใยนำแสงที่ประยุกต์ใช้ทำชุดวัดความเร็วรอบ

จะใช้เส้นใยนำแสงชนิดมัลติโหมดที่เป็นพลาสติกสองเส้น โดยทำการวางเส้นใยนำแสงทั้ง สองให้ขนานกัน โดยที่เส้นใยนำแสงเส้นที่หนึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณแสงออกไปยังระนาบสะท้อนแสง ส่วนเส้นใยนำแสงเส้นที่สองนั้นก็ทำหน้าที่รับสัญญาณแสงจากระนาบสะท้อนเข้ามาสู่วงจรรับ สัญญาณแสงค่อไป ดังรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-2 แสดงลักษณะของสัญญาณแสงที่ปลายของเส้นใยนำแสงเส้นที่หนึ่งและสอง

จากรูป แสดงลักษณะของสัญญาณแสงที่ปลายของเส้นใยนำแสงเส้นที่หนึ่งและสอง. สัญญาณแสงที่ถูก ส่งออกจากปลายเส้นใยนำแสงเส้นที่หนึ่งจะมีความเข้มของแสงให้เป็น I_1 สัญญาณแสงนี้จะไปสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนระนาบสะท้อนแล้วเข้าสู่เส้นใยนำแสงเส้นที่สอง ซึ่งจะมีค่าความเข้มแสงเป็น I_2 และจะมีค่าน้อยกว่า I_1 เนื่องจากเกิดการสูญเสียไป

5.1.3 แผ่นระนาบสะท้อน

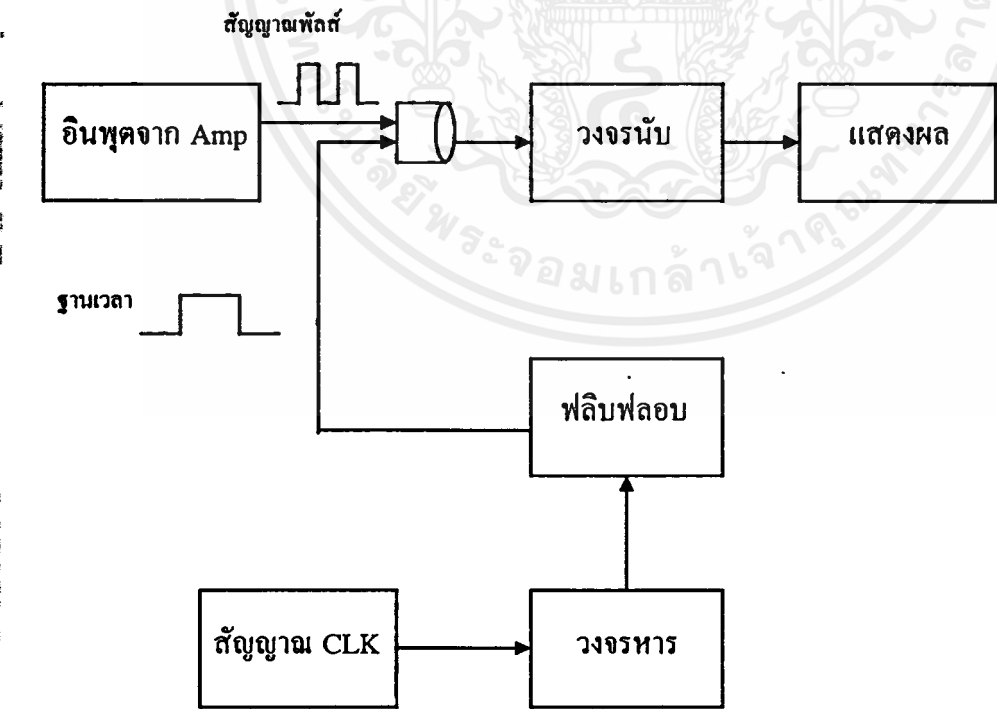
ทำจากแผ่นอะลูมิเนียมฟลอยด์ที่มีลักษณะผิวเรียบเป็นมันวาว เหมาะสำหรับการสะท้อนของรังสี

5.1.4 หลักการและแนวความคิดของวงจรรับสัญญาณแสง

ประกอบด้วยตัวรับแสงซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่นำสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ส่งต่อไปสู่วงจรขยายสัญญาณ ทำการขยายสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ให้มีค่าเพียงพอและไม่เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่ได้เพื่อที่จะนำไปใช้ในส่วนของวงจรมับและแสดงผลต่อไป

5.1.5 วงจรมับและแสดงผล

วงจรมับจะเป็นวงจรที่ทำหน้าที่นับสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณ แล้วนำค่าที่นับได้นี้มาแสดงบนส่วนแสดงผลซึ่งจะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังรูป



รูปที่ 5-3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรมับและแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.6 ชุดหมุนติดแถบสะท้อน

ชุดหมุนติดแถบสะท้อนแสงนี้เราจะออกแบบโดยใช้จานหมุนแบนทรงกระบอกติดแถบสะท้อนแสงอยู่ด้านข้างและสามารถปรับความเร็วในการหมุนได้โดยปรับแรงดันที่ให้กับมอเตอร์ที่ติดกับจานหมุน

5.2 การกำหนดหน้าที่และความสามารถของวงจร

ในการทำโครงงานพิเศษนี้จำเป็นจะต้องกำหนดความสามารถของวงจรที่ใช้ในโครงงานพิเศษหรืออาจเรียกได้ว่าเป็นความสามารถของโครงงานพิเศษนั่นเอง โดยมีเงื่อนไขดังนี้

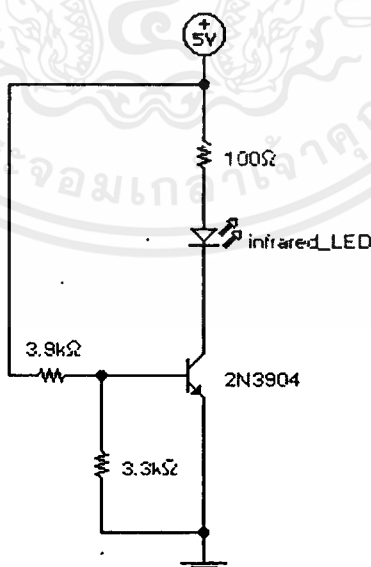
1. วัดความเร็วรอบได้ต่ำสุด 1 รอบ / วินาที
2. วัดความเร็วรอบได้สูงสุด 1 ล้านรอบ / วินาที
3. อัตราการสุ่ม : 2 วินาที / ครั้ง หรือ 0.2 วินาที / ครั้ง
4. แรงดันและกระแสในวงจร : 5V , 200mA
5. ฐานเวลา : $x' \text{ tal}$ ขนาด 2 หรือ 4 MHz
6. ภาควิชาแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์ด้วยตัวเลข 4 หลัก

บทที่ 6

การสร้างชุดวัดความเร็วรอบ

6.1 วงจรส่งสัญญาณแสง

จากหลักการออกแบบวงจรส่งสัญญาณแสงที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 จะมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ขับแอลอีดีอินฟราเรดให้ส่งสัญญาณแสงออกมาตลอดเวลา โดยในที่นี้เราจะใช้แอลอีดีอินฟราเรดเบอร์ IF-E91 แอลอีดีอินฟราเรดตัวนี้จะมีช่วงใช้งานในย่านความยาวคลื่นประมาณ 880 นาโนเมตรสาเหตุที่ทำให้ใช้แอลอีดีอินฟราเรดตัวนี้ก็เพราะมีกำลังส่งสูงสามารถใช้กับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้ และเส้นใยนำแสงที่ใช้ในโครงการพิเศษมีระยะยาวไม่มากนัก ส่วนการที่จะให้แอลอีดีอินฟราเรดให้สัญญาณแสงออกมาตลอดเวลานั้นจำเป็นจะต้องใช้วงจรขับที่มีเสถียรภาพค่อนข้างสูงเนื่องจากจำเป็นที่จะต้องให้สัญญาณแสงที่ได้นั้นมีความเข้มแสงค่อนข้างจะคงที่ตลอดเวลา ในโครงการพิเศษนี้จะใช้วงจรขับที่เป็นทรานซิสเตอร์ที่เป็นแบบคอมมอนอีมิเตอร์ โดยในที่นี้จะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 เป็นตัวขับกระแส วงจรขับนี้จำเป็นจะต้องออกแบบให้สอดคล้องกับสเปคของแอลอีดีอินฟราเรดเพื่อที่ไม่ให้เกิดความเสียหายแก่แอลอีดีอินฟราเรดและได้ความเข้มของแสงที่คงที่และอยู่ในย่านของความยาวคลื่นที่ถูกต้องกับแอลอีดีอินฟราเรด อีกทั้งยังเป็นการป้องกันการสูญเสียกำลังงานที่จะเกิดขึ้นในแอลอีดีอินฟราเรดได้ วงจรดังกล่าวเป็นดังรูป



รูปที่ 6-1 แสดงวงจรขับแอลอีดีอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 วงจรรับสัญญาณแสง

ประกอบด้วย วงจรรับสัญญาณแสง วงจรขยายสัญญาณ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.2.1 วงจรรับสัญญาณแสง

จากหลักการการออกแบบวงจรรับสัญญาณแสงที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 วงจรรับสัญญาณแสงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ตัวรับสัญญาณแสงจำเป็นต้องมีความไวต่อสัญญาณแสงเพียงพอ
2. ตัวรับสัญญาณแสงสามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้โดยไม่เกิดความเสียหายของสัญญาณ
3. วงจรรับสัญญาณควรมีสัญญาณรบกวนต่ำ

