

การส่งสัญญาณวีดิโอผ่านเส้นใยนำแสง



นาย จัตรชัย ประเสริฐศิลป์

นาย วินัย ประดับ

โครงการที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
คณะ วิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 38541
วัน, เดือน, ปี... 5 ส.ค. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIDEO TRANSMISSION VIA FIBER OPTIC LINK



Mr. Chatchai Prasertsilpa

Mr. Winai Pradub

A Special Project Submitted in Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การส่งสัญญาณวิดีโอผ่านเส้นใยนำแสง

VIDEO TRANSMISSION VIA FIBER OPTIC LINK

โดย

นาย ฉัตรชัย ประเสริฐศิลป์

นาย วินัย ประดับ

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

(รศ. สุรพล รักวิชัย)

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

..... ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล)

..... กรรมการ

(อ.สุนันท์ จ่างประยูร)

..... กรรมการ

(อ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล)

..... กรรมการ

(อ.บัณฑิต ดำรงค์ศักดิ์)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การส่งสัญญาณวิดีโอผ่านเส้นใยนำแสง

นักศึกษา

นาย ฉัตรชัย ประเสริฐศิลป์

นาย วินัย ประดับ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา

2542

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้หลักการของแสงในการส่งผ่านข้อมูลและหลักการสื่อสารของกล้อง CCD โดยนำกล้อง CCD นี้จะมาประยุกต์ใช้เข้ากับส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนภาคส่งสัญญาณและส่วนของภาครับสัญญาณ มีการส่งสัญญาณระหว่างทั้ง 2 ส่วนนี้จะผ่านเส้นใยนำแสง สัญญาณที่ส่งออกมาจากกล้อง CCD นี้เป็นสัญญาณ วิดีโอ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังตัวกำเนิดแสง ในโครงการนี้ตัวกำเนิดแสงคือ ไฟโต้ไดโอดซึ่งให้ลำแสงต่อเนื่องเข้าไปในเส้นใยนำแสงเส้นหนึ่งและจะมีตัวโฟโต้ดีเทคเตอร์รับสัญญาณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณนี้จะถูกส่งออกนำมาทางจอภาพแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Video transmission via fiber optic link
Name	Mr. Chatchai Prasertsilpa Mr. Winai Pradub
Department	Applied Physics
Special Project advisor	Assistant Professor Dr. Sirisak Techathawiekul
Department	Applied Physics
Academic	1999

Abstract

The purpose of this project is to build up a system for transferring video signal from a camera over a single optical fiber. The video signal is converted into optical signal an LED with driver circuit and then this optical signal is converted into the signal video at a photodiode after passing through an optical fiber. With a video is digital card, the video signal can be converted into pictures at monitor. It has been that the system works all right.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ได้ ถ้าปราศจากความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีความอนุเคราะห์ต่อโครงการพิเศษและข้าพเจ้าทั้งสองขอขอบคุณบุคคลดังต่อไปนี้

บิดา มารดา ผู้ให้ชีวิตและทุกสิ่งทุกอย่าง

ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล, อ.สุน จ่างประยูร และคุณ ธวัชชัย ชาวประเสริฐ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านคำแนะนำและสนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆมาโดยตลอด

พีเอฟ ร้านมอเตอร์ไซด์ ที่ให้ยืมเครื่อง Scanner

คุณยุ้ย ที่ให้ที่ทำงานและคอมพิวเตอร์

คุณสังข์จะ ที่ให้เครื่อง Printer

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆที่คอยเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

นาย จัตรชัย ประเสริฐศิลป์

นาย วินัย ประดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
บทนำ	ฎ
วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ	
ประโยชน์ที่ได้รับ	
บทที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานทางแสง	1
1.1 คุณสมบัติทางแสง	1
บทที่ 2 คุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยแก้วนำแสง	17
2.1 ประวัติความเป็นมาของเส้นใยแก้วนำแสง	17
2.2 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง	17
2.3 การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง	18
2.4 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	20
2.5 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง	24
2.6 การสื่อสารด้วยแสง	25
2.7 สรุป	31
บทที่ 3 อิมเมจเซนเซอร์	32
3.1 บทนำ	32
3.2 หลักการพื้นฐานของกล้องโทรทัศน์	32
3.3 ข้อเปรียบเทียบระหว่างกล้องซีซีดีแบบ 3 ชิปกับกล้องแบบ MOS ทั่วไป	35
บทที่ 4 กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ สัญญาณภาพ	39
4.1 กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ สัญญาณภาพ	39
4.2 ความคมชัดและแบนด์วิธของสัญญาณภาพ	43
บทที่ 5 การสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง	46
5.1 คุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ส่งแสง	46
5.2 การเชื่อมอุปกรณ์ส่งแสงกับเส้นใยนำแสง	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 6 ทฤษฎี ภาคส่ง และ ภาครับ สัญญาณแสง	51
6.1 วงจรขับ	51
6.2 การออกแบบตัวส่งแสง	51
6.3 อุปกรณ์รับแสง	55
6.4 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยนำแสง	68
บทที่ 7 การออกแบบระบบ	70
7.1 องค์ประกอบพื้นฐาน	70
บทที่ 8 วงจรภาคส่ง และ ภาครับ	78
8.1 ภาคส่งสัญญาณ	78
8.2 ภาครับสัญญาณแสง	79
บทที่ 9 ผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา	81
9.1 สัญญาณที่ได้จากส่วนต่างๆ	81
9.2 ปัญหาในการทำโครงการ	85
ภาคผนวก	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
1. รูปที่ 1-1 ความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ	2
2. รูปที่ 1-2 สเปกตรัมความไวต่อแสงของสายตามนุษย์	3
3. รูปที่ 1-3 การทดลองพิสูจน์ว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น	4
4. รูปที่ 1-4 การทดลองการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก	4
5. รูปที่ 1-5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความถี่ของแสงในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก	5
6. รูปที่ 1-6 หลักการวัดปรากฏการณ์คอมป์ตัน(ซ้าย)และสเปกตรัมการกระเจิงรังสีเอ็กซ์(ขวา)	7
7. รูปที่ 1-7 การชนกันระหว่างรังสีเอ็กซ์และอิเล็กตรอนแบบอิลาสติก โดยพิจารณาการอนุรักษ์โมเมนตัม	8
8. รูปที่ 1-8 แสดงสภาพระดับพลังงานที่ไม่เท่ากัน	9
9. รูปที่ 1-9 ชนิดของคลื่นความยาวและคลื่นตามขวาง	10
10. รูปที่ 1-10 คุณสมบัติของแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	11
11. รูปที่ 1-11 คุณสมบัติของคลื่นแสง (ก) แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นตรง (ข) แสงโพลาไรซ์เชิงวงกลม	12
12. รูปที่ 1-12 การหักเหและการสะท้อนของแสงที่พรมแดนระหว่างวัตถุ 2 ชนิด ในรูปนี้ $n_1 > n_2$	13
13. รูปที่ 1-13 การหักเหของแสง	14
14. รูปที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง	18
15. รูปที่ 2-2 แสดงเครื่องตั้งเส้นใยแก้วนำแสงและขั้นตอนต่างๆ	19
16. รูปที่ 2-3 แสดงลักษณะของแสงที่เดินทางภายในของเส้นใยแก้วนำแสง	21
17. รูปที่ 2-4 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว	21
18. รูปที่ 2-5 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด	22
19. รูปที่ 2-6 แสดงชนิดของเส้นใยนำแสงตามลักษณะของดัชนีหักเหของแกน	22
20. รูปที่ 2-7 แสดงโหมดของเส้นใยโพลาไรซ์สองโหมดที่ตั้งฉากกัน และมีความเร็วต่างกัน	23
21. รูปที่ 2-8 แสดงตัวอย่างของเส้นใยนำแสงไฮลีเบอร์พรินเจนซ์บางชนิด	24
22. รูปที่ 2-9 แสดงตัวอย่างของเคเบิลใยแก้ว	24
23. รูปที่ 2-10 ผังแสดงระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

24. รูปที่ 2-11 แสดงการผสมสัญญาณและการส่ง	28
25. รูปที่ 2-12 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งระยะทาง	29
26. รูปที่ 2-13 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความถี่	29
27. รูปที่ 2-14 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา	30
28. รูปที่ 2-15 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น	30
29. รูปที่ 3-1 ส่วนรับภาพและพิกเจอร์อิลิเมนต์	33
30. รูปที่ 3-2 ภายในหนึ่ง CCD พิกเจอร์อิลิเมนต์จะมีอิเล็กตรอนเกิดขึ้น และถ่ายเทไปทาง OFD	34
31. รูปที่ 3-3 ทิศทางการถ่ายเทของอิเล็กตรอนใน OFD หรือ Overflow Drain	35
32. รูปที่ 3-4 การถ่ายเทอิเล็กตรอนโดยผ่านทางรีจิสเตอร์ในแนวตั้ง และรีจิสเตอร์ในแนวระดับ	36
33. รูปที่ 3-5 การถ่ายเทอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนสูญเสีย	36
34. รูปที่ 3-7 โครงสร้างของตัวรับภาพแบบ MOS	37
35. รูปที่ 3-8 ข้อเสีย Original Spatial Effect ของซีเอ็น	38
36. รูปที่ 4-1 การเปลี่ยนสัญญาณภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้า	40
37. รูปที่ 4-2 สัญญาณภาพที่เกิดจากส่วนต่างๆของภาพตามรูป 4-1	41
38. รูปที่ 4-3 สัญญาณภาพและสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน	42
39. รูปที่ 4-4 ลักษณะการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่ถูกควบคุม โดยสัญญาณการกวาดที่มีลักษณะเป็นรูปฟันเลื่อย	43
40. รูปที่ 4-5 ภาพประกอบเรื่องความคมชัดของสัญญาณภาพ	44
41. รูปที่ 5-1 แสดง Output Wave Form ของแสงและการผสม ในการส่งสัญญาณ Digital	46
42. รูปที่ 5-2 แสดง การผสมแบบ Light Intensity Modulation	47
43. รูปที่ 5-3 แสดงการเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์กำเนิดแสงกับเส้นใยแสง	49
44. รูปที่ 5-4 แสดงตัวอย่าง LD-MODULE และ LED-MODULE	50
45. รูปที่ 6-1 แสดงส่วนประกอบในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง	52
46. รูปที่ 6-2 แสดงส่วนเชื่อมต่อทางแสงของตัวส่ง	53
47. รูปที่ 6-3 แสดงวงจรขับอย่างง่ายสำหรับ LED source	54
48. รูปที่ 6-4 แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบอนาล็อก	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

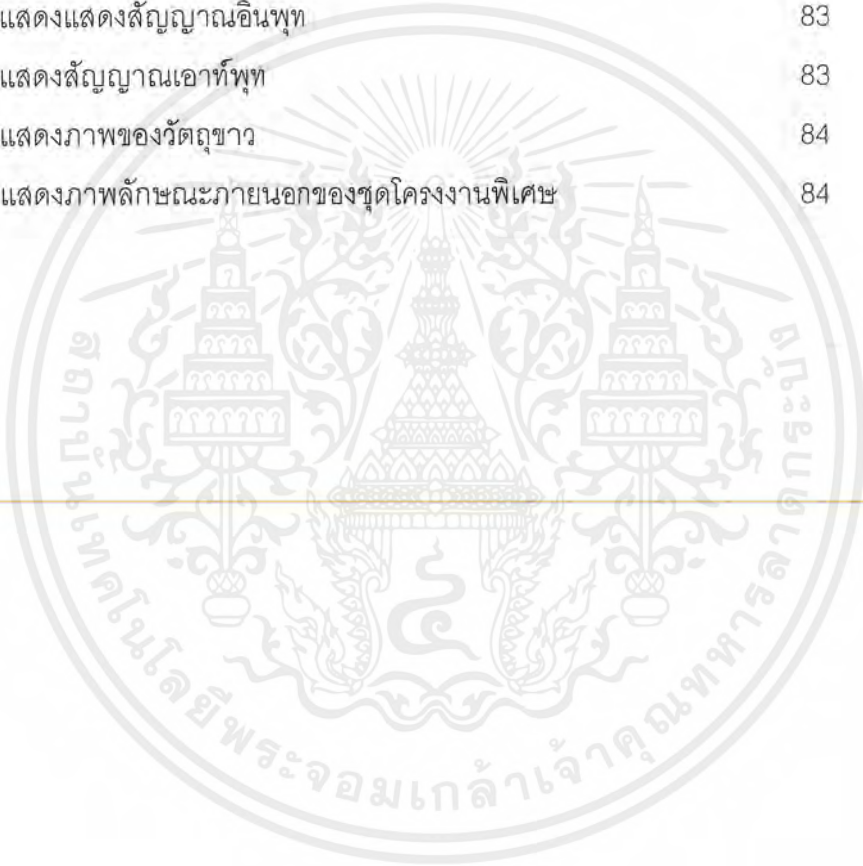
สารบัญรูป(ต่อ)

49. รูปที่ 6-5 แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบดีจิตอล	55
50. รูปที่ 6-6 แสดงลักษณะของ DEPLETION ZONE	56
51. รูปที่ 6-7 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และกระแสโฟโต	58
52. รูปที่ 6-8 แสดง DEPLETION ZONE	60
53. รูปที่ 6-9 แสดงความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด	61
54. รูปที่ 6-10 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสง	62
55. รูปที่ 6-11 แสดงวงจรรับแสงของ PN และ PIN photodiode	62
56. รูปที่ 6-12 แสดงบล็อกไดอะแกรม PIN-FET reciever circuit	63
57. รูปที่ 6-13 แสดงลักษณะของ PN photodiode	63
58. รูปที่ 6-14 แสดงโครงสร้างของ PIN photodiode	65
59. รูปที่ 6-15 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนทางแสง	65
60. รูปที่ 6-16 แสดงโครงสร้างของอะวาลานซ์โฟโตไดโอด	66
61. รูปที่ 6-17 แสดงหลักการทำงานของการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ PIN-PD	67
62. รูปที่ 6-18 แสดงหลักการทำงานของการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ APD	68
63. รูปที่ 6-19 แสดงตัวอย่าง โครงสร้างภายในของ APD-MODULE	69
64. รูปที่ 6-20 แสดง PIN-PD MODULE และ APD MODULE	69
65. รูปที่ 7-1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง	70
66. รูปที่ 7-2 การเลือกความยาวคลื่นแสง	71
67. รูปที่ 7-3 การเลือกใช้เส้นใยแสง	72
68. รูปที่ 7-4 การเลือกอุปกรณ์กำเนิดแสง	72
69. รูปที่ 7-5 การเลือกอุปกรณ์รับแสง	73
70. รูปที่ 7-6 สาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพการส่งเสถียรลงในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	74
71. รูปที่ 7-7 แบบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงที่แสดงการเกิดสัญญาณรบกวนต่างๆ	74
72. รูปที่ 7-8 การเพี้ยนของรูปสัญญาณอันเนื่องมาจาก MODE DISTRIBUTION NOISE	75
73. รูปที่ 7-9 แสดง ERRER RATE และค่าพิจารณาบ่งแยก PULSE	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