ในการรับสัญญาณแสงจะใช้ตัวรับสัญญาณแสงที่เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำประเภทโฟโตไดโอดซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ที่มีย่านการใช้งานอยู่ในช่วงอินฟราเรดที่ค่าความยาวคลื่นประมาณ 850 นาโนเมตร ในที่นี่เราจะใช้โฟโตไดโอด เบอร์ IF-D91 สาเหตุที่ใช้โฟโตไดโอดตัวนี้เนื่องจากมีการตอบสนองต่อสัญญาณแสงได้ดี, มีความเป็นเชิงเส้นสูง, สามารถใช้กับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้และระยะของเส้นใยนำแสงที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้มีความยาวไม่มากนัก



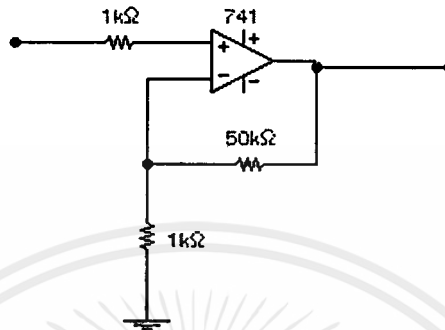
รูปที่ 6-2 แสดงวงจรรับสัญญาณแสง

6.2.2 วงจรขยายสัญญาณ

จากหลักการการออกแบบวงจรขยายสัญญาณที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 จำเป็นจะต้องใช้วงจรขยายสัญญาณที่มีอัตราขยายสูงมีสัญญาณรบกวนต่ำและเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อย ในโครงการพิเศษนี้จะใช้ออปแอมป์เบอร์ 741 เป็นตัวขยายสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จากวงจรรับสัญญาณแสง ในการใช้งานออปแอมป์เบอร์ 741 จะใช้คircuit เป็นแบบวงจรขยายไม่กลับเฟสโดยอัตราขยายแรงดันจะเอ็กสตรีนเป็นเอ็กสตรีนที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกควบคุมจากอุปกรณ์ภายนอกสาเหตุที่ใช้โอปแอมป์เบอร์ 741 ก็เพราะคุณสมบัติที่ดีของโอปแอมป์ดังนี้

1. อินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงมาก ($M\Omega$) จนกระแสที่เข้าอินพุตจะต่ำจนเกือบเป็นศูนย์
2. อัตรายายจะมีค่าสูงมาก
3. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากจนไม่ทำตัวเป็นโหลดต่อภาคเอาท์พุตของวงจรขยาย

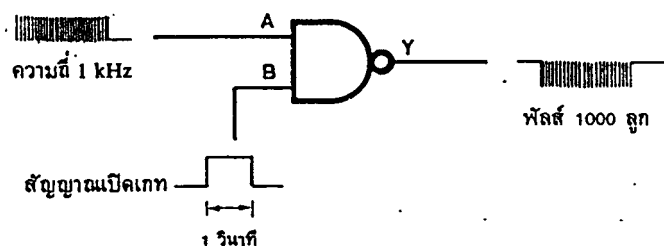


รูปที่ 6-3 แสดงวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสโดยใช้โอปแอมป์

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟสดังรูปที่ 6-3 สามารถควบคุมอัตรายายแรงดันได้จากค่าความต้านทานที่ต่ออยู่ในวงจร วงจรในที่นี้มีอัตรายายประมาณ 50 เท่า

6.3 วงจรนับและส่วนแสดงผล

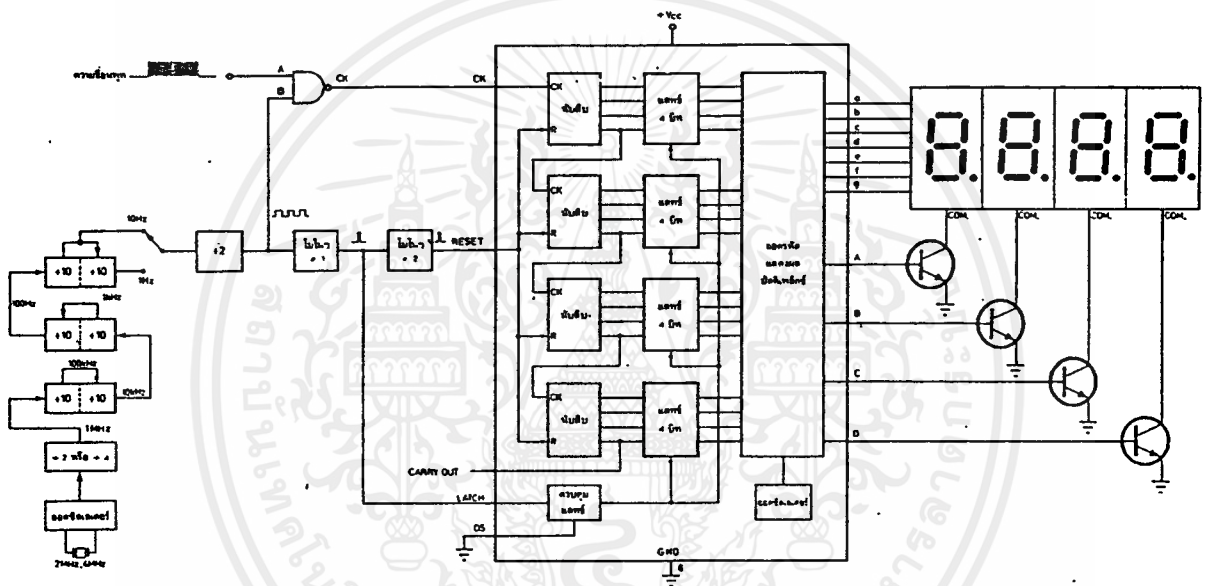
จากหลักการการออกแบบวงจรนับและส่วนแสดงผลที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 จะเริ่มจากการวัดความถี่ก่อนซึ่งมีพื้นฐานดังนี้ จากรูปที่ 6-4 จะใช้เนกเกตเป็นตัวปิดและเปิดสัญญาณตามเวลาที่กำหนด ด้วยสัญญาณเปิดเกต (B) ถ้าป้อนความถี่เข้าที่ขา (A) และปิด-เปิดเกตด้วยเวลา 1 วินาที จะได้จำนวนพัลส์ที่เอาท์พุต (Y) เท่ากับความถี่ที่ป้อนเข้า ตัวอย่างเช่น ถ้าขา A ป้อนความถี่ 1 กิโลเฮิร์ต และขา B ป้อนสัญญาณเปิดเกตนาน 1 วินาที จะได้จำนวนพัลส์เป็น 1000 ลูก เมื่อจำนวนพัลส์ที่ขา Y ไปเข้าวงจรนับก็จะแสดงผลเป็นเลข 1000 คือค่าของความถี่ที่วัดได้



รูปที่ 6-4 แสดงการใช้สัญญาณฐานเวลาเปิดเกตทำให้ได้จำนวนพัลส์ตามค่าความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่าความถูกต้องของการวัดจึงขึ้นอยู่กับคาบเวลาของสัญญาณเปิดเกทโดยทั่วไปจะนำมาจากหารความถี่สูงๆ ลงมาเพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น นำความถี่ 1 เมกกะเฮิร์ต จากคริสตอลมาหารด้วย 10 จำนวน 6 ครั้งจะได้ความถี่ 1 เฮิร์ต ซึ่งมีช่วงเวลาเปิดเกทเพียง 0.5 วินาที จึงต้องนำมาหารด้วย 2 อีกครั้งเพื่อให้ได้ 1 วินาที จากหลักการนี้ถ้าเปิดเกทด้วยเวลาเพียง 0.1 วินาที (5 เฮิร์ต) จะได้จำนวนพัลส์เป็น 1/10 ของความถี่ที่ต้องการวัด นอกจากแนคเกทและสัญญาณเปิดเกทมาตรฐานแล้วยังต้องอาศัยวงจรนับจำนวนพัลส์และแสดงผลอีกด้วย ในที่นี้ขอแสดงในวงจรด้วยไอซี จีโมสสำเร็จรูปเบอร์ 74C926 เพราะเป็นไอซีที่ใช้งานได้ง่ายและมีขนาดเล็กซึ่งถ้าใช้ไอซีที่ที่แอลธรรมดาจะเป็นการสิ้นเปลืองมากกว่า

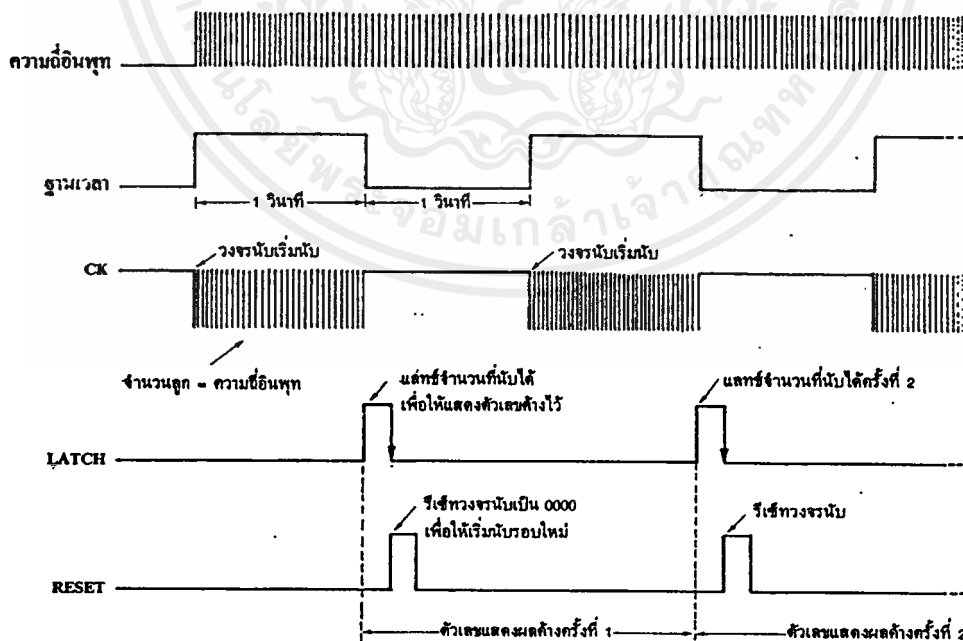


รูปที่ 6-5 จะแสดงแผนผังการทำงานของเครื่องวัดความถี่อย่างสมบูรณ์โดยไอซี 74C926

จากรูปที่ 6-5 ประกอบด้วยวงจรมับสิบ 4 หลัก วงจรเลขทศ 4 หลัก เพื่อส่งให้ส่วนแสดงผลซึ่งเป็นแบบมัลติเพล็กซ์แสดงตัวเลข 4 หลัก ส่วนวงจรโมโนสเตเบิล 2 ตัวทำหน้าที่สร้างสัญญาณแลตซ์และรีเซทเพื่อให้เกิดการนับความถี่ทุกครั้งของการเปิดเกทเนื่องจากไม่ได้มีการวัดค่าความถี่เพียงครั้งเดียว โดยวงจรมับสิบจะทำการนับทุกๆ 2 วินาที (ตามสัญญาณเปิดเกท) เพื่อให้แสดงความถี่ที่วัดได้ทุกๆ เวลาแม้ว่าความถี่ที่วัดจะเปลี่ยนไปก็ตาม แต่ก็มีขีดจำกัดทางด้านของความถี่ที่จะวัดเนื่องจากความถี่ที่จะวัดถูกป้อนเข้ามาของแนคเกทโดยตรง ซึ่งจะมีระดับแรงดันอยู่ในช่วง 0-2 โวลต์ ขึ้นไปจึงจะทำการวัดได้และยังวัดความถี่ของของรูปคลื่นขายน้ไฟสลับโดยตรงไม่ได้ ดังนั้นในวงจรที่ใช้งานจริงๆ จึงต้องมีส่วนปริแอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้สูงขึ้นและมีส่วนขมิทที่ทริกเกอร์ทำหน้าที่แปลงสัญญาณรูปคลื่นต่างๆ ให้เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เข้าใจหลักการในการนับความถี่จึงแสดงแผนผังเวลาไว้ในรูปที่ 6-6 เริ่มจากสัญญาณฐานเวลาเปิดเกท 1 วินาที (เป็นลอจิก 1) เมื่อทำการเปิดเกทตลอดช่วงเวลา 1 วินาที สัญญาณพัลส์จะป้อนเข้าวงจรนับไป 74C926 ทำการนับเรื่อยไปจนหมดเวลา 1 วินาทีหรือสัญญาณฐานเวลาเป็นขอบขาลงพอดี วงจรโมโนสเตเบิลด์วี่ที่ 1 จะทำงานโดยกำเนิดสัญญาณแลทช์ให้ 74C926 ทำการแลทช์ค่าที่นับได้ค้างเอาไว้แล้วส่งไปแสดงผลทันที ขณะเดียวกันนี้สัญญาณแลทช์ยังไปกระตุ้นให้โมโนสเตเบิลด์วี่ที่ 2 เพื่อกำเนิดสัญญาณไปรีเซ็ตวงจรนับให้เป็น 0000 เพื่อเริ่มต้นการนับในการเปิดเกทครั้งต่อไป เป็นที่สังเกตว่าการเปิดเกทด้วยเวลา 1 วินาที วงจรจะทำการแสดงผลการนับใหม่ทุกๆ 2 วินาที ซึ่งอาจจะทำให้เสียเวลาในการอ่านค่าความถี่เมื่อความถี่เปลี่ยนไป ดังนั้นจึงมีสวิทช์เลือกเวลาในการเปิดเกทให้น้อยลง 10 เท่า คือเหลือเพียง 0.1 วินาทีจากความถี่ 10 เฮิรท์ซึ่งทำให้เนกาการเปลี่ยนแปลงของความถี่ได้เร็วขึ้นทุกๆ 0.2 วินาที และการที่จะเลือกเปิดเกทด้วยความถี่ 1 เฮิรท์ หรือ 10 เฮิรท์ นี้ยังขึ้นอยู่กับความถี่ที่วัดด้วย ถ้าหากความถี่ไม่คงที่ตลอดเวลาก็ควรจะเปิดเกทด้วยความถี่ 1 เฮิรท์ เพราะถ้าเป็น 10 เฮิรท์ ก็จะทำให้อ่านตัวเลขได้ลำบากเนื่องจากตัวเลขจะเปลี่ยนแปลงไปเร็วมากจนสายตารับไม่ทันและข้อสำคัญการเปิดเกทด้วยเวลา 0.1 วินาทีนี้ ยังมีผลเหมือนกับการหารความถี่ที่ต้องการวัดลงไป 10 เท่าด้วย ผลที่ตามมาก็คือทำให้สามารถวัดความถี่ได้สูงขึ้นอีก 10 เท่า



รูปที่ 6-6 แสดงแผนผังเวลาแสดงการทำงานของเครื่องวัดความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.1 หลักการทำงานของวงจรนับและแสดงผล

ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นพื้นฐานของวงจรที่จะกล่าวถึงในรูปที่ 6-7 ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้งานจริงๆ มีแต่รายละเอียดปลีกย่อยที่เพิ่มเติมเข้ามาเท่านั้น เช่น ต้องมีสวิตช์เลือกการวัด, ย่านการวัดและเบอร์ไอซีที่ใช้

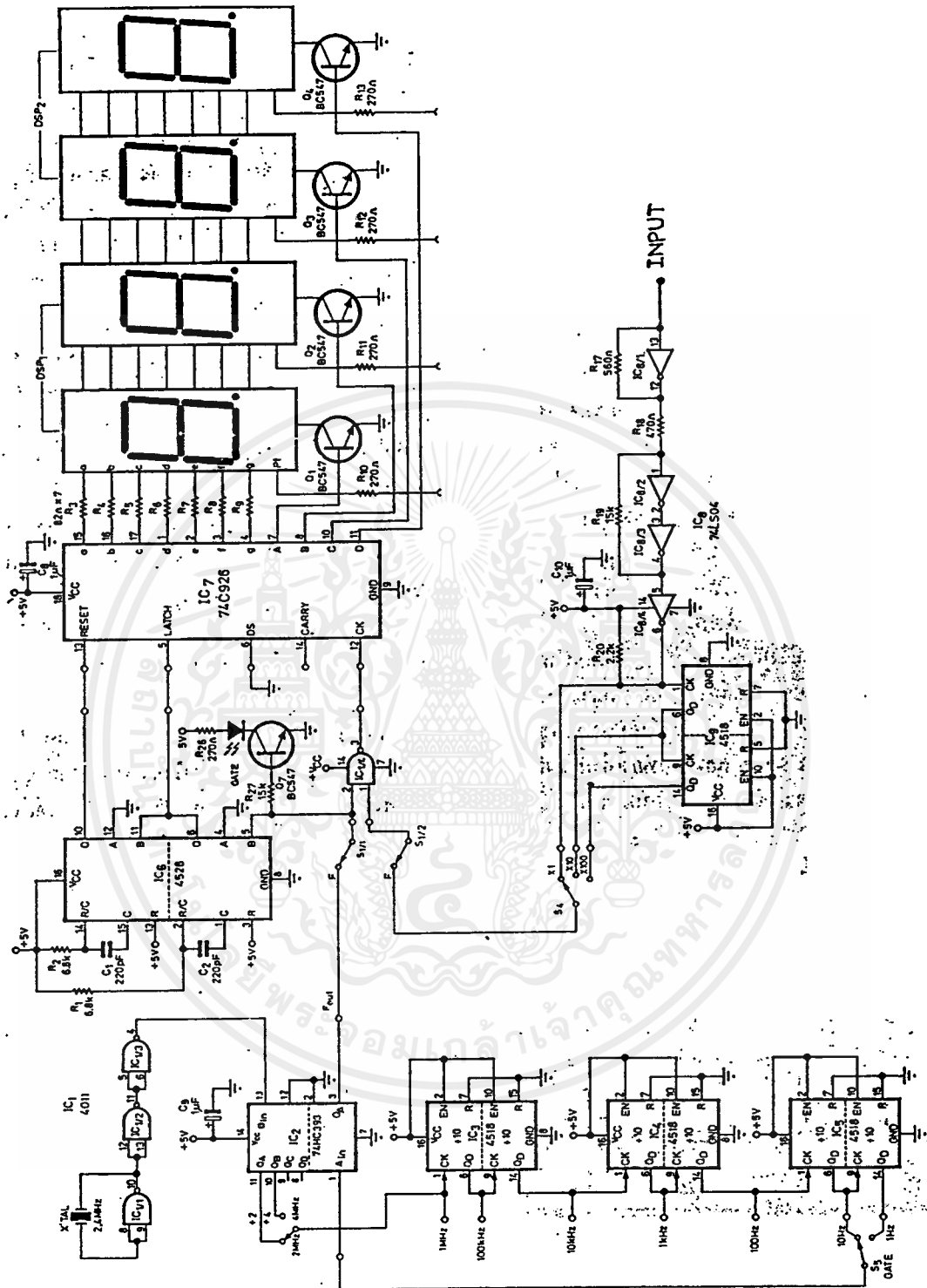
เริ่มด้วย $IC_{1/1}$ ทำการกำเนิดความถี่จากคริสตอลค่า 2 MHz หรือ 4 MHz ก็ได้ โดยมี $IC_{1/2}$, $IC_{1/3}$ เป็นบัฟเฟอร์ก่อนป้อนเข้า IC_2 ซึ่งมีวงจร 16(2,4,8,16) อยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งทำหน้าที่หาร 2 หรือ 4 อีกชุดหนึ่งใช้เพียงหาร 2 เท่านั้น ในที่นี้ป้อนความถี่เข้าที่ขา B_{in} เอาท์พุทออกทาง Q_A หรือ Q_B ถ้าเลือก Q_A ก็จะเป็นการหาร 2 แต่ถ้าเป็น Q_B เป็นการหาร 4 การเลือก Q_A หรือ Q_B ก็ขึ้นอยู่กับความถี่คริสตอลที่ใช้