74. รูปที่ 8-1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบทั้งหมด	78
75. รูปที่ 8-2 แสดงวงจรรับสัญญาณ	79
76. รูปที่ 8-3 แสดงวงจรรับสัญญาณ	80
77. รูปที่ 9-1 แสดงสัญญาณอินพุท	81
78. รูปที่ 9-2 แสดงสัญญาณเอาต์พุท	82
79. รูปที่ 9-3 แสดงภาพของวัตถุดำ	82
80. รูปที่ 9-4 แสดงแสดงสัญญาณอินพุท	83
81. รูปที่ 9-5 แสดงสัญญาณเอาต์พุท	83
82. รูปที่ 9-6 แสดงภาพของวัตถุขาว	84
83. รูปที่ 9-7 แสดงภาพลักษณะภายนอกของชุดโครงการพิเศษ	84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์รับแสง	48
ตารางที่ 6-1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เรามากขึ้น เนื่องจากมนุษย์มีการแลกเปลี่ยนข่าวสารกันอยู่ตลอดเวลา ทำให้ความต้องการในการแลกเปลี่ยนข่าวสาร และข้อมูลมีมากขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการนี้ในปัจจุบัน และอนาคต จึงมีการคิดค้นและนำเอาระบบสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง (optical fiber) ซึ่งสามารถส่งข่าวสาร และข้อมูลต่าง ๆ ทั้งสัญญาณภาพ สัญญาณเสียงได้เป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกัน มาใช้งาน ในโครงการนี้ได้นำเอาความรู้ทางด้านแสงและเส้นใยนำแสงมาสร้างเป็นระบบการรับ-ส่งสัญญาณที่เป็นภาพคือสัญญาณวิดีโอ มาทำการส่งผ่านเส้นใยนำแสง แล้วแสดงผลออกทางจอมอนิเตอร์ ซึ่งมีประโยชน์มากในทางการสื่อสารปัจจุบันและอนาคต

วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ

- 1) ศึกษากระบวนการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง
- 2) ศึกษาสัญญาณภาพวิดีโอ แล้วนำมารวมกับระบบการสื่อสารด้วยสัญญาณแสงได้
- 3) ศึกษาหลักการรับ-ส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยนำแสง

ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) เข้าใจหลักการและทฤษฎีการสื่อสารที่ส่งผ่านสัญญาณทางเส้นใยนำแสง
- 2) เข้าใจหลักการการส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยนำแสงได้ดี
- 3) เข้าใจทฤษฎี และหลักการของกล้อง CCD พอสมควร
- 4) สามารถนำความรู้ที่ได้จากการทำโครงการพิเศษนี้ไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

คุณสมบัติพื้นฐานทางแสง

1.1 คุณสมบัติทางแสง

แสงมีคุณสมบัติเป็นทั้ง "คลื่น" (wave) และ "อนุภาค" (particle) ปรากฏการณ์ที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวันเช่น การสะท้อนแสง (Reflection) การแทรกสอดแสง (interference) และการหักเหแสง (refraction) แสดงให้เห็นว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น ส่วนปรากฏการณ์ที่แสดงให้เห็นหรืออธิบายได้ว่าเป็นอนุภาคได้แก่ การส่องแสงเข้าสู่ผิวโลหะแล้วทำให้เกิดอิเล็กตรอนกระเด็นหลุดสู่สุญญากาศ ซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (external photoelectric effect) หรือการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำเมื่อถูกแสงหรือการเปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสง เป็นต้น

1.1.1 การเป็นคลื่นของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ถ้าให้ λ คือความยาวคลื่นแสง ν คือความถี่ และ c_0 คือความเร็วของแสงที่เดินทางในสุญญากาศ ($c_0 = 2.99792458 \times 10^8$ m/s) จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

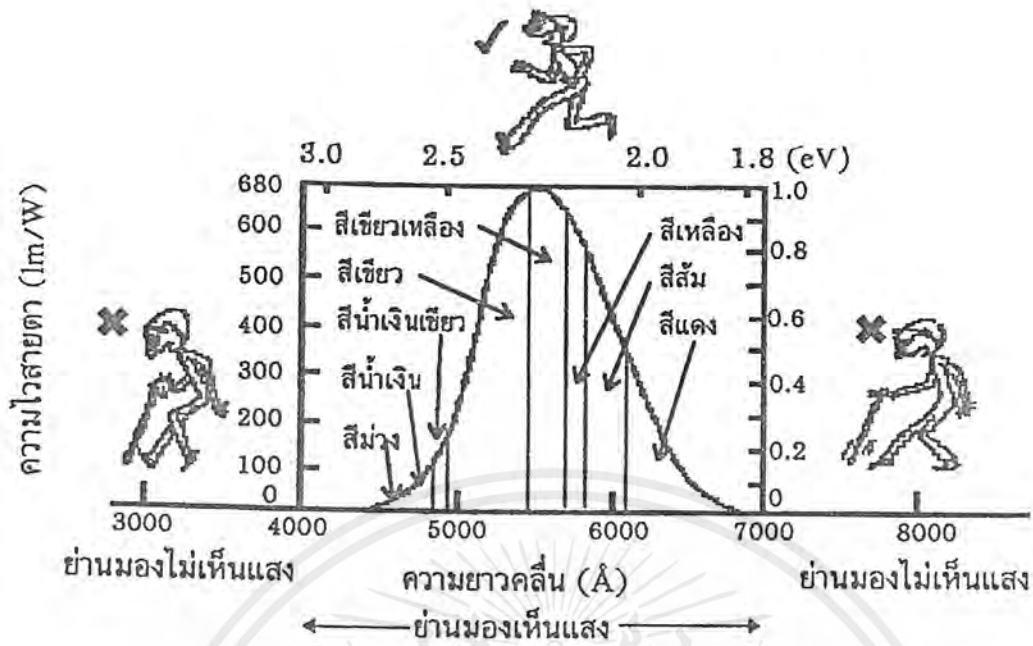
$$\lambda = \frac{c_0}{\nu} \quad (1.1)$$

แสงที่ตามนุษย์มองเห็นเรียกว่า แสงมองเห็น (visible light) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 400-700nm แสงมองเห็นนี้ในสเปกตรัมแสงมีการแบ่งเป็นแสงสีต่างๆ ได้แก่ สีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และแดง ในจำนวนแสงสีต่างๆ เหล่านี้สีที่ตามนุษย์มีความไว (sensitivity) มากที่สุดคือแสงสีเขียว รูปที่ 1-1 แสดงตารางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ และรูปที่ 1-2 แสดงกราฟความไวของสายตาของมนุษย์ที่มีต่อแสงความยาวคลื่นต่างๆ (eye-sensitive curve)

พลังงาน (eV)	ความถี่ (s ⁻¹)	ความยาวคลื่น (m)	ชื่อคลื่น	วิธีการกำเนิดคลื่น	
10 ⁻¹⁰	10 ² (kHz)	10 ⁵	ความถี่ต่ำ	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	
	10 ⁵ (MHz)	km	คลื่นวิทยุ		LF
	(GHz)	1 m			MF
10 ⁻⁵	10 ¹⁰	cm	ไมโครเวฟ	หลอดสูญญากาศ	
		10 ⁻³ mm	แสงอินฟราเรด	สารกึ่งตัวนำ	
		10 ⁻⁶ μm		ไม่โคโรนา	หลอดสซิลิโคน
1	10 ¹⁵	10 ⁻⁹ nm	แสงมองเห็น	หลอดฟลูออโรสเซนต์	
		10 ⁻¹⁰ Å	แสงอัลตราไวโอเล็ต	รังสีเอกซ์	
10 ⁵ (MeV)	10 ²⁰	10 ⁻¹³	รังสีแกมมา	เครื่องเร่งอนุภาค	
(GeV)		X.U.		รังสีจากนิวเคลียส/อวกาศ	
10 ¹⁰	10 ²⁵			รังสีคอสมิก	

รูปที่ 1-1 ความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1-2 สเปกตรัมความไวต่อแสงของสายตามนุษย์

ถ้าแสงเดินทางในวัสดุที่มีเนื้อสารเรียบตลอดและเป็นวัสดุไอโซทรอปี้ (isotropy) แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง แต่ถ้าแสงเดินทางจากวัสดุหนึ่งไปสู่วัสดุอีกชนิดหนึ่ง ที่พรมแดนของวัสดุทั้งสองนั้นแสงจะหักเหหรือสะท้อนกลับได้ การเดินทางของแสงในวัสดุที่มีค่าดัชนีหักเหแสงเท่ากับ n จะทำให้ความเร็วของแสงช้ากว่าในสุญญากาศ กล่าวคือความเร็วแสง c ในวัสดุจะเท่ากับ

$$c = \frac{c_0}{n} \quad (1.2)$$

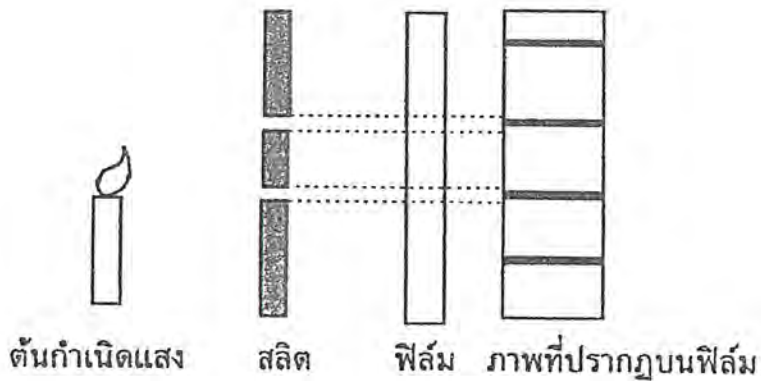
ค่าดัชนีหักเหแสง n ของวัสดุใดๆ จะขึ้นกับความยาวคลื่นหรือความถี่ของแสงด้วย และค่า n นี้มีความสัมพันธ์กับค่าคงตัวไดอิเล็กทริก ϵ ของวัสดุ (dielectric constant) ดังนี้

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0}} \quad (1.3)$$

โดยที่ ϵ_0 คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของสุญญากาศ $= 8.85418782 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

ตัวอย่างที่แสดงว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น เช่น การทดลองของยัง (Young) ดังแสดงในรูปที่ 1-3 มีต้นกำเนิดแสงไฟส่องแสงผ่านสลิต (slit) ซึ่งมีรูเจาะไว้ 2 รู ด้านหลังสลิตมีแผ่นไวแสงเป็นตัวบันทึกภาพ เมื่อดูภาพบนแผ่นไวแสงจะพบว่ามีการแทรกสอดสว่างและมืดแบบลายม้าลายกำหนดอยู่ เราเรียกริ้วเช่นนี้ว่า ภาพริ้วแทรกสอด (interference fringe) ในสาขาวิชาทัศนศาสตร์คลื่น (wave optics) สามารถอธิบายได้ว่าปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดจากการเป็นคลื่นของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่1-3 การทดลองพิสูจน์ว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น

1.1.2 การเป็นอนุภาคของแสง

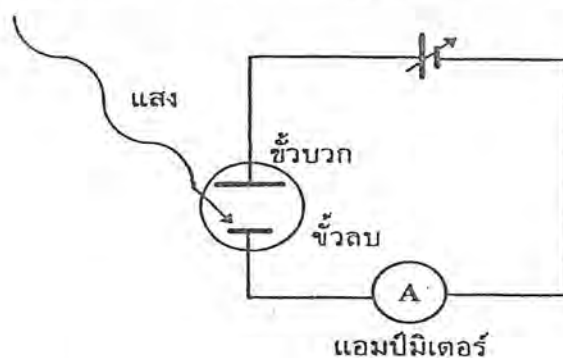
แสงนอกจากมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแล้วยังมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคด้วย เราเรียกอนุภาคแสงว่า โฟตอน(photon) อนุภาคแสงมีพลังงานอยู่ใน และถ้าแสงมีความถี่เท่ากับ ν อนุภาคแสงหนึ่งตัวจะมีพลังงานเท่ากับ

$$h\nu \quad (\text{หน่วย electron volt : ย่อว่า eV})$$

โดยที่ h คือ ค่าคงตัวของพลังค์ (Planck's constant) = 6.626176×10^{-34} (Js)

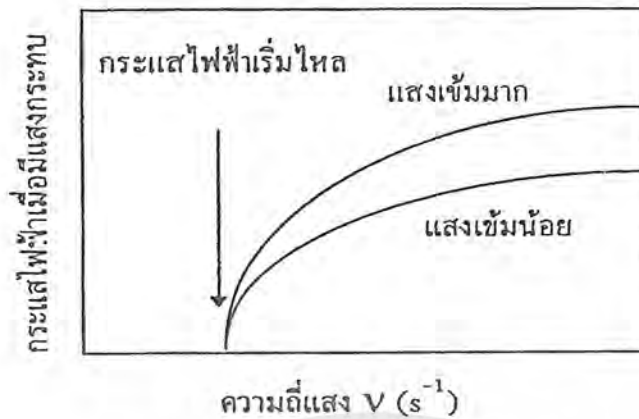
ตัวอย่างปรากฏการณ์หนึ่งซึ่งแสดงว่าแสงเป็นอนุภาคได้แก่ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการส่องแสงลงบนผิวของโลหะที่วางอยู่ในสุญญากาศแล้วทำให้อิเล็กตรอนที่ผิวโลหะกระเด็นหลุดออกจากผิวโลหะ ดังแสดงวิธีทดลองในรูปที่1-4

ในรูปที่1-4 ในหลอดสุญญากาศมีแผ่นขั้วไฟฟ้าบวกและลบบรรจุอยู่ และแผ่นขั้วไฟฟ้าเหล่านี้ถูกต่อออกไปสู่วงจรภายนอกซึ่งมีแบตเตอรี่ไบแอสอยู่ เมื่อส่องแสงลงบนขั้วไฟฟ้าลบจะพบว่า ถ้าแสงมีความถี่สูงกว่าค่าๆ หนึ่งจะทำให้มีกระแสไหลในวงจร แต่ถ้าแสงมีความถี่ต่ำเกินไปก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจрдังแสดงผลการทดลองในรูปที่1-5



รูปที่1-4 การทดลองการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่1-5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความถี่ของแสงในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก กระแสไฟฟ้าจะเริ่มไหลเมื่อความถี่ของแสงสูงกว่าค่าหนึ่ง

ปรากฏการณ์นี้ ไอน์สไตน์(Einstein) ได้อธิบายไว้ว่าเมื่อแสงที่มีความถี่ ν เดินทางไปในปริภูมิ (Space) แสงนั้นไม่ได้มีพลังงานที่มีค่าต่อเนื่อง แต่แสงจะเป็น "อนุภาค" ที่มีพลังงานเท่ากับ $h\nu$ ที่วิ่งไปในปริภูมินั้นไอน์สไตน์ได้ตั้งชื่ออนุภาคไว้ว่า "light quantum" ต่อในปัจจุบันเราเรียกอนุภาคแสงว่า "โฟตอน" (photon) นอกจากนี้ไอน์สไตน์ยังได้อธิบายรายละเอียดของปรากฏการณ์ในรูปที่1-5 ไว้ดังนี้

พลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากโลหะ E มีค่าเท่ากับพลังงานของแสงที่ฉายลงบนผิวของโลหะ $h\nu$ ลบด้วยงานที่จำเป็นในการดึงอิเล็กตรอนในโลหะให้หลุดออกมาข้างนอก $q\phi$ และเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$E = h\nu - q\phi \quad (1.4)$$

โดยที่ ϕ เรียกว่า เวิร์กฟังก์ชัน(work function)และ $q\phi$ มีหน่วยเป็น eV

สูตรนี้บอกให้เราทราบว่า ค่าความถี่ต่ำสุดของแสงที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเช่นนี้ได้สามารถคำนวณได้โดยการให้ E ในสมการที่(1.4) มีค่าเท่ากับศูนย์ จึงได้ว่า $h\nu = q\phi$ ซึ่ง ϕ คือ เวิร์กฟังก์ชันของโลหะชนิดนั้นๆ และจากสูตรนี้พลังงานของอิเล็กตรอน E ที่กระเด็นหลุดออกจากโลหะมีค่าแปรผันตรงกับความถี่ ν