เอาท์พุทจาก IC_2 จะเลือกความถี่ 1 MHz ป้อนเข้า IC_3 ถึง IC_5 ทำการหาร 10 อีก 6 ครั้ง โดยที่ IC_3 ถึง IC_5 เลือกใช้เบอร์ 4518 เพราะมีวงจรหาร 10 จำนวน 2 ชุดในตัวมัน ความถี่ที่ได้จาก IC_5 คือ 10 MHz และ 1 MHz จะถูกเลือกด้วยสวิตช์ เพื่อเลือกความเร็วของการเปิดเกท โดยผ่าน IC_2 ทำการหาร 2 เพื่อให้ได้เวลาในการเปิดเกทเป็น 1 วินาที และ 0.1 วินาทีป้อนเข้าเกท $IC_{1/4}$ ในส่วนของวงจรโมโนสเตเบิลเพื่อสร้างสัญญาณแลตซ์และรีเซทนั้น ใช้ IC_6 ซึ่งมีโมโนสเตเบิล 2 ชุด สำหรับ Q_1 ทำหน้าที่ขับกระแสให้ LED_1 แสดงสถานะการเปิดเกท

IC_7 ทำหน้าที่ในส่วนนับสัญญาณจากเกท $IC_{1/4}$ และแสดงผลทั้งหมดดังที่กล่าวมาแล้ว โดยใช้ตัวเลข 7 ส่วนชนิดคอมมอนคาโทด เนื่องจาก IC_7 แสดงผลในลักษณะมัลติเพล็กซ์ จึงต่อขาเซ็กเมนต์ a ถึง f ของทุกหลักขนานกันหมดและใช้ R_1 ถึง R_9 เป็นตัวจำกัดกระแส ส่วน Q_1 ถึง Q_4 ทำหน้าที่ขับกระแสของแต่ละหลัก

สัญญาณที่ถูกขยายแล้วจะส่งผ่าน C_1 เข้า $IC_{8/1}$ ถึง $IC_{8/4}$ ซึ่งต่อกันเป็นวงจรขมิตที่ทริกเกอร์ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณรูปคลื่นต่างๆ เช่นรูปไซน์, สามเหลี่ยม ให้เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมก่อนที่จะป้อนเข้าเกท $IC_{1/4}$ และมี IC_9 ทำหน้าที่หาร 10 จำนวน 2 ครั้งด้วยเพื่อเลือกย่านการวัดให้วัดความถี่ได้สูงขึ้น

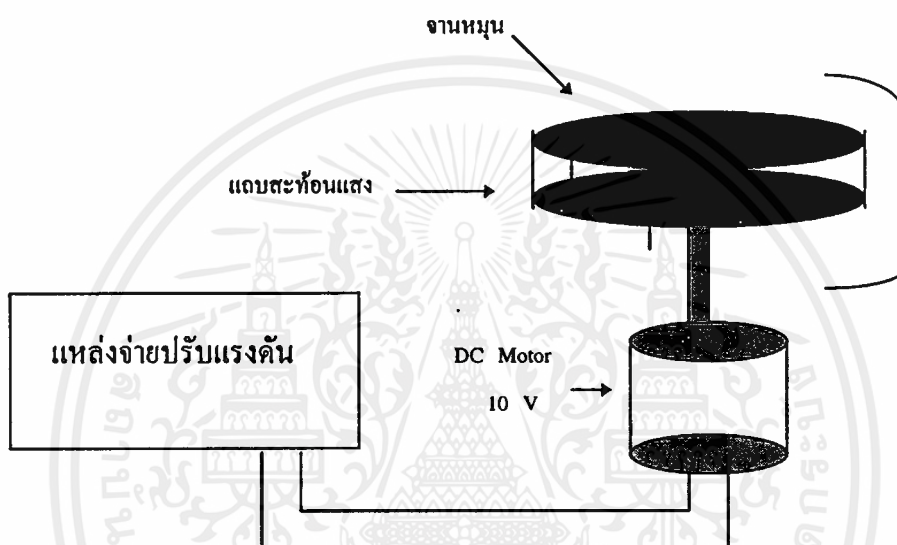
โดยปกติภาคแสดงผลแสดงตัวเลข 4 หลัก ตั้งแต่ 0000-9999 เมื่อใช้วัดความถี่โดยตรงจะมีย่านสูงสุดเพียง 10 kHz เท่านั้น เมื่อผ่าน IC_9 ทำการหารด้วย 100 จึงทำให้ย่านการวัดสูงขึ้นไปอีกเป็น 1 MHz และเมื่อเลือกเปิดเกทด้วยความถี่ 10 Hz จะทำให้วัดได้สูงถึง 10 MHz แต่เนื่องจากวงจรนี้ใช้ไอซี CMOS เป็นส่วนใหญ่จึงถูกจำกัดทางด้านความถี่ให้ลดลงมาเหลือประมาณ 4 MHz เท่านั้นที่เครื่องวัดความถี่จะทำงานได้ถูกต้อง



รูปที่ 6-7 แสดงวงจรสมบูรณของวงจรนับและแสดงผล

6.4 ชุดหมุนติดแถบสะท้อนแสง

ชุดหมุนติดแถบสะท้อนแสงนี้เราจะใช้จานหมุนแบนรูปทรงกระบอกมีความยาวเส้นรอบวง 20 ซม. และ 30 ซม. ที่ติดแถบสะท้อนแสงที่ทำจากอะลูมิเนียมฟลอยด์มีผิวเรียบเป็นมันวาวเหมาะสำหรับการสะท้อนรังสีต่างๆ ได้ดี โดยที่จานหมุนนี้จะติดอยู่กับ DC มอเตอร์ ขนาด 10 V ซึ่งเราจะสามารถควบคุมความเร็วของการหมุนได้โดยการปรับแรงดันที่ให้กับ DC มอเตอร์ ลักษณะของชุดหมุนนี้เป็นดังรูป



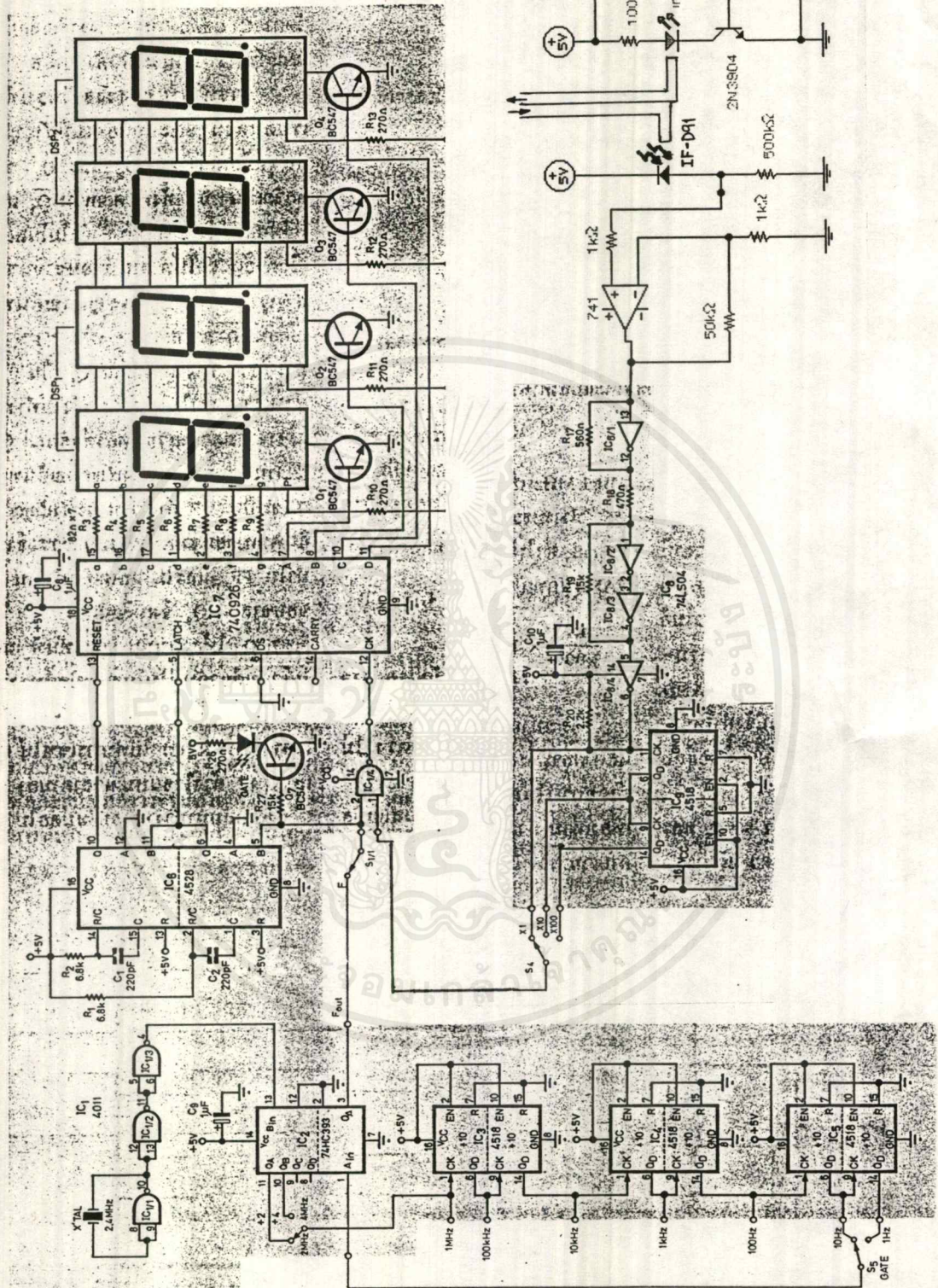
รูปที่ 6-8 แสดงลักษณะของชุดหมุน

6.5 ลำดับการทำงานของวงจร

จากวงจรทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นสามารถที่จะลำดับการทำงานของวงจรได้ดังนี้

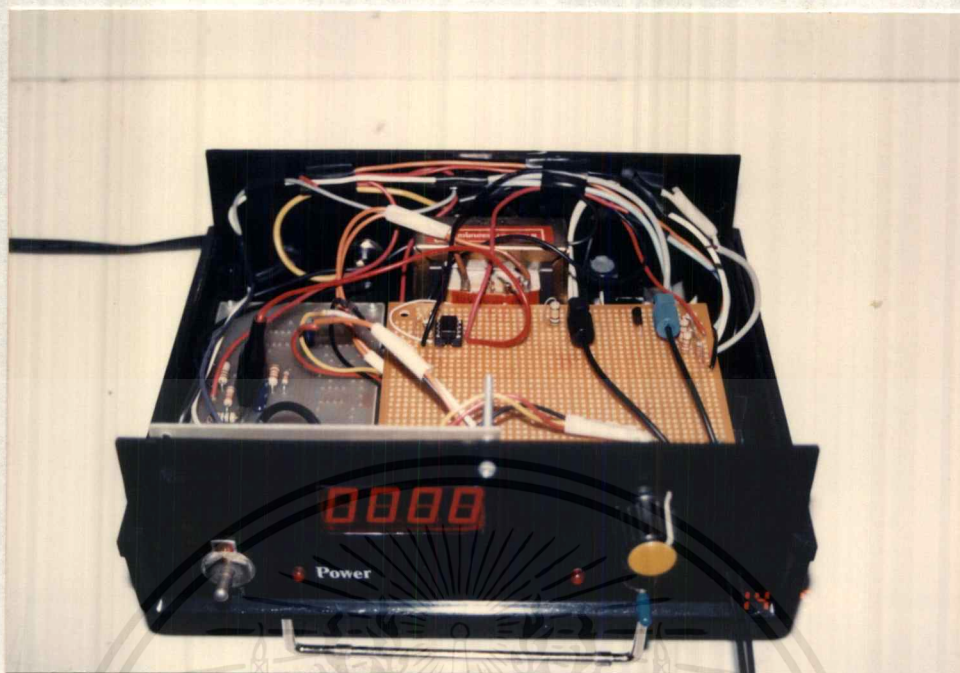
- เปิดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรทั้งหมด
- วงจรส่งสัญญาณแสงเริ่มส่งสัญญาณแสงออกมาตลอดเวลาโดยแอลอีดีอินฟราเรด
- สัญญาณแสงถูกคัปปลิ่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงเส้นที่ 1
- สัญญาณแสงตกกระทบแถบสะท้อนแสงกลับเข้าสู่เส้นใยนำแสงเส้นที่ 2
- สัญญาณพัลส์ที่ได้จะเข้าสู่วงจรรับสัญญาณแสงเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า
- วงจรขยายทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้ให้เหมาะสม
- สัญญาณพัลส์เข้าวงจรมิกซ์ทริกเกอร์
- สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมเข้าวงจรนับและแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-8 แสดงวงจรสมบูรณของชุดวัดความเร็วรอบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-9 แสดงลักษณะภายในของชุดวัดความเร็วรอบ



รูปที่ 6-10 แสดงลักษณะภายนอกของชุดวัดความเร็วรอบ

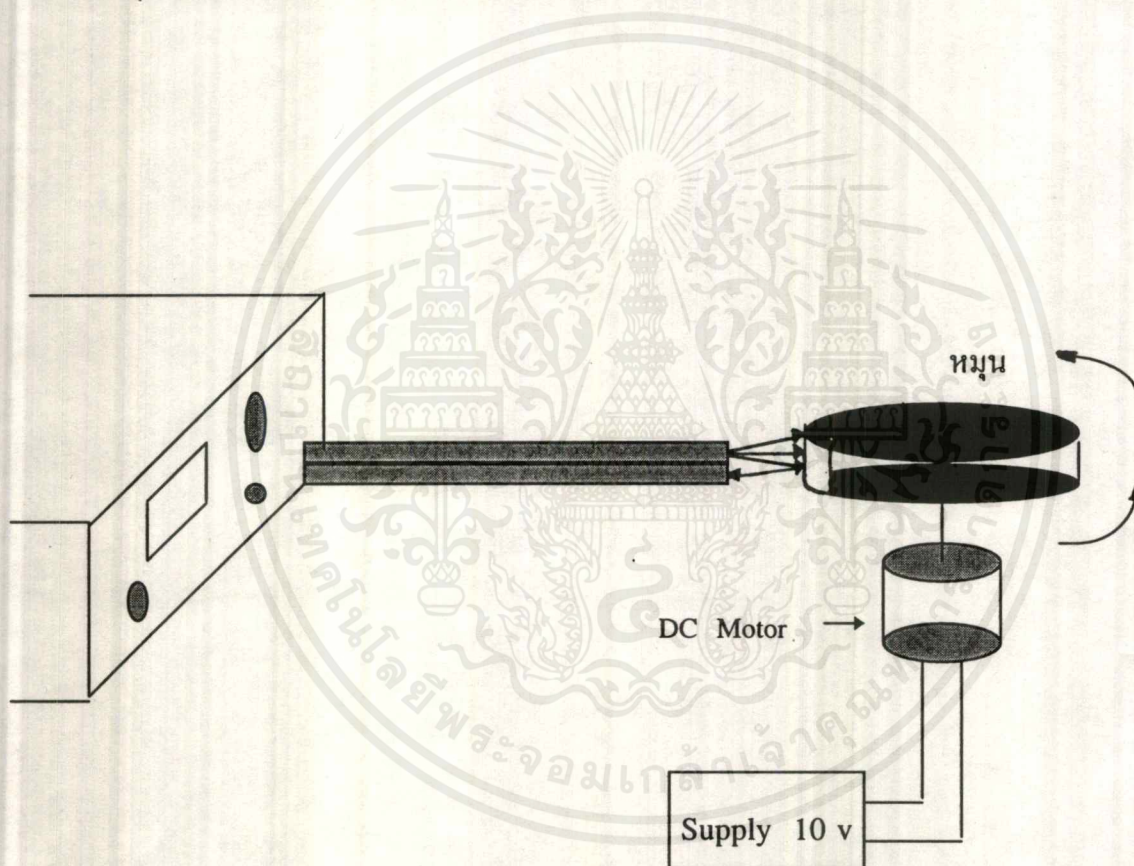
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองแนวทางการพัฒนา

7.1 ลักษณะการวางอุปกรณ์

การวางอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองวัดความเร็วรอบจะต้องมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 7-1 แสดงลักษณะการวางอุปกรณ์การทดลอง

7.2 ผลการทดลอง

เมื่อทำการสร้างชุดวัดความเร็วรอบเสร็จสมบูรณ์ก็ทำการทดลองวัดความเร็วของชุดหมุนที่เราทำการสร้างขึ้นโดยนำค่าที่วัดได้จากชุดวัดความเร็วรอบโดยใช้เส้นใยนำแสงของเรามาเทียบกับค่าที่ได้จาก Digital Tachometer มาตรฐานดังนี้

แรงดันให้ DC มอเตอร์ Volt	Fiber-OpticTachometer r / s	Digital Tachometer r / s	ค่าผิดพลาด %
1	9	8.96	0.44
1.5	15	15.18	1.18
2	18	18.10	0.55
2.5	23	23.08	0.34
3	28	28.08	0.28
3.5	33	32.91	0.27
4	39	38.56	1.12
4.5	44	43.70	0.68
5	49	48.45	1.13
5.5	53	53.25	0.46
6	58	58.21	0.36
6.5	64	63.33	1.05
7	69	68.60	0.58
7.5	74	73.48	0.70
8	79	78.33	0.85
8.5	83	83.23	0.39
9	89	88.73	0.30
9.5	94	93.10	0.96
10	97	97.65	0.66
ค่าผิดพลาดเฉลี่ย			0.64 %

ตาราง 7-1 แสดงผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาค่าผิดพลาดเราสามารถหาได้จากสูตร