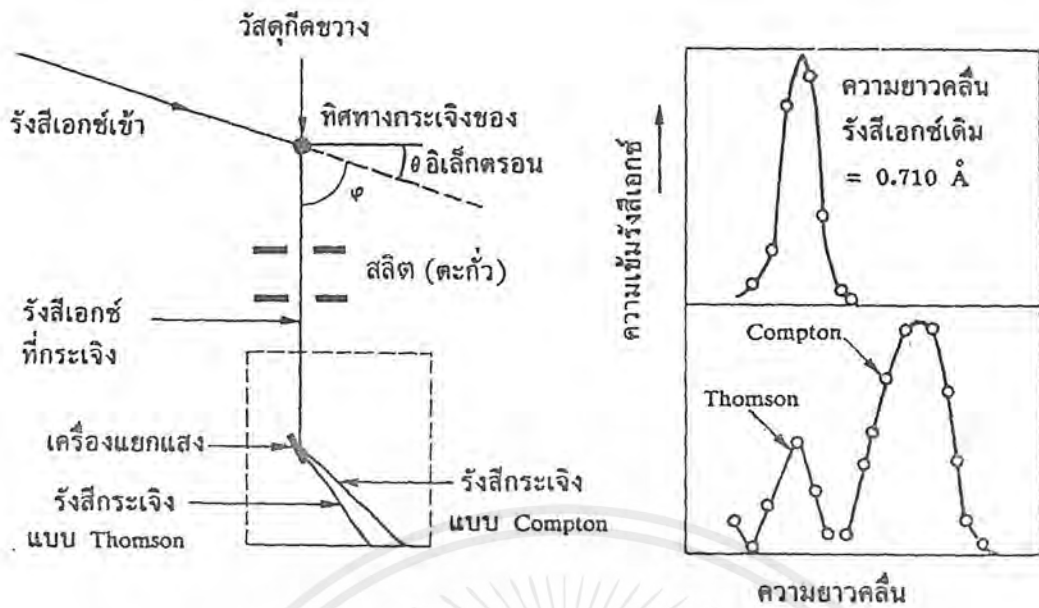
ในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกดังกล่าวบางข้อไม่สามารถให้เหตุผลอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการเป็นคลื่นของแสง แต่สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการเป็นอนุภาคของแสงซึ่งตั้งชื่อโดยไฮสไตน์

ปรากฏการณ์หนึ่งที่สำคัญมากอีกอย่างหนึ่งที่แสดงให้เห็นชัดเจนว่าแสงนั้นมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคคือ ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton effect) ซึ่งค้นพบโดย Compton ใน ค.ศ.1923 ดังจะได้อธิบายต่อไป

ปรากฏการณ์คอมป์ตันเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับการกระเจิงรังสีเอกซ์ (X-ray scattering) เมื่อเรายิงรังสีเอกซ์เข้าสู่วัตถุ รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมากและสามารถวิ่งผ่านทะลุวัตถุได้ง่าย แม้กระนั้นก็ตามในขณะที่รังสีเอกซ์กำลังเคลื่อนผ่านภายในวัตถุจะถูกวัตถุดูดกลืนบ้างและถูกกระเจิงบ้าง ถ้าเราฉายรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่งลงบนวัตถุ รังสีเอกซ์จะถูกกระเจิงไปทั่วทุกทิศ รังสีเอกซ์ที่ถูกกระเจิงนั้นประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นเท่าเดิมและรังสีที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าเดิม รูปที่1-6 แสดงหลักการของอุปกรณ์การวัดสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ถูกกระเจิงและแสดงเปรียบเทียบความเข้ม(intensity) ของรังสีเอกซ์ที่ถูกกระเจิงที่ความยาวคลื่นต่างๆ

การกระเจิงของรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นเท่าเดิมนั้นถูกศึกษาโดย(Thomson) เรียกว่าการกระเจิงชนิดทอมสัน (Thomson scattering) เขาสามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ด้วยทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าแผนเดิม แต่เขาไม่สามารถอธิบายการกระเจิงของรังสีเอกซ์ในกรณีที่ทำให้เกิดรังสีที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าเดิมได้ ต่อมาคอมป์ตัน (Compton) เป็นคนแรกที่สามารถอธิบายเหตุผลของการกระเจิงที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าเดิมได้สำเร็จและเรียกว่า ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton effect)

ปรากฏการณ์คอมป์ตันสามารถอธิบายได้ดังนี้ เริ่มแรกเราจะพิจารณาว่าอนุภาครังสีเอกซ์ที่ยิงเข้าวัตถุนั้นจะวิ่งไปชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในวัตถุ ทำให้อิเล็กตรอนถูกชนและอิเล็กตรอนกระเด็นไปในทิศทางที่ต่างจากทิศทางที่รังสีเอกซ์ตกกระทบวัตถุ ดังนั้นทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาครังสีเอกซ์จึงเปลี่ยนไปด้วยและโมเมนตัมของอนุภาครังสีเอกซ์ก็เปลี่ยนไปด้วย จากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมของระบบ โมเมนตัมของอิเล็กตรอนจึงเปลี่ยนไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันจะต้องรักษาการอนุรักษ์พลังงานด้วย ดังนั้นพลังงานส่วนที่ลดลงของอนุภาครังสีเอกซ์จะเท่ากับพลังงานส่วนที่เพิ่มขึ้นของอิเล็กตรอน นั่นคือ ถ้าให้ $h\nu$ เป็นพลังงานของอนุภาครังสีเอกซ์ ความถี่ ν ของรังสีเอกซ์นั้นจะลดลง ดังนั้นความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์จึงยาวขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 1-6 หลักการวัดปรากฏการณ์คอมป์ตัน(ซ้าย)และสเปกตรัมการกระเจิงรังสีเอกซ์(ขวา)

ต่อไปจะแสดงการคำนวณปรากฏการณ์คอมป์ตัน จากรูปที่ 1-7 รังสีเอกซ์มีความถี่ ν ริงชนอิเล็กตรอนซึ่งมีมวล m ให้ $h\nu$ คือพลังงานของรังสีเอกซ์ และ $h\nu/c$ เป็นโมเมนตัมของรังสีเอกซ์ที่ยิงเข้า หลังจากรังสีเอกซ์ริงชนอิเล็กตรอน รังสีเอกซ์ถูกกระเจิงเบี่ยงเบนจากทิศทางเดิมเป็นมุม φ และมีความถี่ ν_φ ส่วนอิเล็กตรอนถูกชนและกระเด็นไปในทิศทาง θ ด้วยความเร็ว v ในตอนแรกก่อนการชน เดิมอิเล็กตรอนอยู่นิ่งกับที่ และมีพลังงาน mc^2 หลังการชนทำให้อิเล็กตรอนได้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็น $mc^2 / \sqrt{1-\beta^2}$ โดยที่ $\beta = v/c$ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{กฎการอนุรักษ์พลังงาน} \quad h\nu + mc^2 = h\nu_\varphi + mc^2 / \sqrt{1-\beta^2} \quad (1.5)$$

$$\text{กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม} \quad \frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu_\varphi}{c} \cos \varphi + \frac{mc\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \cos \theta$$

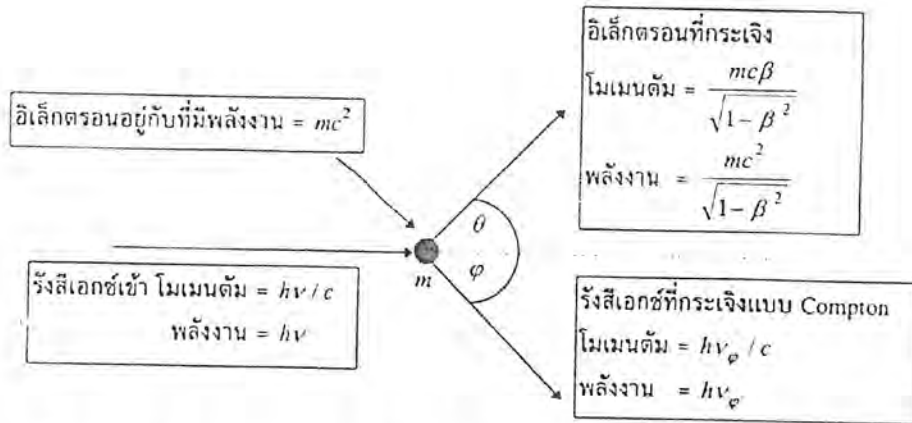
$$\frac{h\nu}{c} \sin \varphi = \frac{mc\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \sin \theta \quad (1.6)$$

จากสมการทั้งสองจึงได้ว่า

$$\nu_\varphi = \frac{\nu}{1 + \frac{h\nu}{mc^2} (1 - \cos \varphi)} \quad (1.7)$$

$$\text{หรือ} \quad \lambda_\varphi - \lambda = \Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \varphi) \quad (1.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1-7 การชนกันระหว่างรังสีเอกซ์และอิเล็กตรอนแบบอิลาสติก โดยพิจารณาจากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

สมการที่(1.8)แสดงให้เห็นว่า ถ้ามุมการกระเจิง ϕ มีค่ามาก การเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่น $\Delta\lambda$ ของรังสีเอกซ์จะยิ่งมีค่ามากขึ้น และค่า $\Delta\lambda$ นี้ไม่ขึ้นกับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ หนึ่งปริมาณของ h/mc มีค่าเท่ากับ $2.42 \times 10^{-12} \text{ cm} = 2.42 \times 10^{-12} \text{ m}$ และเรียกว่าความยาวคลื่นคอมป์ตันของอิเล็กตรอน

ถ้าคำนวณพลังงานของอิเล็กตรอนหลังจากถูกชนกระเด็นไป จะได้ว่า

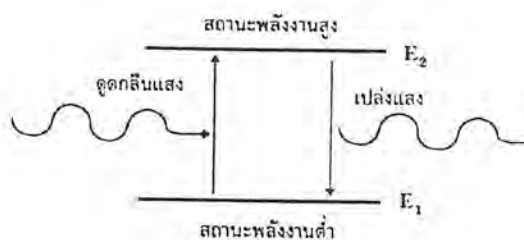
$$E_{kin} = h(\nu - \nu_\phi) = h\nu \frac{\frac{h\nu}{mc^2}(1 - \cos\phi)}{1 + \frac{h\nu}{mc^2}(1 - \cos\phi)} \quad (1.9)$$

และมุมกระเด็น θ ของอิเล็กตรอนหาได้จาก

$$\cot\theta = 1 + \frac{h\nu}{mc^2} \tan\frac{\phi}{2} \quad (1.10)$$

ทฤษฎีของคอมป์ตันที่กล่าวมานี้ สามารถอธิบายสาเหตุของการเปลี่ยนของความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์แต่ไม่ได้มีการพิสูจน์ว่าอิเล็กตรอนถูกชนกระเด็นไปจริง หลังจากทฤษฎีของคอมป์ตันได้ประกาศไปสองสามเดือนต่อมา Wilson และ Bethe ได้พิสูจน์ว่าอิเล็กตรอนถูกชนกระเด็นจริง ทำให้ทฤษฎีของคอมป์ตันได้รับความเชื่อถือเพิ่มขึ้น

จากทฤษฎีและผลการทดลองที่กล่าวมาหลายเรื่องข้างต้นนี้ ทำให้เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าแสงนั้นมีคุณสมบัติไม่เพียงแต่เป็นคลื่นแต่เป็นอนุภาคชนิดหนึ่งด้วย การดูดกลืนแสงกิติหรือการเปล่งแสงกิติ เกิดจากการที่ระบบที่เกี่ยวข้องมีการเปลี่ยนสถานะระหว่างสภาวะพลังงานสูงและสภาวะพลังงานต่ำ รูปที่ 1-8 แสดงภาพระดับพลังงานที่มีค่าไม่เท่ากันคือมีระดับพลังงานสูงอยู่ที่ E_2 และระดับพลังงานต่ำอยู่ที่ E_1 สมมติให้วาระบบ

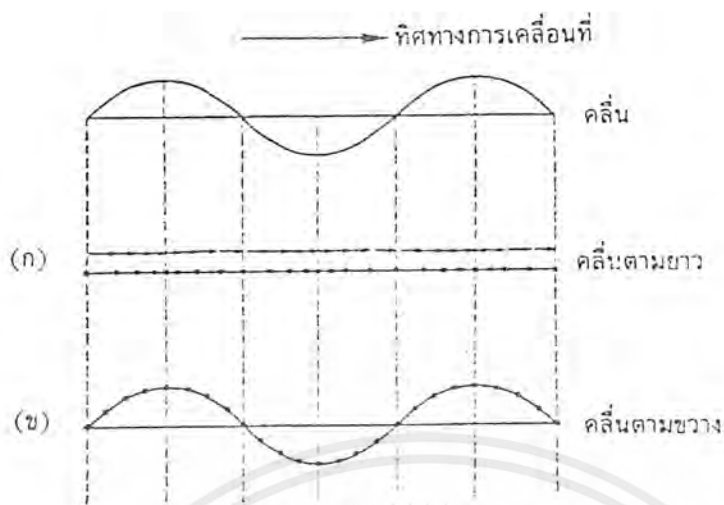


รูปที่ 1-8 สภาพระดับพลังงานที่มีค่าไม่เท่ากันคือมีระดับพลังงานสูงอยู่ที่ E_2 และระดับพลังงานต่ำอยู่ที่ E_1 ถ้าอิเล็กตรอน เปลี่ยนสถานะจาก E_2 ไปสู่ E_1 จะทำให้การเปล่งแสงที่มีพลังงานโฟตอนเท่ากับ $E_2 - E_1$ เท่ากับ $h\nu_{21}$ ออกมา หรือถ้าอิเล็กตรอน เปลี่ยนสถานะจาก E_1 ไปสู่ E_2 ก็ต้องมีการดูดกลืนพลังงานโฟตอนเท่ากับ $E_2 - E_1$

ที่กำลังพัฒนาเป็นระบบของอิเล็กตรอน ถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก E_2 ไปสู่ E_1 จะทำให้การเปล่งแสงที่มีพลังงานโฟตอนเท่ากับ $E_2 - E_1 = h\nu_{21}$ ออกมา หรือการเปลี่ยนสถานะอิเล็กตรอนจาก E_1 ไปสู่ E_2 ก็ต้องมีการดูดกลืนพลังงานโฟตอนเท่ากับ $E_2 - E_1$ เช่นกัน

1.1.3 การเป็นคลื่นแม่เหล็กของแสง

ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาคูณสมบัติของการเป็นคลื่นของแสง เมื่อกล่าวถึง "คลื่น" เรามักนึกถึงคลื่นเสียง คลื่นบนผิวน้ำ เราสามารถแบ่งคลื่นออกเป็น 2 ชนิด คือ คลื่นตามยาว (Longitudinal wave) และคลื่นตามขวาง (transverse wave) ดังแสดงในรูปที่ 1-9 ตัวอย่างเช่น เสียงเป็นคลื่นตามยาว เพราะทิศทางของการเดินทางของเสียงและทิศทางของการสั่นของตัวกลาง (อากาศ) อยู่ในทิศทางเดียวกัน ส่วนคลื่นตามขวางคือคลื่นซึ่งทิศทางของการเดินทางของคลื่นและทิศทางของการสั่นของตัวกลางนั้นตั้งฉากกัน



รูปที่ 1-9 ชนิดของคลื่นตามยาวและคลื่นตามขวาง

แสง (Light) เป็นคลื่นตามขวางและเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง (electro-magnetic wave) ที่กล่าวว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพราะว่าแสงเป็นคลื่นที่ประกอบด้วยทั้งสนามไฟฟ้า \vec{E} และ \vec{H} มีรูปดังนี้

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp \left[-i \left(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \delta \right) \right] \quad (1.11)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \exp \left[-i \left(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \delta \right) \right] \quad (1.12)$$