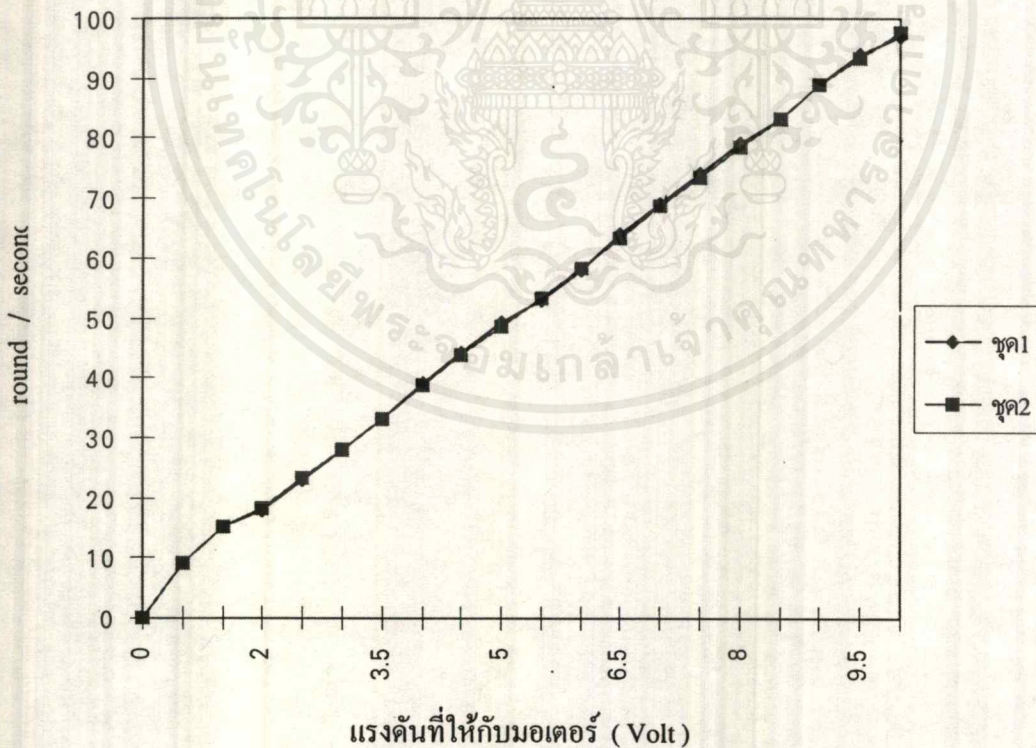
$$\frac{|\text{ค่ามาตรฐาน} - \text{ค่าที่ได้}|}{|\text{ค่ามาตรฐาน}|} * 100 = \text{ค่าผิดพลาด \%}$$

$$\text{ค่าผิดพลาดเฉลี่ย} = (\sum x_i / n) \%$$

ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ของชุดวัดความเร็วรอบโดยใช้เส้นใยนำแสง

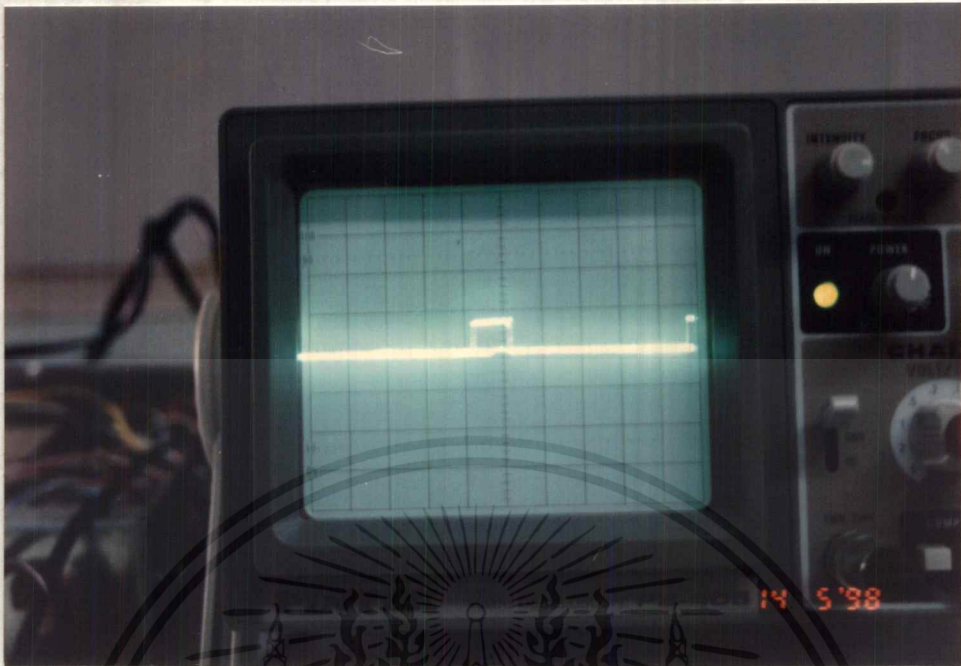
$$100 - \text{ค่าผิดพลาดเฉลี่ย \%} = 99.36 \%$$

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จาก Digital Tachometer มาตรฐาน กับ Fiber-Optic Tachometer



รูปที่ 7-2 แสดงกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จาก Digital Tachometer มาตรฐานกับ Fiber - Optic Tachometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-3 แสดงลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการวัด

7.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองชุดวัดความเร็วรอบพบว่าวงจรแต่ละส่วนสามารถทำงานได้ตรงตามจุดประสงค์ที่วางไว้ คือสามารถทำการวัดค่าความเร็วรอบได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าผิดพลาดไปจากค่ามาตรฐานเพียง 0.64 % ทำให้ทราบได้ว่าเมื่อนำไปใช้งานจริงเราจำเป็นต้องเพื่อค่าความผิดพลาดนี้ด้วย ซึ่งผลการทดลองรวมทั้งชิ้นงานที่สำเร็จออกมานั้นได้จากการค้นคว้าหาข้อมูล ทดสอบส่วนต่างๆ แล้วนำมาเชื่อมต่อกันให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

7.4 ข้อผิดพลาด

ในระหว่างทำการทดลองนั้นพบปัญหาและข้อผิดพลาด ซึ่งได้มีการศึกษาค้นคว้าและแก้ปัญหาดังกล่าวซึ่งสามารถสรุปข้อผิดพลาดได้ดังนี้

7.4.1 วงจรส่งสัญญาณแสง

ความเข้มแสงในการส่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้งานไปนานๆ ทำให้เกิดการรับส่งผิดพลาด

7.4.2 วงจรรับสัญญาณของแสง

วงจรรับสัญญาณอาจทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไปจากที่ควรเป็น เนื่องจากสัญญาณรบกวนต่างๆ

7.4.3 วงจรขยายสัญญาณแสง

ออปแอมป์ที่ใช้บางครั้งอาจไม่ได้ตามที่สเปกระบุ ทำให้ได้ค่าขยายที่ไม่ถูกต้อง

7.4.4 ชุดหมุนติดแถบสะท้อนแสง

มอเตอร์ที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนหมุนมีขนาดเล็กจึงสามารถขับเคลื่อนได้เพียงรอบต่ำๆ ส่วนแถบสะท้อนไม่สามารถสะท้อนแสงกลับมาได้

7.4.5 วงจรนับและส่วนแสดงผล

ค่าของไอซีที่ใช้ไม่ได้สเปคตามที่ระบุ ทำให้วงส่วนนับนับค่าผิดพลาด

7.5 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

7.5.1 วงจรส่งสัญญาณของแสง

ทำการตรวจสอบสัญญาณที่ส่งว่าได้ตามที่ต้องการหรือไม่ วงจรที่ออกแบบนั้นถูกต้องหรือไม่

7.5.2 วงจรรับสัญญาณของแสง

ตรวจสอบว่ามีแสงออกมาจากเส้นใยนำแสงที่ต่ออยู่กับวงจรส่งสัญญาณแสงหรือไม่

7.5.3 วงจรขยายสัญญาณแสง

ทำการเลือกออปแอมป์ให้ได้สเปคตามที่ต้องการและตรวจสอบว่ากำลังขยายที่ได้อยู่ในขอบเขตที่นำไปใช้งานได้ ในวงจรนับและส่วนแสดงผล

7.5.4 ชุดหมุนติดแถบสะท้อนแสง

ทำการเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีกำลังขับได้สูงขึ้นกว่าเดิม ส่วนแถบสะท้อนต้องเรียบและมันวาวสะท้อนแสงกลับมาได้

7.5.5 วงจรนับและส่วนแสดงผล

เลือกค่าไอซีที่เหมาะสมแล้วทำการทดสอบในส่วนของวงจรนับและส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



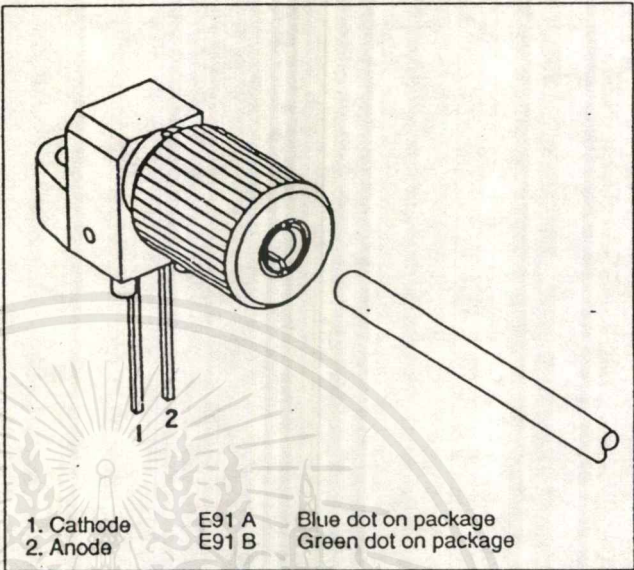
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- Mates with Standard, 1000 μm Core, Plastic Fiber Cable
- Internal Micro-lens for Efficient Coupling
- Inexpensive Plastic Connector Housing
- Connector-less Interface
- Interference-free Transmission from Light-tight Housing
- Simple Fiber Termination and Connection
- Excellent Linearity

APPLICATIONS

- Household Appliances
- Power Electronics
- Optical Networks
- Medical Instruments
- Automotive Electronics
- Audio Systems
- Electronic Games



DESCRIPTION

The IF-E91A and IF-E91B are the infrared LEDs in Industrial Fiber Optics' family of low-cost, medium-frequency, short-distance fiber optic emitters and detectors. Each emitter and detector consists of a PVC housing, an internal active element such as an LED or photodetector and a cinch nut to hold the fiber in place. The PVC housing retains the active element and the cinch nut while optimizing coupling between the active element and the jacketed 1000 μm plastic fiber.