โดยที่ \vec{E}_0 : แอมพลิจูดของ \vec{E}

\vec{H}_0 : แอมพลิจูดของ \vec{H}

ω : ความถี่เชิงมุม = $2\pi f$

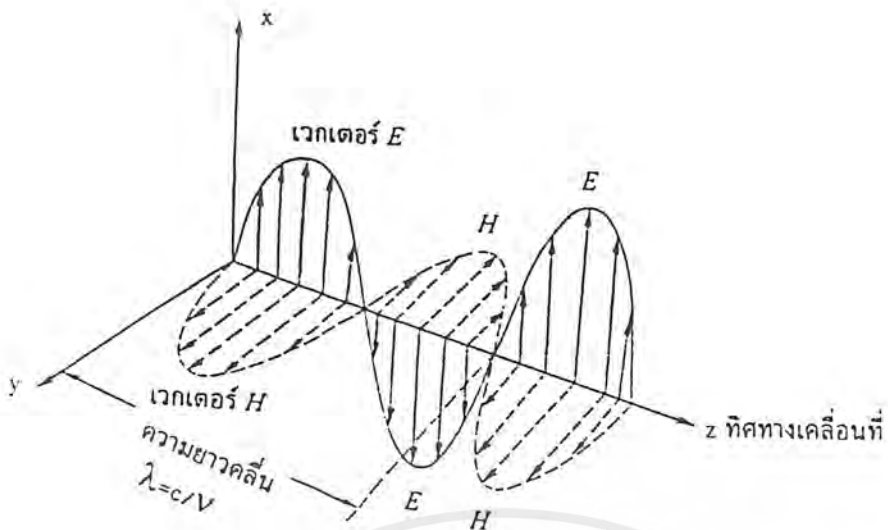
\vec{r} : เวกเตอร์ระยะทาง

\vec{k} : เวกเตอร์เลขคลื่น (wave number) = $2\pi / \lambda$

δ : เฟส(phase)

นอกจากนี้คุณสมบัตินี้สำคัญอีกอย่างหนึ่งของแสงคือ เวกเตอร์ \vec{E} ตั้งฉากกับเวกเตอร์ \vec{H} ดังแสดงในรูปที่ 1-10 เราเรียกคลื่นเช่นนี้ว่า คลื่นระนาบ (plane wave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1-10 คุณสมบัติของแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการพิจารณาเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและเวกเตอร์สนามแม่เหล็กของคลื่นแสง

ถ้าแสงวิ่งเข้าสู่วัตถุ จะมีแรง \vec{F} (Lorentz force) ที่เกิดจากอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างแสงและประจุไฟฟ้า e ในวัตถุที่เป็นจุด และแรงนี้มีค่าดังนี้

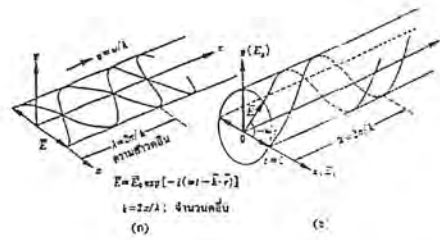
$$\vec{F} = e\vec{E} + \frac{e}{c}\vec{v} \times \vec{H} \quad (1.13)$$

โดยที่ \vec{v} : ความเร็วของประจุไฟฟ้าในวัตถุ

เนื่องจากโดยทั่วไป แอมพลิจูดของ $|\vec{E}| = |\vec{H}|$ ดังนั้นจากสมการนี้ทำให้เราทราบว่าแรงกระทำที่เกิดจากสนามแม่เหล็กของแสงจึงมีค่าเพียงประมาณ v/c เท่าของแรงกระทำที่เกิดจากสนามไฟฟ้าของแสง และนอกจากนี้ความเร็ว v ของประจุไฟฟ้าในวัตถุมีค่าประมาณ $1/100$ ของ c ดังนั้น v/c จึงมีค่าน้อยมาก ดังนั้นในการพิจารณาผลกระทบของแสงที่มีต่อวัตถุ เราจึงอาจอนุมูลพิจารณาเฉพาะผลของเทอมของสนามไฟฟ้าเป็นหลักก็ได้

ขอให้พิจารณารูปที่ 1-11 ซึ่งแสดงลักษณะการสั่นของคลื่น \vec{E} ในลักษณะต่างๆ ถ้าให้ z เป็นทิศทางของการเดินทางของแสง ในรูป (ก) เวกเตอร์ \vec{E} สั่นในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบ xy เสมอ กล่าวคือ ถ้ามองในทิศทาง z จะเห็นเวกเตอร์ \vec{E} เป็นเส้นตรงเท่านั้น เราเรียกแสงที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ว่า แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นตรง (linearly polarized light) แต่บางครั้งในวัตถุบางชนิดคลื่น \vec{E} อาจวิ่งไปทิศทาง z และหมุนตัวเองแบบเกลียวไปด้วยทำให้ลักษณะเวกเตอร์ \vec{E} ที่ดูในทิศทาง z กำลั้งหมันตลอดเวลา ถ้าการหมุนของเวกเตอร์ \vec{E} เป็นวงกลมเราเรียกแสงเช่นนี้ว่า แสงโพลาไรซ์เชิงวงกลม (circularly polarized light) หรือถ้าการหมุนของเวกเตอร์ \vec{E}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1-11 คุณสมบัติของคลื่นแสง (ก) แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นตรง (ข) แสงโพลาไรซ์เชิงวงกลม

เป็นวงรี เราเรียกแสงเช่นนี้ว่า แสงโพลาไรซ์เชิงวงรี (Elliptic polarized light) อนึ่งการหมุนของเวกเตอร์อาจมีทิศทางตามเข็มนาฬิกาก็ได้หรือทวนเข็มนาฬิกาก็ได้ [3]

ปกติแสงที่กำลังเดินทางอยู่ในอวกาศหรือสุญญากาศหรืออากาศจะเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นตรง แต่เมื่อแสงวิ่งเข้าสู่วัตถุ แสงนั้นอาจเปลี่ยนสภาพกลายเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงกลมหรือเชิงวงรีหรืออาจยังคงเป็นเชิงเส้นตรงเหมือนเดิมก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของวัตถุ ดังจะได้กล่าวในบทต่อไป

ขณะที่แสงกำลังเดินทางนั้น แสงจะทำหน้าที่ส่งพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปด้วย พลังงานของแสงในพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วยและในเวลาหนึ่งหน่วย I มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยด้วยเวลาของพอยนติงเวกเตอร์ \vec{S} (poynting vector) ดังนี้

$$I = \langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \vec{S} dt \quad (1.14)$$

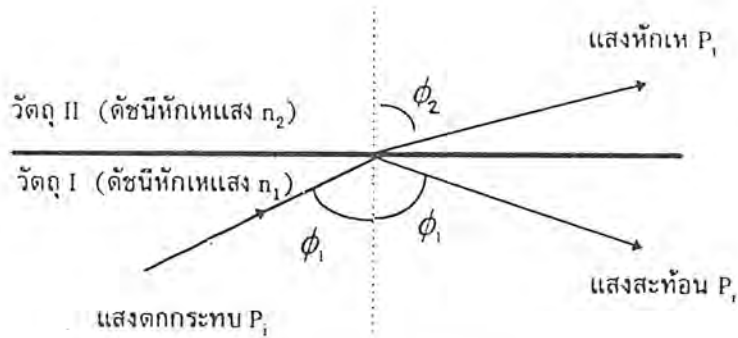
$$= \frac{\langle \vec{E} \parallel \vec{H} \rangle}{2} \propto \langle E \rangle^2 \quad (1.15)$$

และโดยทั่วไป

$$I = \langle \vec{E} \rangle^2 = \vec{E} \vec{E}^* \quad (2.16)$$

1.1.4 การหักเหและการสะท้อนของแสง

เมื่อแสงเดินทางจากวัตถุหนึ่งไปสู่วัตถุอีกชนิดหนึ่ง ที่บริเวณพรมแดนของวัตถุทั้งสอง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับ (reflect) และบางส่วนจะหักเห (refract) และแสงบางส่วนจะวิ่งเข้าสู่วัตถุที่สอง ในรูปที่ 1-12 ถ้าให้ ϕ_1 คือมุมแสงตกกระทบ ϕ_2 คือ มุมหักเห n_1 คือดัชนีหักเหของวัตถุที่หนึ่ง และ n_2 คือดัชนี



รูปที่ 1-12 การหักเหและการสะท้อนของแสงที่พรมแดนระหว่างวัตถุ 2 ชนิด ในรูปนี้ $n_1 > n_2$

หักเหแสงของวัตถุที่สอง เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\sin \phi_2 / \sin \phi_1 = n_1 / n_2 \quad (1.17)$$

ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า กฎของเฟรสเนล (Fresnel's law)

ต่อไปเราจะพิจารณาเกี่ยวกับพลังงานของแสง ถ้าให้ P_t คือ กำลังของแสงวิ่งทะลุ (power of transmitted light) ให้ P_r คือ กำลังของแสงสะท้อนกลับ (power of reflected light) และ P_i คือ กำลังของแสงตกกระทบ (power of incident light) จะได้ว่า

$$P_i = P_t + P_r \quad (1.18)$$

นิยามของสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง คือ $T = P_t / P_i$ (1.19)

นิยามของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง คือ $R = P_r / P_i$ (1.20)

$$\text{และ } T + R = 1 \quad (2.21)$$

จากการคำนวณโดยละเอียด พบว่าถ้าวัตถุทั้งสองชนิดมีเงื่อนไขดัชนีหักเหแสงว่า $n_1 < n_2$ และมุมแสงตกกระทบมีค่า $0 < \phi_1 < 90$ องศา จะไม่สามารถทำให้ T มีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือไม่สามารถทำให้ R มีค่าเป็นหนึ่ง นั่นคือจะไม่เกิดการสะท้อนกลับอย่างสมบูรณ์

แต่ถ้าวัตถุทั้งสองชนิดมีเงื่อนไขดัชนีหักเหแสงว่า $n_1 > n_2$ และมุมแสงตกกระทบมีค่า $\phi_1 > \phi_c$ จะสามารถทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดอย่างสมบูรณ์ได้ โดยที่ ϕ_c มีนิยามดังนี้

$$\sin \phi_c = n_2 / n_1 \quad (1.22)$$

นอกจากนี้จากกฎของ Goos-Hunche Shift เฟสของแสงสะท้อนอาจเปลี่ยนแปลงไปจากเฟสของแสงตกกระทบ ถ้าให้ ϕ คือปริมาณของเฟสที่เปลี่ยนแปลง จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ถ้า } \phi_1 \cong \phi_2 \text{ จะได้ } \Phi \cong 0 \quad (1.23)$$

$$\text{ถ้า } \phi_1 \cong 90 \text{ องศา จะได้ } \Phi \cong \pi \text{ (rad)} \quad (1.24)$$

ต่อไป เราจะลองพิสูจน์ที่มาของกฎของเฟรสเนลดังต่อไปนี้ ขอให้พิจารณารูปที่ 1-13 ให้แสงเดินทางจากจุด A ไปสู่จุด B ให้ c_1 และ c_2 คือความเร็วแสงของวัตถุ I และ II ตามลำดับ ดังนั้นเวลาที่แสงใช้ในการเดินทางจาก A ไป B คือ

$$t = \sqrt{a^2 + x^2} / c_1 + \sqrt{b^2 + (b' - x)^2} / c_2 \quad (1.25)$$

แสงโดยธรรมชาติควรจะใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด ดังนั้น x ที่ทำให้ t มีค่าน้อยที่สุดได้จากการคำนวณดังนี้

$$\frac{dx}{dt} = 0 \quad (1.26)$$

ดังนั้นจึงได้

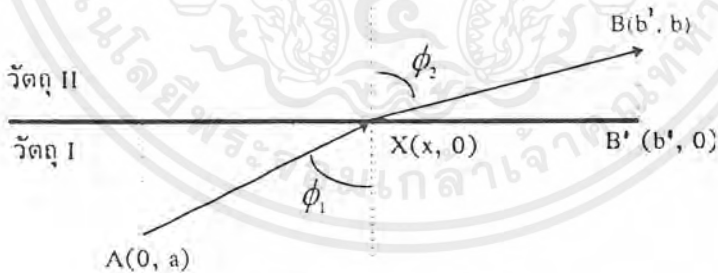
$$\frac{1}{c_1} \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{1}{c_2} \frac{(b' - x)}{\sqrt{b^2 + (b' - x)^2}} \quad (1.27)$$

และเนื่องจาก

$$\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \sin \phi_1, \quad \frac{b' - x}{\sqrt{b^2 + (b' - x)^2}} = \sin \phi_2 \quad (1.28)$$

ดังนั้นจึงได้ว่า

$$\frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_1} = \frac{c_2}{c_1} = \left(\frac{c}{n_2} \right) / \left(\frac{c}{n_1} \right) = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.29)$$



รูปที่ 1-13 การหักเหของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.4 การแทรกสอดของแสง (Interference of light)

เป็นที่ทราบกันดีว่า สมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's equations) สามารถใช้แสดงพฤติกรรมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งรวมทั้งแสงได้เป็นอย่างดี สมการของแมกซ์เวลล์มีคุณสมบัติเป็นสมการเชิงเส้น ดังนั้นถ้านำผลเฉลยของสมการนี้มาบวกกัน ก็ย่อมได้คำตอบเป็นค่าเชิงเส้นเช่นเดิม เราทราบกันดีว่าสมการที่ (1.11) นั้นเป็นผลเฉลยของสมการแมกซ์เวลล์ ดังนั้นถ้ามีแสงวิ่งออกมาจากจุด A และ B และไปรวมกันที่ C เราสามารถพิจารณาได้ว่าผลรวมของสนามไฟฟ้าของคลื่นแสงทั้งสองที่จุด C นั้นก็ย่อมเป็นผลเฉลยของสมการของแมกซ์เวลล์ด้วยเช่นกัน

ถ้าให้ \vec{E}_A และ \vec{E}_B คือสนามไฟฟ้าของคลื่นแสงที่วิ่งออกมาจากจุด A และ B ตามลำดับ และมีความถี่ ω เท่ากัน และให้ [4]

$$\vec{E}_A = \vec{E}_{0A} \exp \left[-i \left(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_A + \delta_A \right) \right] \quad (1.30)$$

$$\vec{E}_B = \vec{E}_{0B} \exp \left[-i \left(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_B + \delta_B \right) \right] \quad (1.31)$$

ดังนั้นคลื่น \vec{E}_C ที่เกิดจากผลรวมของ $\vec{E}_A + \vec{E}_B$ คือ

$$\vec{E}_C = \vec{E}_A + \vec{E}_B \quad (1.32)$$

$$= \left\{ E_{0A} \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r}_A - \delta_A)] + E_{0B} \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r}_B - \delta_B)] \right\} \times \exp(-i\omega t) \quad (1.33)$$

$$= \vec{C} \exp(-i\omega t)$$

(1.34)

ดังนั้นความเข้ม(intensity)ของแสงที่จุด C คือ

$$I = |E_c|^2 \quad (1.35)$$

$$= E_{0A}^2 + E_{0B}^2 + E_{0A}E_{0B} \left\{ \exp i(\vec{k} \cdot \vec{r}_A - \vec{k} \cdot \vec{r}_B - \delta_A + \delta_B) + \exp i(\vec{k} \cdot \vec{r}_B - \vec{k} \cdot \vec{r}_A - \delta_B + \delta_A) \right\} \quad (1.36)$$

$$= E_{0A}^2 + E_{0B}^2 + 2E_{0A}E_{0B} \cos \theta \quad (1.37)$$

โดยที่

$$\theta = \vec{k} [\vec{r}_A - \vec{r}_B + (\delta_B - \delta_A) / \vec{k}] \quad (1.38)$$

จากสมการที่(1.37)ความเข้มของแสงที่จุด C จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับค่า $\cos \theta$ นั่นคือ

$$1) \text{ ถ้า } \theta = 2m\pi \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1.39)$$

$$\text{จะได้ } I \text{ สว่างที่สุด กล่าวคือ } I_{\max} = (E_{0A} + E_{0B})^2 \quad (1.40)$$

$$2) \text{ ถ้า } \theta = (2m+1)\pi \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จะได้ } I \text{ มีค่าที่ต่ำสุด กล่าวคือ } I_{\min} = (E_{OA} - E_{OB})^2 \quad (1.42)$$

เนื่องจากมุม θ เป็นฟังก์ชันของ $(\vec{r}_A - \vec{r}_B)$ กล่าวคือเป็นฟังก์ชันของความแตกต่างของระยะทางที่แสงเดินทาง และเป็นฟังก์ชันของ $(\delta_B - \delta_A)$ กล่าวคือ เป็นฟังก์ชันของความแตกต่างของเฟสของแสงทั้ง 2 เส้นที่เดินทางมาถึงจุด C ดังนั้นถ้าความแตกต่างของเฟสมีค่าคงที่ตลอด จะทำให้ความเข้มของแสงที่จุด C ขึ้นกับความแตกต่างของระยะทางเท่านั้น ดังนั้นถ้าเราสังเกตความเข้มของแสงที่หลายๆ ตำแหน่งก็จะพบว่าเกิดเป็นแถบสว่างและแถบมืดสลับกันคล้ายลายม้าลาย ซึ่งเรียกว่า "ริ้วแทรกสอด"(interference fringe)

แต่ในทางปฏิบัติ แสงธรรมชาติที่ใช้กันทั่วๆ ไปจะมีเฟสคงที่ในเวลาที่ยาวนานเพียงไม่ถึง 10^{10} วินาที จึงทำให้ $(\delta_B - \delta_A)$ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีกฎเกณฑ์ จึงทำให้ในกรณีแสงทั่วไปนั้น $\cos\theta$ มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ จึงไม่ทำให้เกิดริ้วแทรกสอด กล่าวคือ แสงธรรมชาติจะทำให้เป็นริ้วแทรกสอดได้ยากมาก แต่ถ้าเราใช้แสงเลเซอร์จะเห็นริ้วแทรกสอดของแสงได้ชัดเจน

บทที่ 2

คุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยแก้วนำแสง

2.1 ประวัติความเป็นมาของเส้นใยแก้วนำแสง

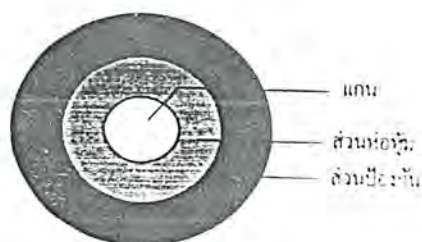
การใช้แสงเป็นสื่อในการนำสัญญาณแล้วส่งไปในตัวกลางต่างๆ นั้น ได้เริ่มขึ้นจากที่นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ จอห์น ทินดัล (John Tyndall) ได้พบว่าแสงสามารถส่งผ่านไปตามลำน้ำได้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2413 จากจุดเริ่มต้นนี้ก็ได้มีความพยายามกันเป็นเวลานานที่จะทำให้ปรากฏการณ์นี้มีประโยชน์ในทางปฏิบัติได้ จนกระทั่งในปี พ.ศ.2503 ก้าวสำคัญของการเปลี่ยนแปลงก็มาถึงเมื่อมีการทดลองใช้เลเซอร์เป็นครั้งแรก ต่อมาในปีพ.ศ.2509 ก็มีนักวิทยาศาสตร์สองคนของสหราชอาณาจักร ชื่อ ฮอคแคม (G.A. Hockham) และเกา (C.C.Kao) ได้ทำการศึกษาวิจัยว่าตัวกลางที่ทำด้วยใยแก้วนำแสงสามารถส่งผ่านได้ 1% ของแสงอินพุตด้วยระยะทาง 1 กิโลเมตร และตัวกลางนี้จะเป็นคู่แข่งสำคัญกับสายทองแดงหรือสายหุ้มฉนวน (Coaxial Cable) จากนั้นด้วยความก้าวหน้าทางวัสดุศาสตร์เรื่อยมา จนปัจจุบันทำให้สามารถมีใยแก้วนำแสงที่มีการส่งผ่านแสงที่มีประสิทธิภาพ หรือมีการสูญเสียต่ำได้ ใยแก้วนำแสงบางชนิดซึ่งอาจมีการสูญเสียต่ำมากคือมีการสูญเสียเพียง 0.1 เดซิเบลต่อกิโลเมตร (dB/km) เท่านั้น

2.2 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง

ส่วนประกอบของใยแก้วนำแสงประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือส่วนที่เป็นแกนอยู่ตรงกลางหรือชั้นในแล้วหุ้มด้วยส่วนที่เป็นแคลด แล้วถูกหุ้มด้วยส่วนป้องกัน (Coating) โดยที่แต่ละส่วนนั้นทำด้วยวัสดุที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงที่มีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เพราะต้องคำนึงถึงหลักการหักเหและสะท้อนกลับหมดของแสงดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

แกน : เป็นส่วนตรงกลางของเส้นใยแก้วนำแสง โดยดัชนีหักเหของแสงส่วนนี้ต้องมากกว่าของส่วนแคลดแล้วละแสงที่ผ่านไปแกนจะถูกขังหรือเคลื่อนที่ไปตามเส้นใยแก้วนำแสงด้วยขบวนการสะท้อนกลับหมดภายใน (ดูรูปที่ 2-1)

ส่วนป้องกัน : เป็นชั้นที่ต่อจากแคลดเป็นที่กันแสงจากภายนอกเข้าเส้นใยแก้วนำแสง และกันแสงจากเส้นใยนำแสงออกข้างนอก และยังใช้ประโยชน์เมื่อมีการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง โครงสร้างอาจจะประกอบไปด้วยชั้นของพลาสติกหลายๆ ชั้น นอกจากนั้นส่วนป้องกันยังทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการกระทำจากแรงภายนอกอีกด้วย ตัวอย่างของค่าดัชนีหักเหเช่น แกนมีค่าดัชนีหักเหประมาณ 1.48 ส่วนของแคลดและส่วนป้องกันซึ่งทำหน้าที่ป้องกันแสงจากแกนภายนอก และป้องกันแสงภายนอกรบกวนจะมีค่าดัชนีหักเหเป็น 1.46 และ 1.52 ตามลำดับ



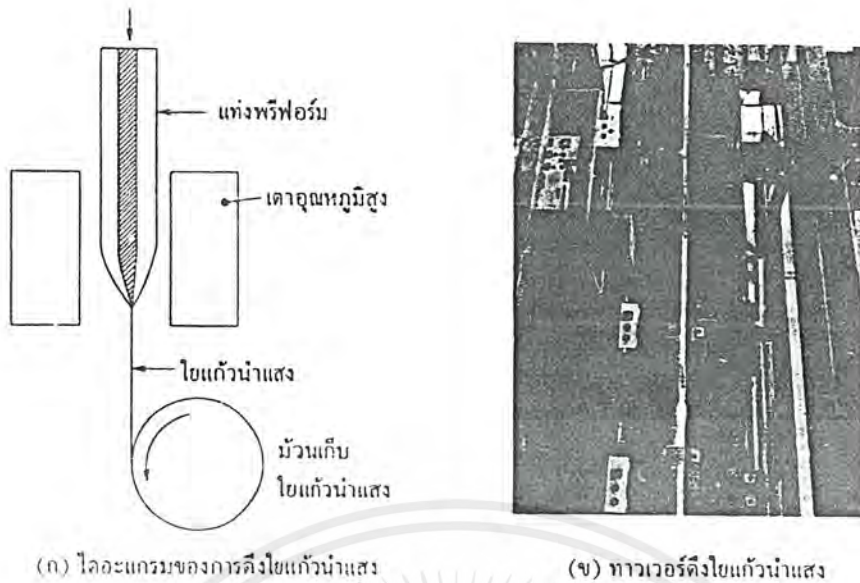
รูปที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง

2.3 การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง

วิธีการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทคือ วิธีการโดยตรง หรือ ดี เอ็ม เอ็ม (Direct Melt Method, DMM) และวิธีการระเหยสาร วี พีโอ พี (Vapour Phase Oxidation Process, VPOP) โดยวิธีการทั้งสองแบบนี้มีลักษณะการทำเส้นใยแก้วนำแสงที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง และยังสามารถแบ่งเป็นวิธีย่อยๆ ที่แตกต่างกันในกระบวนการทางเคมีด้วย ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

2.3.1 วิธีการ ดี เอ็ม เอ็ม

ในการทำแก้วพรีฟอร์ม (Perform) จะทำเป็นสองชั้น (Double Crucible) โดยวิธีการอัดซิลิกา (Silica) เข้าไปในท่อ โดยให้ส่วนที่จะทำแกนเป็นส่วนใน (Inner Crucible) ส่วนเคลดไว้ส่วนนอก (Outside Crucible) ในการทำเส้นใยนำแสง จะทำได้โดยการให้ความร้อนกับแท่ง พรีฟอร์ม แล้วดึงด้วยเครื่อง ดังรูป 2-2 ที่มีขั้นตอนต่างกัันดังรายละเอียด โดยเริ่มจากการนำแท่งพรีฟอร์มมาให้ความร้อนแล้วดึง และใส่ส่วนป้องกันตามลำดับ ซึ่งวิธีนี้จะสะดวกดี แต่เส้นใยนำแสงที่ทำด้วยวิธีนี้จะไม่บริสุทธิ์



(ก) ไลอะแควรมของการดึงใยแก้วนำแสง

(ข) ทาวเวอร์ดึงใยแก้วนำแสง

Adobe Photoshop Clip Image is too big to be exported

รูป 2-2 แสดงเครื่องดึงเส้นใยแก้วนำแสงและขั้นตอนต่างๆ

2.3.2 วิธีการ วิ พี ไอ ที

การผลิตใยแก้วนำแสงด้วยวิธีนี้เป็นการผลิตที่มีขั้นตอน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการทำแท่งแก้วพรีฟอร์ม และอีกขั้นตอนเป็นการดึงแท่งพรีฟอร์ม เพื่อทำเป็นเส้นใยนำแสง ในการทำแท่งแก้วพรีฟอร์มนั้นต้องมีการผสมโลหะ (Metal Halide) ซึ่งเป็นเคมีภัณฑ์เหลวที่ต้องควบคุมอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเป็นไอ จากการทำปฏิกิริยากับก๊าซพาหะ (Carrier Gas) ไปเกาะเกิดเป็นเนื้อสารที่มีดัชนีหักเหต่าง ๆ กัน ซึ่งมีวิธีการต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. Modified Chemical Vapour Deposition (MCVD) วิธีทำ คือ ใส่โลหะผสมชนิด SiCl_4 เข้าไปในท่อซิลิกาที่หมุนอยู่ตลอดเวลา แล้วให้ความร้อนด้วยหัวเผา ที่เคลื่อนที่ตลอดแนวยาวของท่อซิลิกา เมื่อโลหะทำปฏิกิริยากับก๊าซพาหะ ก็จะเกาะอยู่ที่ผนังของท่อซิลิกาเกิดเป็นส่วนของแคลลด และถ้าการเคลื่อนที่ของหัวเผามีอัตราเร็วขึ้นก็จะเป็นส่วนของแกน แล้วจึงนำไปยู่บตัวเพื่อทำการดึงต่อไป
2. Plasma Activated Chemical Vapour Deposition (PCVD) จะคล้ายกับ MCVD แต่จะเปลี่ยนการให้ความร้อนด้วยหัวเผา เป็นการใส่ไว้ในเตาอบแทน ซึ่งจะดีกว่า MCVD ตรงที่ท่อซิลิกาก่อนจะไม่เสียรูปทรง
3. Outside Vapour Phase Oxidation (OVPO) วิธีการนี้ทำให้เกิดการเกาะตัวที่ผนังด้านนอกของแท่งแก้วไฟต์ทำให้เนื้อสารมีค่าดัชนีหักเหต่าง ๆ ตามที่เราต้องการแล้วนำไปแยกออกจากแท่งแก้วไฟต์ จะได้แท่งแก้วใส แล้วจึงนำไปทำการยู่บตัวต่อไป
4. Vapour Phase Axial Deposition (VPAD) เป็นวิธีที่คล้ายกับ OVPO แต่ทำในแกนตั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการพ่น $\text{SiCl}_4 + \text{BO}_3$ และ $\text{SiCl}_4 + \text{GeCl}_4$ สำหรับเคล็ดและแกนตามลำดับให้กับแท่งแก้วซิลิกา พอเริ่มเกิดแท่งแก้วที่ปลายของแท่งซิลิกา ก็จะถูกดึงขึ้นไปสู่แท่งคาร์บอนร้อน แล้วได้แท่งพรีฟอร์มออกมาโดยไม่ต้องทำการยวบตัวอีก

2.3.3 การดึง

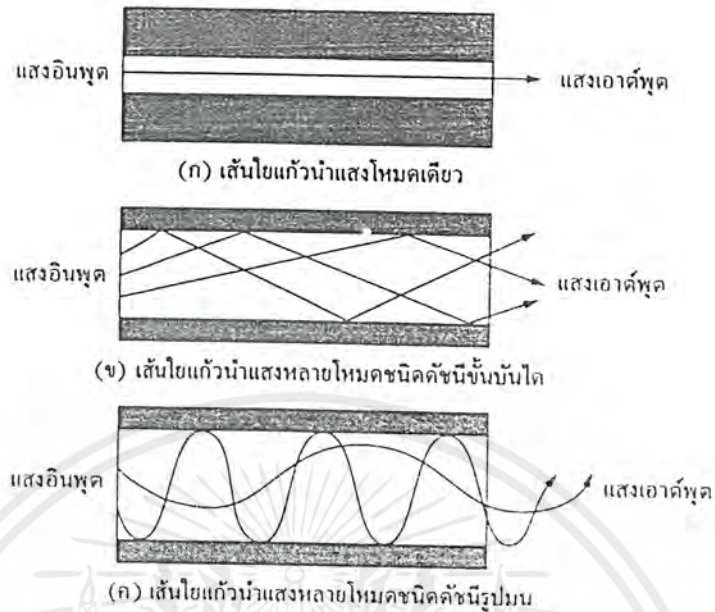
การดึง (Drawing) เป็นการนำแท่งแก้วพรีฟอร์มออกมาเพื่อทำเป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่สามารถกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางได้นั้นคือนำแท่งแก้วพรีฟอร์มซึ่งได้มาจากกระบวนการดึงที่กล่าวมาแล้วมาให้ความร้อนที่ปลายพอเริ่มเหลวก็จะถูกดึงลงข้างล่างไปสู่บริเวณที่จำกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสง แล้วจึงจะถูกหุ้มด้วยสว่นป้องกันเพื่อเสริมความแข็งแรง แล้วจะถูกนำไปทดสอบแรงดึงและคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงอื่นๆเช่น คุณสมบัติการกระจาย (Dispersion) คุณสมบัติการส่งผ่านและการสูญเสียหรือการลดทอน (Transmission and Loss) หรือ (Attenuation) และทางโครงสร้างต่อไป เป็นต้น

2.4 ชนิดของใยแก้วนำแสง

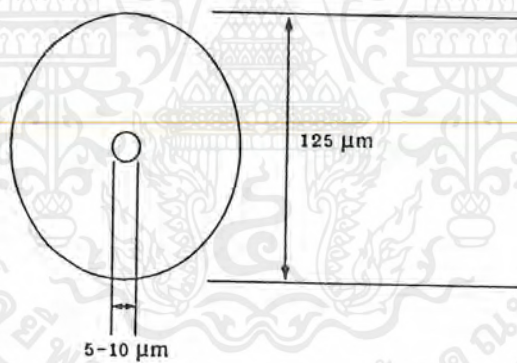
ภายในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจำนวนลำแสงที่เดินทางหรือเกิดขึ้นจะเป็นตัวบอกโหมดของแสงที่เดินทางภายในเส้นใยแก้วนำแสงนั้น กล่าวคือถ้ามีแนวลำอยู่แนวเดียวเรียกว่าเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว (Single Mode Fiber) แต่ถ้าภายในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นมีแนวลำแสงอยู่เป็นจำนวนมาก เรียกว่าเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด (Multimode Fiber) จากรูปที่ 2-3 นอกจากการแบ่งชนิดใยแก้วนำแสงตามลักษณะของโหมดแล้วยังมีวิธีอื่นที่แบ่งโดยดูจากวัสดุที่ทำเช่น เส้นใยที่ทำจากแก้ว พลาสติก หรือโพลิเมอร์และก็ยังสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของรูปร่าง ลักษณะของดัชนีหักเห เช่น ใยแก้วชนิดดัชนีชั้นบันได (Step Index) หรือดัชนีรูปมน (Graded Index) เป็นต้น