Working with this family of fiber optics is simple: No special tools or training required. Only a sharp knife or razor blade is needed to terminate the plastic fiber. When the fiber is inserted in the emitter or detector, tighten the cinch nut. Thereafter, the fiber can be removed simply by loosening the nut.

Maximum Ratings ($T_A=25^{\circ}\text{C}$)

Operating and Storage	
Temperature Range (T_{OP}, T_{STG})	-40° to 85°C
Junction Temperature (T_J)	85°C
Soldering Temperature	
(2mm from case bottom) (T_S) $\leq 5\text{s}$	240°C
Reverse Voltage (V_R)	3 V
Power Dissipation (P_{TOT}) $T_A=25^{\circ}\text{C}$	100 mW
De-rate Above 25°C	1.33 mW/ $^{\circ}\text{C}$

	IF-E91A	IF-E91B
Forward Current, DC (I_F)	50 mA	100 mA
Surge Current (I_{FSM}) $\leq 10\ \mu\text{sec}$	2 A	2 A

Characteristics ($T_A=25^{\circ}\text{C}$)

Parameter	Symbol	IF-E91A	IF-E91B	Unit
Peak Wavelength	λ_{PEAK}	950	880	nm
Spectral Bandwidth, 50% I_{MAX}	$\Delta\lambda$	40	80	nm
Output Power Coupled into Plastic Fiber (1 mm core diameter). Distance lens to fiber $\leq 0.1\text{ mm}$, 10 cm polished fiber, $I_F=100\text{ mA}$	Φ_{min}	50	100	μW
Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) ($R_L=47\ \Omega$, $I_F=10\text{ mA}$)	t_r, t_f	1.0	0.5	μs
Capacitance	C_0	25	25	pF
Forward Voltage ($I_F=50\text{ mA}$)	V_f	1.5 max	1.7 max	V
Temperature Coefficient, λ_{PEAK}	TC_{λ}	0.3	0.3	nm/K

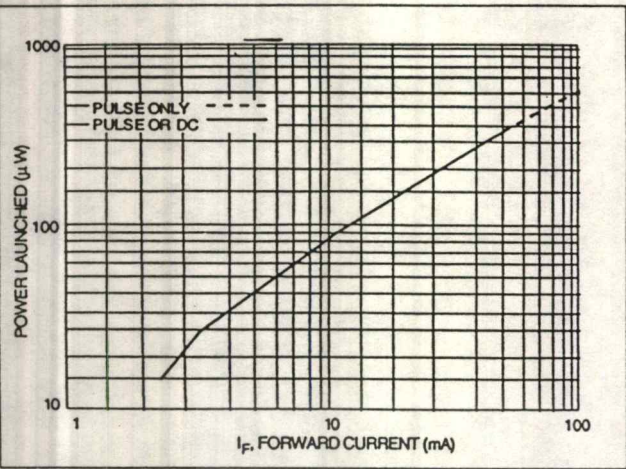


Figure 1. Normalized power launched versus forward current.

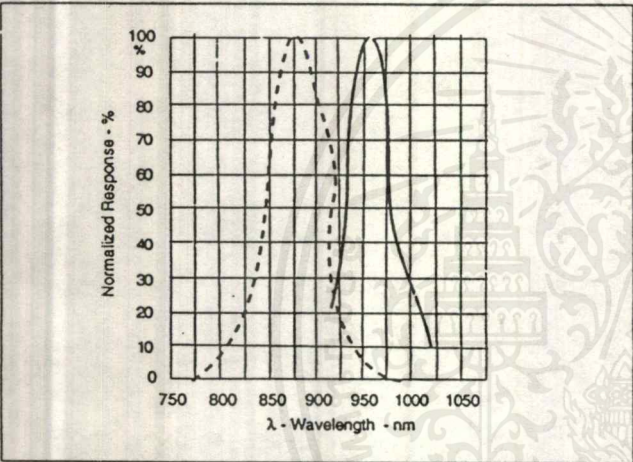
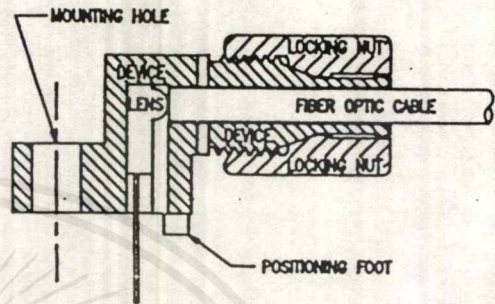


Figure 2. Typical spectral output versus wavelength.



Fiber termination instructions:

1. Cut off the ends of the cable with a single-edge razor blade or sharp knife. Try to obtain a precise 90-degree angle (square).
2. Insert the fiber through the locking nut and into the connector until the core tip seats against the internal micro-lens.
3. Screw the connector locking nut down to a snug fit, locking the fiber in place.

Figure 3. Cross-section of fiber optic device.

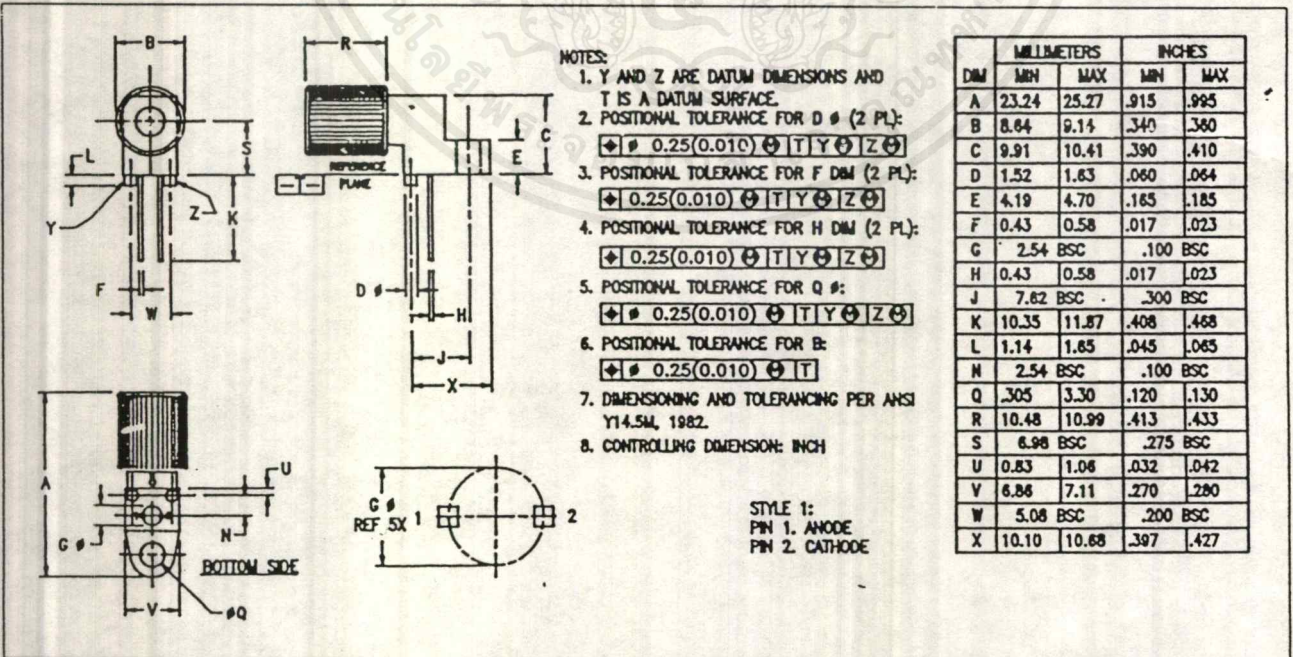


Figure 4. Case outline.

FEATURES

- Mates with Standard, 1000 μm Core, Plastic Fiber Cable
- Internal Micro-lens for Efficient Coupling
- Inexpensive Plastic Connector Housing
- Connector-less Interface
- Interference-free Transmission from Light-tight Housing
- Simple Fiber Termination and Connection
- Excellent Linearity

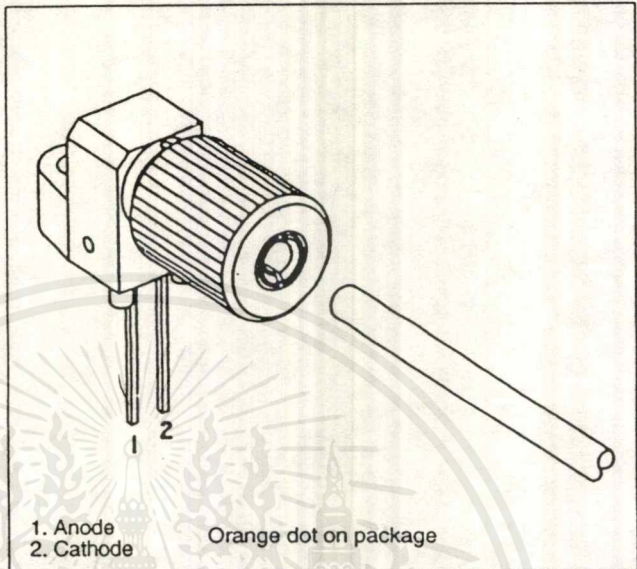
APPLICATIONS

- Household Appliances
- Power Electronics
- Optical Networks
- Medical Instruments
- Automotive Electronics
- Audio Systems
- Electronic Games

DESCRIPTION

The IF-D91 is the active photodiode device in Industrial Fiber Optics' family of low-cost, medium-frequency, short-distance fiber optic emitters and detectors. Each emitter and detector consists of a PVC housing, an internal active element such as an LED or photodetector, and a cinch nut to hold the fiber in place. The PVC housing retains the active element and the cinch nut while optimizing coupling between the active element and the jacketed 1000 μm plastic fiber.