2.4.1 เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว

เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนและเคล็ดประมาณ 5-10 และ 125 ไมครอนตามลำดับ ซึ่งส่วนของแกนมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดมาก และให้แสงออกมาเพียงโหมดเดียว ลักษณะหน้าตัดของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวแสดงได้ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-3 แสดงลักษณะของแสงที่เดินทางภายในของเส้นใยแก้วนำแสง



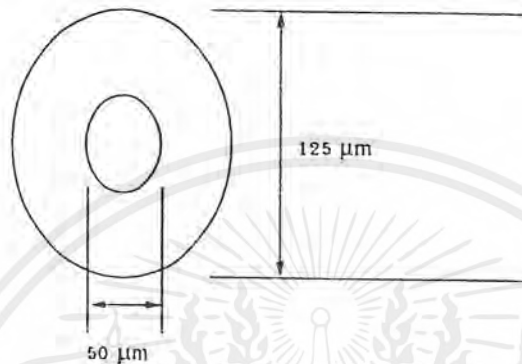
รูปที่ 2-4 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว

พิจารณาจากรูปจะเห็นว่าขนาดของแกนที่ใช้ส่งสัญญาณนั้นเล็กมากซึ่งทำให้การนำแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วยากกว่าใยแก้วหลายโหมดแสง เนื่องจากข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียวคือ การแตกกระจายของสัญญาณเกิดขึ้นน้อยกว่าใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดทำให้มีแบนด์วิดท์ที่ใช้ประโยชน์ได้กว้างขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

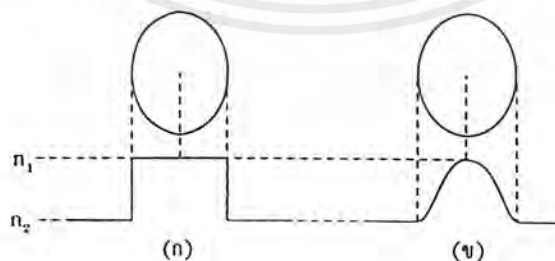
2.4.2 เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด

โครงสร้างภายในของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งประกอบด้วยแกนและเคลดตั้งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนและเคลดโดยประมาณ 50 ไมครอนและ 125 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะหน้าตัดดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด

เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโมนั้นมีขนาดใหญ่ ดังนั้นแสงที่ตกกระทบที่ปลายอินพุตของเส้นใยแก้วนำแสงมีมุมตกกระทบที่แตกต่างกันหลายค่า จากหลักการสะท้อนกลับหมดของแสงที่เกิดขึ้นภายในส่วนของแกนทำให้มีแนวลำแสงเกิดขึ้นหลายโหมด และแสงแต่ละโหมดเดินทางโดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันอันเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกกระจายของโหมดแสง (Mode Dispersion) หรือของสัญญาณที่ได้รับเนื่องจากการแตกต่างของเวลา จึงได้มีการพัฒนาที่จะลดการแตกกระจายของสัญญาณซึ่งเกิดขึ้นจากเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดด้วยการปรับปรุงลักษณะดัชนีหักเหของแกน ดังรูปที่ 2-6



(ก) ลักษณะดัชนีหักเหแสงของแกนเมื่อมีลักษณะเป็นขั้นบันได

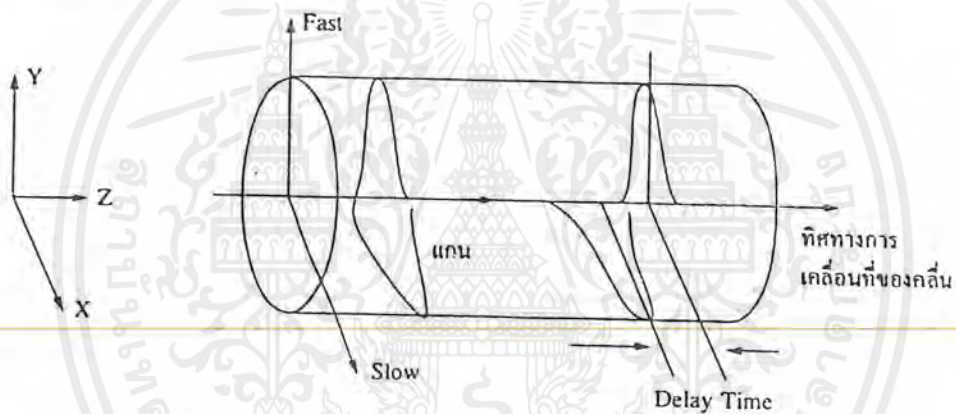
(ข) การกระจายของสัญญาณเมื่อดัชนีหักเหภายในแกนมีค่าค่อย ๆ เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 2-6 แสดงชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามลักษณะของดัชนีหักเหของแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

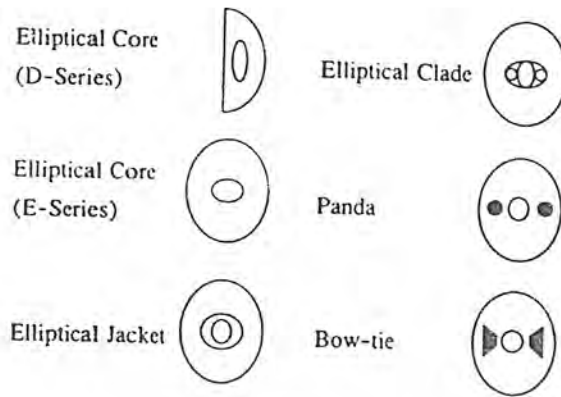
2.4.3 โยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษสภาวะทางโพลาริเซชัน

สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวแบบธรรมดาในทางทฤษฎีกล่าวว่า องค์ประกอบของความเร็วแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงจะเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติเส้นใยแก้วนำแสงจะไม่สมมาตรสมบูรณ์ซึ่งการมีรูปร่างและดัชนีหักเหที่ไม่สมมาตรจะทำให้โหมดทั้งสองของแสงมีความเร็วที่แตกต่างกันเล็กน้อยองค์ประกอบของความเร็วจะประกอบด้วยองค์ประกอบตามแกนที่เร็วกว่า (Fast Axis) และอีกแกนหนึ่งที่ตั้งฉากกันที่มีความเร็วต่ำกว่า (Slow Axis) จากความแตกต่างของความเร็วนี้เองทำให้เกิดการหักเหสองแนว ปรัชญาการณีนี้อาจเกิดจากรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วข้างต้นที่เกิดจากคุณสมบัติภายในของเส้นใยแก้วนำแสงเอง หรือในกระบวนการผลิตที่มีโครงสร้างของส่วนแกนภายในซึ่งอาจทำให้เกิดความเค้นบริเวณรอบๆ แกน (Geometrical Effect, GE) หรือเกิดการรบกวน เนื่องจากผลของการให้ความเค้นภายนอก (Stress Effect, SE) ดูรูปที่ 2-7 และ 2-8 ประกอบ



รูปที่ 2-7 แสดงโหมดของเส้นใยโพลาริเซชันสองโหมดที่ตั้งฉากกันและมีความเร็วต่างกัน

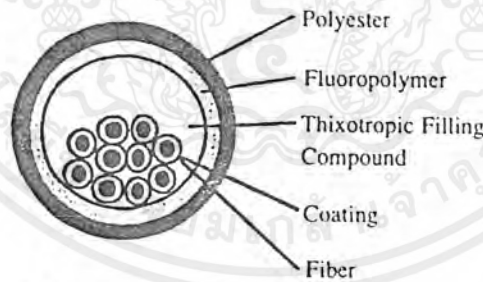
เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้ มีความสามารถในการอนุรักษสภาวะโพลาริเซชัน (Polarization Maintaining, PM) ซึ่งจะแบ่งเป็นชนิดไฮไลไบร์พริเนนซ์ (Highly Birefringence, HB) และชนิดโลว์ไบร์พริเนนซ์ (Low Birefringence, LB) โดยพิจารณาจากผลต่างของค่าดัชนีหักเหแสงหรือ ไบร์พริเนนซ์ กล่าวคือถ้าค่าไบร์พริเนนซ์ $B > 10^{-5}$ จัดเป็นไฮไลไบร์พริเนนซ์ แต่ถ้าไบร์พริเนนซ์ $B < 10^{-5}$ จัดเป็นโลว์ไบร์พริเนนซ์ เส้นใยแก้วนำแสงไฮไลไบร์พริเนนซ์ยังแยกพิจารณาเป็นแบบโพลาริเซชันโหมดเดียว (Single Polarization Mode, SP) และสองโหมด (Two Polarization Modes, TP) เป็นต้น



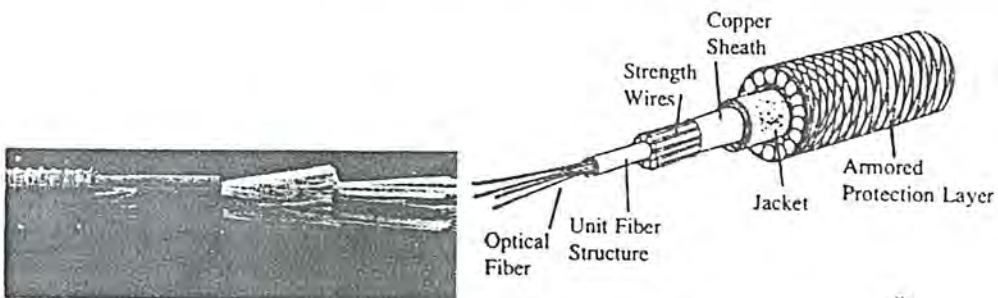
รูปที่ 2-8 แสดงตัวอย่างของเส้นใยแก้วนำแสงไฮสปีร์ฟรินเจนซ์บางชนิด

2.5 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง

ใยแก้วนำแสงนั้นมีกระบวนการผลิตหลายวิธีดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะแตกต่างกันที่วิธีการทำแท่งพรีฟอร์มหลังจากได้แท่งพรีฟอร์มแล้วก็จะนำมาดึงทำแสงขนาดและประเภทต่างๆ พร้อมทั้งทำการป้องกันเพื่อทำเป็นเคเบิลตามลักษณะของการใช้งานต่างๆ เช่น สายเคเบิลกับงานเดินสายใต้ดิน สายอากาศ สายใต้น้ำ สายในอาคาร และงานระหว่างอาคาร เป็นต้น ดังรูปที่ 2-9 จะเป็นตัวอย่างเคเบิลใยแก้วนำแสง ซึ่งเป็นลักษณะต่างๆไปเท่านั้น สำหรับในการใช้งานในปัจจุบันนี้มีเคเบิลมากมายหลายชนิดแล้วแต่ความต้องการใช้งานเป็นสำคัญ



(ก) ลักษณะเส้นใยแก้วชนิดลูสทิวบ (Loose Tube Cable)



(ข) ลักษณะของสายแขวน (Aerial Cable)

(ค) ลักษณะของเคเบิลใยแก้วใต้น้ำ (Under Sea Cable)

รูปที่ 2-9 แสดงตัวอย่างของเคเบิลใยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การสื่อสารด้วยแสง

จากความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจและสังคม ทำให้มีความต้องการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารและข้อมูลเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการได้ทั้งปัจจุบันและอนาคต ระบบสื่อสารด้วยแสง (Optical Communication System) ซึ่งสามารถส่งข่าวสารและข้อมูลต่างๆได้เป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกันจึงได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

ระบบสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารที่ใช้เคเบิลที่ทำด้วยโลหะแล้วมีข้อดีต่างๆที่เกิดจากคุณสมบัติของใยแก้วนำแสงดังนี้คือ

1. **ให้แบนด์วิดท์ที่กว้าง** กล่าวคือ การใช้คลื่นพาหะที่มีความถี่สูงในระบบสื่อสารทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณกว้างมากขึ้น การสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงนั้นขึ้นกับคลื่นพาหะที่มีความถี่อยู่ในช่วง $10^{13} - 10^{14}$ เฮิรตซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ของคลื่นวิทยุซึ่งมีความถี่ $10^6 - 10^9$ เฮิรตซ์ แล้วจะเห็นว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณกว้างขึ้นถึงประมาณ 10^6 หรือ 1 ล้านเท่า

2. **ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา** ใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวสามารถแทนคู่สายทองแดงขนาดใหญ่แต่ละคู่ได้ เช่น สายเคเบิลทางโทรศัพท์ที่มี 1,000 คู่สาย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-10 เซนติเมตร จะสามารถใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร แทนได้ในการส่งช่องสัญญาณจำนวนที่เท่ากัน

3. **การสูญเสียต่ำ** ใยแก้วนำแสงมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการลดทอนน้อยกว่าสายเกลียวคู่ (Twisted Pair) หรือ หุ้มฉนวน (Coaxial Cable)

4. **ไม่ถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงไม่ได้สร้างจากเส้นลวดโลหะเหมือนสายเคเบิลโลหะแต่สร้างจากแก้ว (Glass) หรือซิลิกอน (Silicon) ดังนั้นจึงไม่ถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่ต้องใช้เทคนิคป้องกันด้วยวิธีการชิลด์ (Shield) ที่มีราคาแพงและยุ่งยากเพื่อป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

5. **คงทนและไม่ถูกรบกวนโดยสภาพดินฟ้าอากาศ** แก้วหรือซิลิกอนมีความแข็งแกร่งกว่าโลหะถึง 20 เท่า โดยที่ซิลิกอนหรือแก้วก็เป็นธาตุเฉื่อย ดังนั้นสภาพแวดล้อมจึงมีผลน้อยกว่าการใช้งานสายที่ทำด้วยโลหะ

6. **มีความปลอดภัย** ในระบบสายโลหะจำเป็นต้องป้องกันอันตรายให้กับอุปกรณ์หรือมนุษย์จากไฟฟ้าลัดวงจรระหว่างสาย หรือระหว่างสายกับสายดิน ซึ่งเมื่อใช้เส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งเหล่านี้

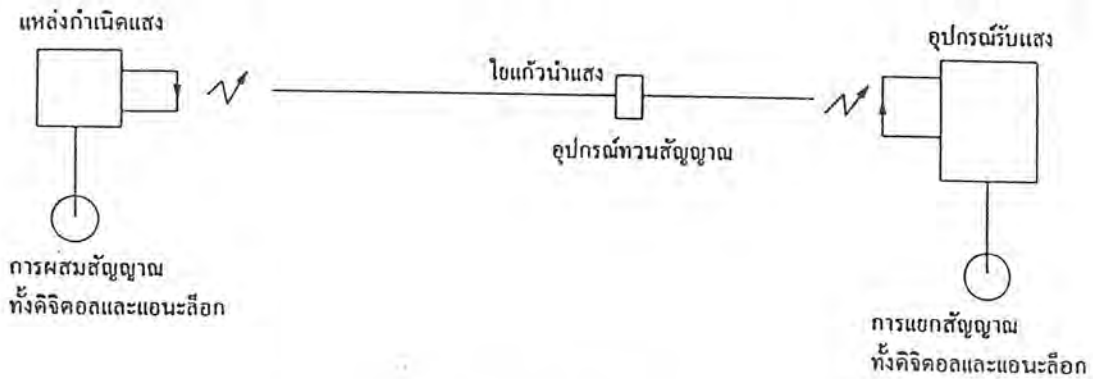
7. **ราคาถูก** ราคาของเส้นใยแก้วนำแสงในปัจจุบันมีราคาต่ำลงเรื่อยๆ ในขณะที่ราคาของสายโลหะมีราคาเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติทุกวันนี้ราคาของการออกแบบระบบที่ใช้ใยแก้วนำแสงมีราคาต่ำกว่าระบบแบบใช้โลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 การสื่อสารเชิงแสง

แนวความคิดของการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงเกิดขึ้นเมื่อนักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะค้นคว้าเกี่ยวกับการส่งผ่านแสงในชั้นบรรยากาศมาก่อนแต่ไม่ค่อยประสบผลสำเร็จมากนัก เนื่องจากแสงจะถูกลดกำลัง หรือลดทอนในชั้นบรรยากาศอย่างมาก การส่งผ่านแสงชั้นบรรยากาศจึงถูกจำกัดเฉพาะการสื่อสารในระยะทางสั้นๆ ต่อมาจึงหันมาวิจัยการสื่อสารโดยใช้ใยแก้วนำแสง แต่ในระยะแรกเกิดปัญหาเนื่องจากสูญเสียมากถึงประมาณ 1,000 เดซิเบล/กิโลเมตร ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้กับการสื่อสารได้ ต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้ทำการวิจัยและพัฒนาจนอัตราการสูญเสียของเส้นใยแก้วนำแสงเหลือเพียง 0.2 เดซิเบล/กิโลเมตร ตัวอย่างเช่น แสงเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงที่ยาว 15 กิโลเมตร ปริมาณของแสงจึงจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถนำแสงไปได้ไกลมาก จากการนำแสงเลเซอร์และใยแก้วนำแสงมาใช้ร่วมกันจึงทำให้เกิดการส่งข่าวสารยุคใหม่ขึ้นเรียกว่า “การสื่อสารใยแก้วนำแสง”

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสง แสดงได้ดังรูปที่ 2-10 ซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง (Electrical Optical Converter, E/O) ที่ทำงานโดยรับสัญญาณไฟฟ้ามาจากอุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง หรือ เลเซอร์ และส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงโดยความแรงของสัญญาณไฟฟ้าที่รับได้จากอุปกรณ์รับสัญญาณปลายทางจะถูกเปลี่ยนเป็นความเข้มแสง หรือระดับของสัญญาณ “1” และ “0” ด้วยวิธีหลังนี้สัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นแสงที่สว่างและมีด หรือเปิด-ปิดสัญญาณที่เดินทางในใยแก้วนำแสงนั้นกำลังจะอ่อนลงเมื่อเดินทางในระยะทางที่เพิ่มขึ้นพร้อมทั้งรูปคลื่นที่ขยายกว้างออกด้วย ดังนั้น เมื่อถึงอุปกรณ์เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า (O/E) ทางด้านรับสัญญาณแล้วก่อนที่จะส่งไปก็จะถูกทวนสัญญาณและส่งต่อไปยังปลายทาง



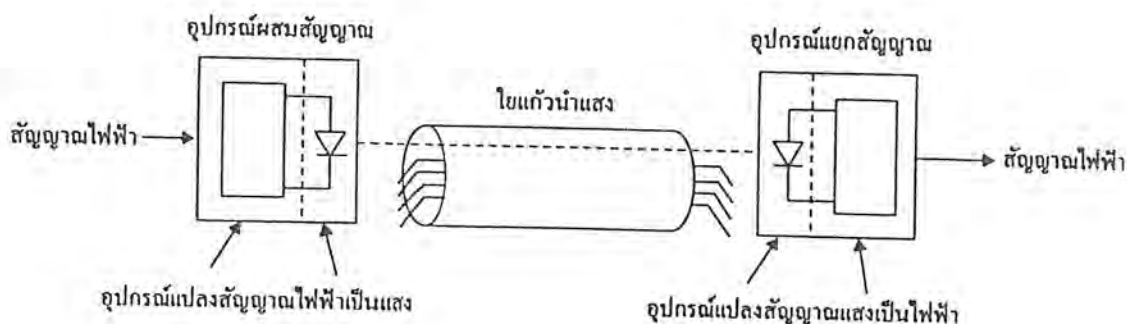
รูปที่ 2-10 ผังแสดงระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง

2.6.2 ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง

ระบบอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงนั้นทำได้โดยใช้อุปกรณ์ทางแสง ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ซึ่งปกติใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิด ไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือไดโอดเลเซอร์ (LD) ส่วนอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้านั้นทำได้โดยใช้ไดโอดแสง (Photodiode) หรือทรานซิสเตอร์แสง (Photo Transistor) นอกจากนี้กรณีที่ระยะทางของสายส่งยาวมากอาจต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณแสงอีกครั้งและส่งกลับไปยังเส้นใยแก้วนำแสง

การผสมและแยกสัญญาณ

การผสมสัญญาณ (Modulation) ของการสื่อสารนั้น หมายถึงการทำให้ความถี่ของการสั่นในการส่งเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข่าวสาร สำหรับการสื่อสารใยแก้วนำแสงนั้นความถี่ (หรือความยาวคลื่น) ของแสงที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นความถี่หรือความยาวคลื่นของการผสมสัญญาณจึงแตกต่างกับการสื่อสารทางไฟฟ้า ถ้าหากสามารถทำให้แสงเป็นแสงอาพันธ์ (Coherence Light) ที่สมบูรณ์นั้นคือมีความถี่คงที่ และสามารถเปลี่ยนความถี่แสงให้อยู่ในย่านความถี่ไมโครเวฟได้ก็จะทำให้การสื่อสารใยแก้วนำแสงมีการผสมคลื่นชนิดต่างๆ เหมือนกับการสื่อสารทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการผสมคลื่นแสงนั้นเป็นเพียงการผสมความเข้มแสง (Intensity Modulation) เท่านั้น (ดูรูปที่ 2-11 ประกอบ)



รูปที่ 2-11 แสดงการผสมสัญญาณและการส่ง

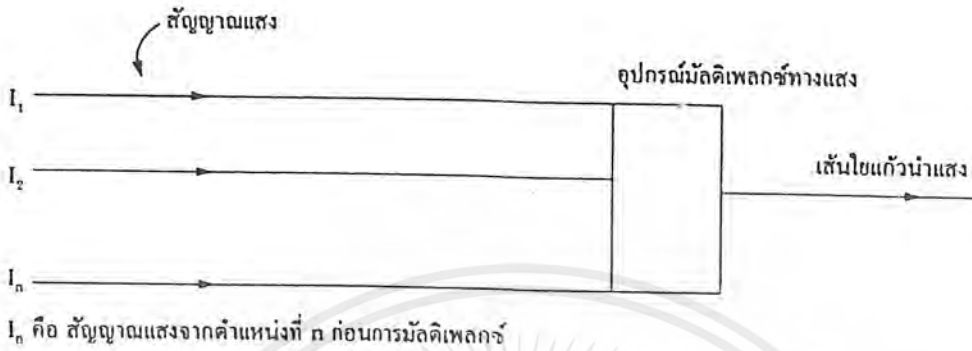
ปกติสัญญาณแสงทางด้านรับของระบบสื่อสารนั้นสัญญาณจะอ่อนกำลังลง และบางครั้งอาจเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการส่งผ่านไปในใยแก้วนำแสง เมื่ออุปกรณ์รับแสงทำการแปลงสัญญาณให้ได้สัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาเป็นรูปร่างของสัญญาณเดิมที่เป็นสัญญาณพื้นฐาน (Baseband) และเป็นไปตามรูปร่างของกรอปกคลื่น (Envelope) ของสัญญาณที่เกิดจากการรวมกับคลื่นพาหะทางแสง สัญญาณนี้จะผ่านชั้นต่อนทางไฟฟ้าเพื่อทำการขยายสัญญาณ และได้สัญญาณที่เครื่องรับปลายทางเหมือนกับต้นกำเนิดข้างสารทุกประการ ในอนาคตถ้าสามารถทำให้แสงที่เป็นแสงอาพันธ์อย่างสมบูรณ์ก็จะสามารถใช้วิธีการผสมคลื่นที่ทำให้ความถี่ของต้นกำเนิดแสงเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณนั้น คือใช้วิธีผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพดีได้และทำนองเดียวกันกับทางด้านรับแสงก็สามารถใช้การแยกสัญญาณที่เรียกว่าเทคนิคทางด้านความถี่ (Heterodyne Detection) เป็นส่วนการรับสัญญาณปลายทาง

การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลและอนาล็อก

การส่งสัญญาณโดยทั่วไปนั้นมีสองแบบคือ การส่งสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital) และอนาล็อก (Analog) การสื่อสารด้วยแสงนั้นมีการส่งสัญญาณอยู่สองชนิดนี้เช่นกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสัญญาณไฟฟ้าที่มาผสมกับแสงว่าจะจะเป็นสัญญาณดิจิตอลหรือสัญญาณอนาล็อกเท่านั้น การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลโดยทั่วไปแล้วจะนำมาเปลี่ยนเป็นรหัส (Code) ที่เหมาะแก่การส่งแล้วจึงส่งออกไปเช่นเดียวกับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อก นั่นคือก่อนที่จะทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณแสงนั้น จะทำการผสมสัญญาณขั้นแรกกับแหล่งกำเนิดแสงก่อน ทั้งนี้ก็เพราะว่าแสงเอาต์พุตของอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นไม่เป็นสัดส่วนกับระดับสัญญาณไฟฟ้า อินพุตเสมอไป ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในการรักษาคุณสมบัติของการส่งเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องทำการผสมสัญญาณเบื้องต้นก่อน การเลือกระบบการส่งสัญญาณทั้ง 2 ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสงค์ของการใช้งาน การเลือกระบบแบบอนาล็อกมักใช้กับการส่งสัญญาณภาพในข่ายสาย (Networks) หรือเคเบิลทีวี แต่ในขนาดระบบการส่งแบบดิจิทัลที่มีคุณภาพดีกว่าจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในทุกๆด้าน

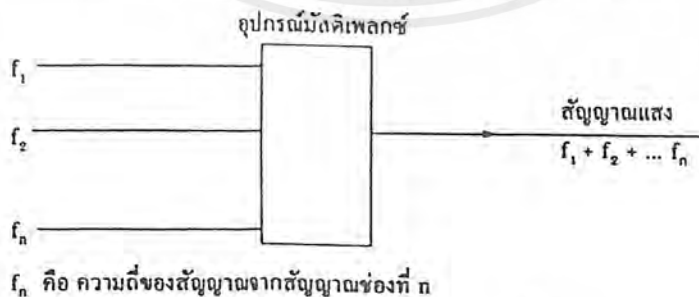


รูปที่ 2-12 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งระยะทาง

การทำมัลติเพลกซ์

การสื่อสารนั้นถ้าสามารถส่งข่าวสารได้มากเท่าใดก็จะเป็นการประหยัด ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงก็เช่นเดียวกันต้องมีการทำมัลติเพลกซ์ (Multiplex) เหมือนกับระบบการสื่อสารใช้สายที่เป็นโลหะเช่นกันการมัลติเพลกซ์ทางแสงสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งระยะทาง (Space Division Multiplexing) หมายถึง ในสายเคเบิลหนึ่งเส้นจะมีเส้นใยแก้วนำแสงเป็นจำนวนมากซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ส่งสัญญาณได้จำนวนมากต่อสายเคเบิลหนึ่งเส้น (ดูรูปที่ 2-12)
2. การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing) เป็นระบบที่ใช้กับการสื่อสารใยแก้วนำแสงที่มีการส่งสัญญาณจำนวนมาก โดยก่อนส่งไปนั้นจะถูกทำการมัลติเพลกซ์ในขั้นตอนของการแปลงเป็นสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้าก่อนการส่งสัญญาณ (ดูรูปที่ 2-13)

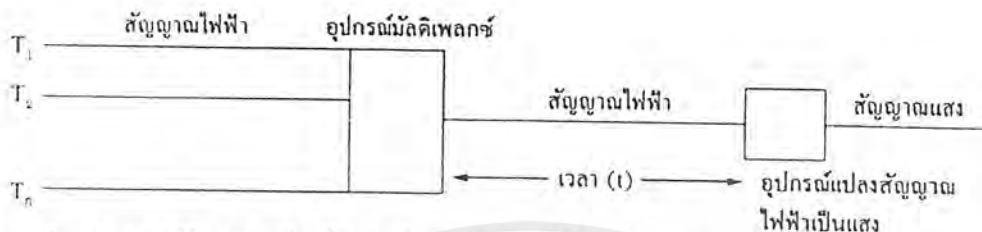


รูปที่ 2-13 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความถี่

3. การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplexing) มีหลักการเช่นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันกับการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลาความถี่ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล (ดูรูปที่ 2-14)

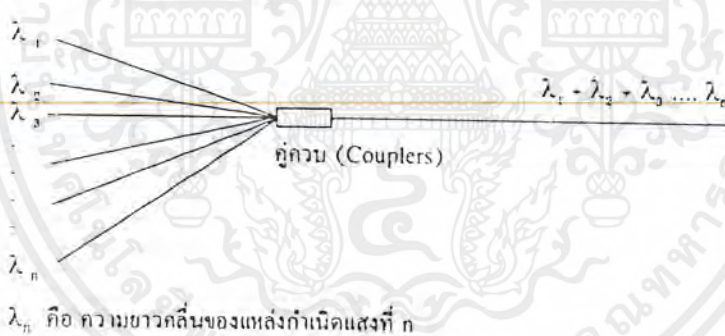


T_n คือ สัญญาณไฟฟ้าจากช่องที่ n ที่มีเวลาหรือรูปแบบของเวลาในการส่งต่างกัน

รูปที่ 2-14 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา

4. การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (Wavelength Division Multiplexing)

เป็นวิธีการส่งสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันจำนวนมากในใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้น ข้อดีคือ สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งไปกับความยาวคลื่นแต่ละความยาวคลื่นไม่ว่าจะเป็นแบบอนาล็อกหรือดิจิตอลสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยง่าย (ดูรูปที่ 2-15)



รูปที่ 2-15 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น

2.6.3 อุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือไดโอดเปล่งแสงชนิดสารกึ่งตัวนำและไดโอด

เลเซอร์ เพราะไดโอดเหล่านี้เปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นย่าน 0.8-0.9 และ 1.3-1.6 ไมครอน ซึ่งตรงกับย่านที่ใยแก้วนำแสงมีค่าสูญเสียต่ำและสามารถควบคุมกำลังขาออกได้อย่างรวดเร็วโดยการปรับค่ากระแสไบแอส (Bias Current) จึงง่ายต่อการผสมสัญญาณ อีกทั้งอายุการใช้งานมากกว่าหนึ่งล้านชั่วโมง ความแตกต่างที่สำคัญระหว่าง LED และ LD คือ LD มีมุมการเปล่งแสงที่แคบกว่าแต่มีความกว้างของสเปกตรัมมากกว่า (Spectrum Width) จึงนิยมใช้กับการส่งสัญญาณแบบโคฮีเรนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Coherent Transmission) นอกจากนี้ยังเปล่งแสงเมื่อมีการต่อกระแสขับเคลื่อน (Drive Current) ได้เร็วกว่า แต่เนื่องจาก LD เป็นอุปกรณ์เทอร์ชโฮลด์ (Threshold Device) การเปล่งแสงจึงไม่คงที่และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส จึงต้องมีวงจรควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback) เพื่อให้กำลังขาออกของเลเซอร์คงที่

2.6.4 อุปกรณ์รับแสง

อุปกรณ์รับแสงที่นิยมใช้เป็นสารประเภทสารกึ่งตัวนำซึ่งแบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอกคือ

1. **โฟโตไดโอด (Photodiode, PD)** เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ตัวอย่างเช่น PIN-PD เป็นต้น

2. **อะวาลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode, APD)** เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก การเลือกใช้อุปกรณ์รับแสงแบบ PIN หรือ APD นั้น ตามปกติจะขึ้นอยู่กับราคาและความไวของเครื่องรับที่ต้องการ (Receiver Sensitivity) กระบวนการอะวาลานซ์ใน APD มีเทอร์ชโฮลด์ซึ่งทำให้มีราคาแพงกว่า PIN เนื่องจาก APD มีการขยายกำลังได้สูงจึงจะทำให้ความไวของเครื่องรับได้ถึงประมาณ -15 dB ซึ่งมากกว่าของ PIN ไดโอด นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงระดับสัญญาณรับต่ำสุดที่จะรับได้ด้วย