Working with this family of fiber optics is simple: No special tools or training required. Only a sharp knife or razor blade is needed to terminate the plastic fiber. When the fiber is inserted in the emitter or detector, tighten the cinch nut. Thereafter, the fiber can be removed simply by loosening the nut.



Maximum Ratings ($T_A=25^\circ\text{C}$)

Operating and Storage	
Temperature Range (T_{OP}, T_{STG})	-40° to 85°C
Junction Temperature (T_J)	85°C
Soldering Temperature	
(2mm from case bottom) (T_S) $t \leq 5s$	240°C
Power Dissipation (P_{TOT}) $T_A=25^\circ\text{C}$	100 mW
De-rate Above 25°C	1.33 mW/°C

Characteristics ($T_A=25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Maximum Photosensitivity	λ_{PEAK}	850	nm
Spectral Bandwidth ($S=10\%$ of S_{MAX})	$\Delta\lambda$	400-1100	nm
Rise and Fall Times (10% to 90% and 90% to 10%) ($R_L=50\Omega, V_R=20\text{ V}, \lambda=850\text{ nm}$)	t_r, t_f	5	ns
Total Capacitance	C_T	4	pF
Responsivity @ 860 nm @ 632 nm	R	0.4 0.2	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$ $\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Dark Current ($V_R=30\text{ volts}, E_E=0$)	I_D	<60	nA
Reverse Breakdown Voltage	$V_{(BR)R}$	60	V
Forward Voltage	V_F	1.2	V

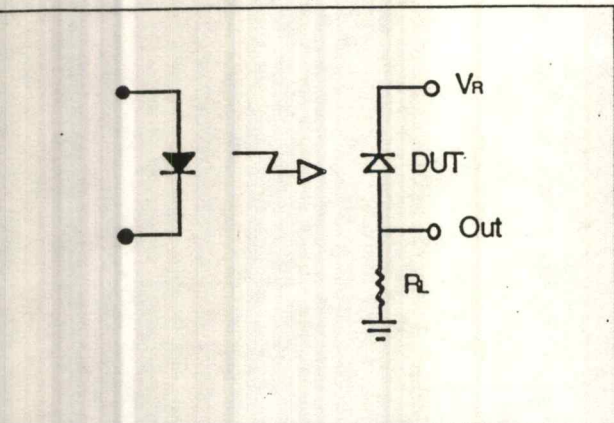


Figure 1. Circuit diagram for measuring rise and fall times.

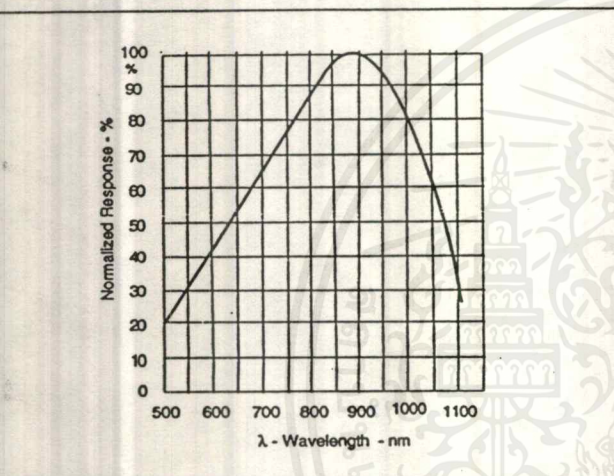
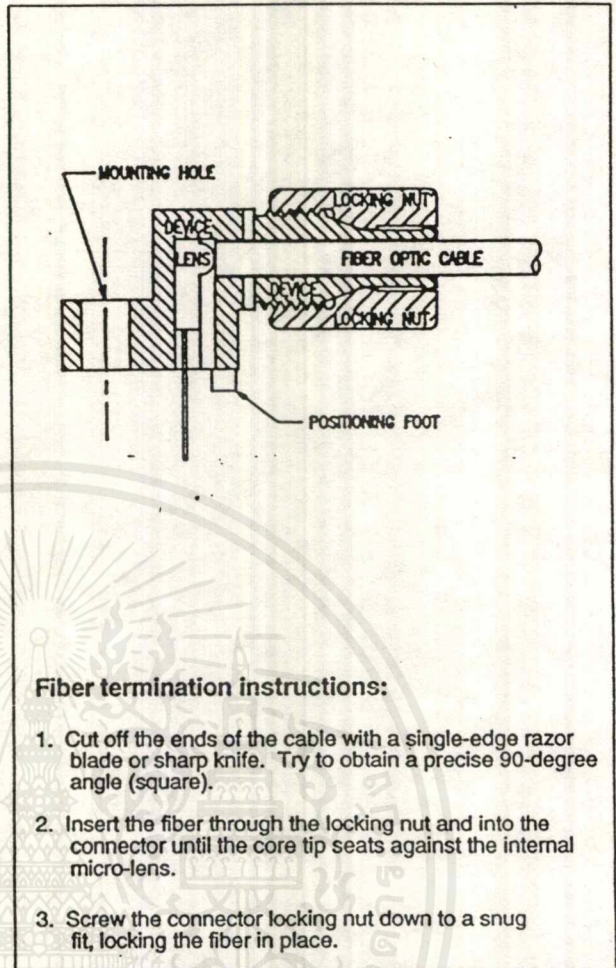


Figure 2. Typical detector response versus wavelength.



Fiber termination instructions:

1. Cut off the ends of the cable with a single-edge razor blade or sharp knife. Try to obtain a precise 90-degree angle (square).
2. Insert the fiber through the locking nut and into the connector until the core tip seats against the internal micro-lens.
3. Screw the connector locking nut down to a snug fit, locking the fiber in place.

Figure 3. Cross-section of fiber optic device.

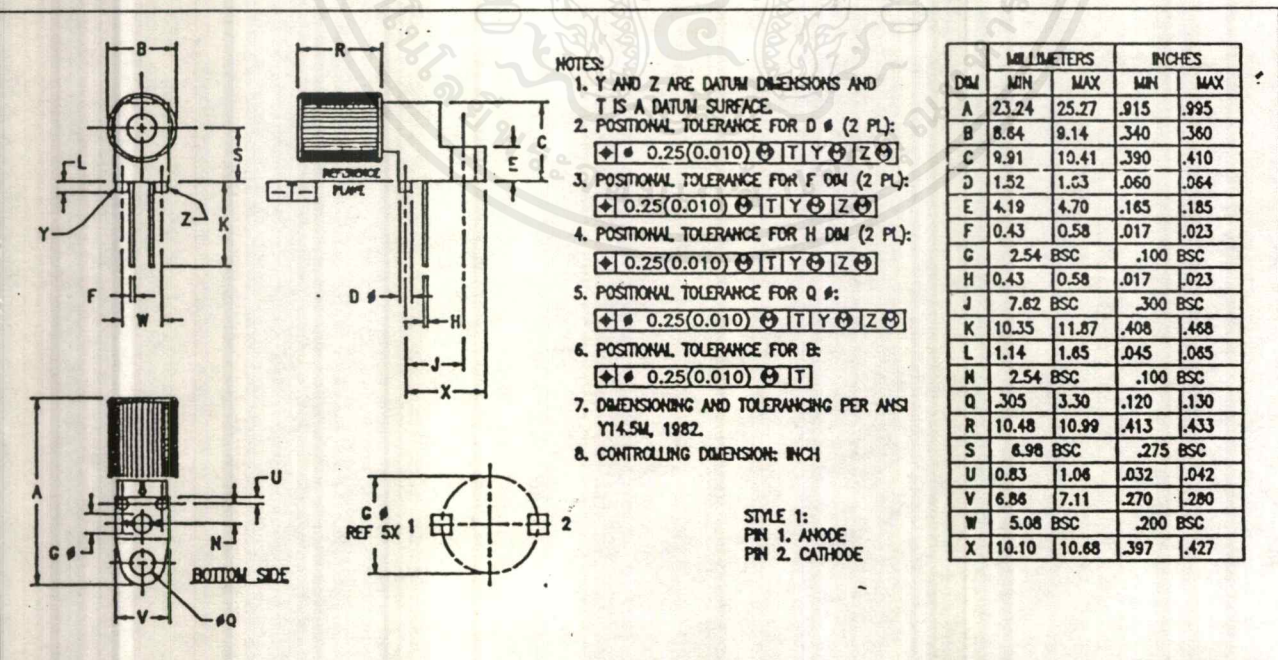


Figure 4. Case outline.

เอกสารอ้างอิง

1. Jeff Hecht, "Light Sources", " Transmitter"&" Receiver" Understanding Fiber Optics, 1993 by Sams Publishing Second Edition pp.100-159
2. S.L. Wymer Meardon , " Introduction to Fiber Opticals" , " Optical Sources " , "Principles of Light " & " Photodetectors " The Element of Fiber Optics , 1993 by Regent Prentice Hall , pp. 1-10, 99-134
3. WaldoT.Boyd , " Basic Principles of Fiber Opticals " , Fiber Optics Communication Experiments and Projects , 1986 by Howard W. Sams & Co., USA , pp 22-27
4. รศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์ , " การสื่อสารด้วยแสง" , พื้นฐานการสื่อสาร,วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ , 2538 พิมพ์ครั้งที่ 3 หน้า 131-144