2.7 สรุป

จากการเรียนรู้ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบสื่อสารเชิงแสงแล้ว ถ้านำมาประกอบกันเป็นระบบก็สามารถทำให้เป็นระบบสื่อสารที่ใช้ติดต่อสื่อสารกันได้ การติดต่อสื่อสารทั่วไปนั้นมีการเชื่อมโยงกันได้ด้วยวิธีต่างๆ กันไม่ว่าจะเป็นแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) แบบหลายจุด (Multipoint) หรือ แบบเครือข่าย (Networks) โดยผ่านตัวกลางสื่อสารด้วยวิธีการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นแบบซิมเพลกซ์ (Simplex) ครึ่งดูเพลกซ์ (Half Duplex) หรือ ดูเพลกซ์เต็ม (Full Duplex) เป็นต้น การใช้งานของระบบสื่อสารนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อตกลงต่างๆ ร่วมกัน ทางด้านระบบการส่งข้อมูลให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน หรือเรียกว่าโปรโตคอล (Protocol) จึงจะทำให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ทั่วโลก เช่น การใช้ระบบ ISDN (Intergrated Service Digital Networks) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 อิมเมจเซนเซอร์

ได้มีการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ถ่ายภาพอิมเมจที่ไม่มีการใช้หลอดสุญญากาศขึ้นมา เป็นชนิดซิลิคอนเตทล้วนๆ มีลักษณะแบน กะทัดรัด ชื่อเรียกว่า " อิมเมจเซนเซอร์ (image sensor)" จากความก้าวหน้าทางฟิสิกส์และ เทคโนโลยี ปัจจุบันมีอิมเมจเซนเซอร์ชนิดต่างๆ มากมายหลายชนิดที่เป็นที่รู้จัก และใช้งานกันมากที่สุด ได้แก่ ชนิด CCD (charge- coupled device)

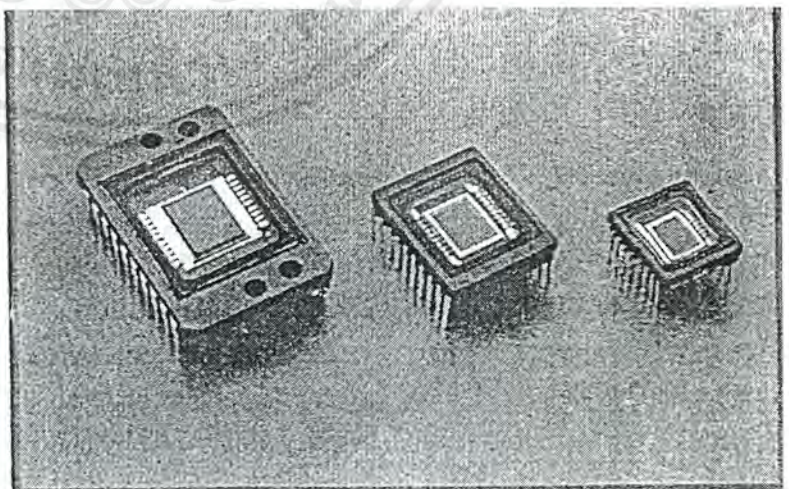
3.1 บทนำ

อิมเมจเซนเซอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยีการผลิตวงจรรวมขนาดใหญ่ (VLSI) มีความสามารถในการถ่ายภาพโทรทัศน์ได้ โดยในอิมเมจเซนเซอร์หนึ่งตัวนั้นมีความสามารถในการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า มีความสามารถในการเก็บสัญญาณ (storage) มีความสามารถในการทำสแกนนิ่ง และมีความสามารถในการส่งสัญญาณไฟฟ้าออกสู่ภายนอกได้ในตัว จุดภาพ (picture element) แต่ละจุดในอิมเมจเซนเซอร์นั้นถูกกำหนดตัวอย่างตายตัว ดังนั้นจึงให้ภาพที่เหมือนจริง มีความบิดเบี้ยวของภาพน้อยมาก

อิมเมจเซนเซอร์ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกที่สถาบันวิจัยของฟิลิปส์ และที่สถาบันวิจัยของเบลล์ สิ่งประดิษฐ์นี้มีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก ทนทานต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี เช่น ขณะมีการสั่น หรือทนต่อแรงกระแทก ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ และกินกำลังไฟฟ้าต่ำ การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพดีขึ้นตามลำดับ และปัจจุบันสามารถถ่ายภาพได้อย่างละเอียด และชัดเจนพอ ๆ กับหลอดถ่ายภาพอิมเมจชนิดสุญญากาศ

3.2 หลักการพื้นฐานของกล้องโทรทัศน์ CCD

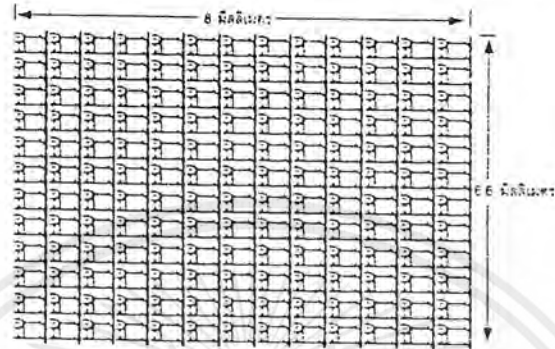
CCD หรืออุปกรณ์ Charge Coupled Device ก็คือ VLSI (Very Large Scale IC) ที่บรรจุด้วยจุดรับภาพมากกว่า 250,000 จุด อยู่บนแผ่นตรวจจับแสงในพื้นที่ขนาดเล็กเพียง 8.8×6.6 มิลลิเมตร เป็นผลจากการพัฒนาของเทคโนโลยีด้านอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ CCD จะให้อิเล็กตรอนเมื่อมีแสงสว่างตกกระทบตัวมัน ปริมาณของ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของความเข้มของแสงที่ได้รับ โดยแบ่งการทำงานภายใน CCD เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

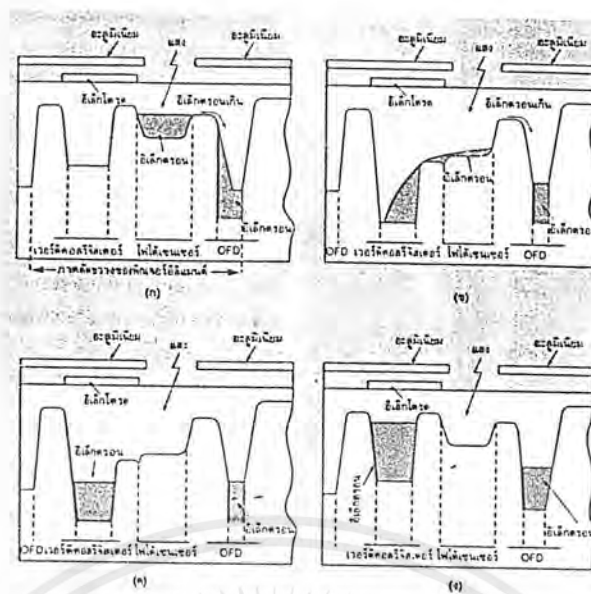
- **กำเนิดอิเล็กตรอนจากแสงที่ได้รับ** จุดรับภาพแต่ละจุดจะให้กำเนิดอิเล็กตรอนตามความเข้มของแสงที่ได้รับจากซีลด์อะลูมิเนียมของจุดรับภาพ ตามรูปที่ 3-2 จะทำหน้าที่บังแสงไม่ให้ตกไปยังส่วนอื่นๆกเว้นบริเวณตัวตรวจจับแสง



รูปที่ 3-1 ส่วนรับภาพและพิกเจอร์เรจิสเตอร์

- **เก็บรักษาอิเล็กตรอน** ค่าความต่างศักย์ ดังแสดงในรูปที่ 3-2 จะอยู่ในของจุดรับภาพแต่ละจุด อิเล็กตรอนที่ถูกเก็บอยู่ในตัวตรวจจับแสงเป็นจำนวนมากจะไหลลงสู่ OFD (Over Flow Drain) และขจัดปัญหาการเกิดหางของภาพ (Becoming) ซึ่งเกิดขึ้นเสมอสำหรับกล้องชนิดหลอด ด้วยวิธีนี้จะสามารถรักษาระดับสูงสุดของจำนวนอิเล็กตรอนให้คงที่แม้ว่าจะมีแสงสว่างมากเกินไป
- **ถ่ายเทอิเล็กตรอน** ขณะที่มีความต่างศักย์ที่ป้อนให้กับอิเล็กโตรดของจุดรับภาพส่วนลึกของแต่ละแรงดันภายใต้อิเล็กโตรดจะเพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนที่ถูกเก็บไว้จะเริ่มถ่ายเทลงมาให้กับรีจิสเตอร์ในแนวตั้ง (Vertical Register) ดังรูปที่ 3-2(ก) ซึ่งเสมือนประตูเชื่อมถูกเปิดออก ขณะที่อิเล็กตรอนถูกถ่ายเทออกหมดแล้ว ความต่างศักย์ที่ป้อนให้กับอิเล็กโตรดจะหยุดด้วยดังแสดงในรูปที่ 3-2(ค) นั่นคือ ความลึกของแต่ละแรงดันจะลดน้อยลงและกลับคืนมาเหมือนเดิม การถ่ายเทอิเล็กตรอนจากโฟโต้เซนเซอร์ไปสู่รีจิสเตอร์ในแนวตั้งได้สิ้นสุดลง ในระหว่างการถ่ายเทอิเล็กตรอนภายในอยู่จะยังไม่มีกำเนิดอิเล็กตรอนใหม่ถึงแม้ว่าตัวตรวจจับแสงกำลังรับแสงอยู่ก็ตาม เป็นเพราะว่าความเร็วในการถ่ายเทนั้นสูงกว่าการเกิดอิเล็กตรอน การถ่ายเทอิเล็กตรอนของ CCD นี้ สามารถตัดปัญหาภาพเฝ้าใหม่และภาพที่มีลักษณะเป็นดาวหางได้

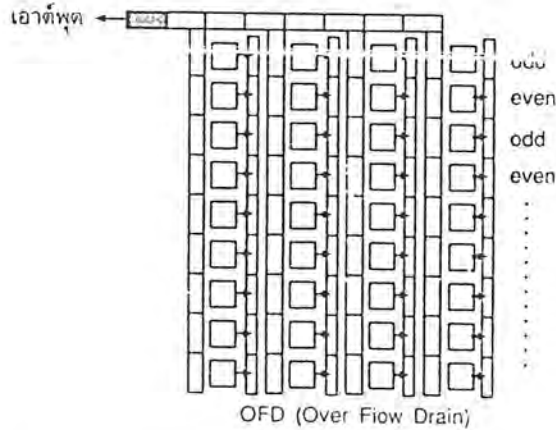
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-2 ภายในหนึ่ง CCD พิกเซลอิเล็กตรอนจะมีอิเล็กตรอนเกิดขึ้นและถ่ายเทไปทาง OFD

ทั้ง 3 ขั้นตอนนั้น เป็นหลักการทำงานพื้นฐานของตัวรับภาพแบบ CCD (CCD image sensor) คือ ขั้นตอนแรกรับแสงและกำเนิดอิเล็กตรอนและเก็บมันเอาไว้ และขั้นตอนสุดท้ายอิเล็กตรอนที่ถูกเก็บไว้นั้นก็จะถูกถ่ายเทผ่านรีจิสเตอร์ในแนวตั้ง (Vertical Shift Register) และรีจิสเตอร์ในแนวระดับ (Horizontal Shift Register) แล้วส่งไปวงจรเอาต์พุตที่เรียกว่า อินเตอร์ไลน์ทรานสเฟอร์ซีดีอีเมจเซนเซอร์ (Interline Transfer CCD Image Sensor)

บริษัทโซนี่ได้ทำวิธีการอินเตอร์ไลน์ทรานสเฟอร์ให้กับตัวรับภาพ CCD รูปที่ 3-5 แสดงภาพของอินเตอร์ไลน์ทรานสเฟอร์ซีดีอีเมจเซนเซอร์ เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเห็นการฉายแสงลงบนพื้นที่ CCD นั้น เหมือนกับปรากฏบนจอมอนิเตอร์ จากรูปรีจิสเตอร์ในแนวตั้งและ OFD ได้เชื่อมต่อประสานกับรีจิสเตอร์ในแนวระดับ ข้อพิเศทางเทคนิคของโครงสร้าง CCD แบบนี้ ก็คือลดอาการของภาพที่มีสีเลอะ (Smear) หรือเป็นหิมะที่เกิดขึ้นในตัว CCD ที่กล่าวมาแล้ว อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นถูกถ่ายเทไปยังรีจิสเตอร์ซึ่งเวอริคอลลชิพรีจิสเตอร์และฮอริซอนตอลชิพรีจิสเตอร์เหมือนกับถนนและอิเล็กตรอนที่ถูกถ่ายเทก็เหมือนรถที่วิ่งบนถนน เคลื่อนไปอย่างมีลำดับต่อเนื่องกันตลอด ตามรูปที่ 3-4 ไปสู่ภาคขยายอินเตอร์ไลน์ทรานสเฟอร์ CCD ดีกว่าอุปกรณ์อื่นๆอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอินเตอร์ไลน์ทรานสเฟอร์ซีดีอีเมจเซนเซอร์กับเฟรมทรานสเฟอร์ซีดีอี (Frame Transfer CCD) ถึงแม้ว่าเฟรมทรานสเฟอร์ซีดีอีเมจเซนเซอร์จะมีโครงสร้างที่ง่ายกว่าแต่ก็มีข้อเสียอยู่หลายประการดังนี้คือ



รูปที่ 3-3 ทิศทางการถ่ายเทของอิเล็กตรอนใน OFD หรือ Overflow Drain

1. มีขนาดใหญ่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง
2. เนื่องจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างโฟโต้เซนซึ่งกับสต่อเราเป็นไปด้วยความรวดเร็วมาก ดังนั้นจึงทำให้รายละเอียดทางด้านแนวตั้ง (Vertical) ลดลงซึ่งเปรียบเสมือนกับคนที่หัวน้ำเต็มถึงแล้วแล้ววิ่งด้วยความเร็วหน้านั้นย่อมจะมีการกระโดดออกไปบ้าง ทำให้ประสิทธิภาพที่ได้เสียไป
3. ในระหว่างการถ่ายเทอิเล็กตรอนโฟโต้เซนซึ่งรับหน้าที่เป็นรีจิสเตอร์ในแนวตั้ง นั้นหมายถึงจะต้องมีชัตเตอร์แบบกลไก (Mechanical Shutter) ใช้เพื่อตัดแสงในช่วงการถ่ายเทอิเล็กตรอน มิฉะนั้นภาพจะเลอะเลือน อย่างไรก็ตามชัตเตอร์แบบกลไก ทำให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น ทำให้การผลิตยุ่งยากขึ้น ความแน่นอนในการทำงานต่ำลง และเกิดรอยขีดข่วน เป็นต้น รูปที่ 3-6 เป็นรูปของเฟรมทรานสเฟอร์อิมเมจเซนเซอร์ ข้อได้เปรียบระหว่างกล้องซีซีดีแบบ 3 ชิป เหนือกว่ากล้อง 3 หลอดในเรื่องของความไวแสงและภาพเกิดรอยไหม้ (Image burning) น้อย ใช้กำลังไฟน้อยและมีความทนทาน แต่กล้อง 3 หลอดก็มีข้อดีตรงที่มีความชัดเจนสูงกว่า ดังนั้นกล้องซีซีดีแบบ 3 ชิป จึงเหมาะสมกับงานประเภทงานที่ถ่ายภาพนอกสถานที่ ซึ่งต้องการกล้องที่มีความต้านทานต่อการเผาไหม้สูง มีความไวและความคงทนแข็งแรงเป็นต้น ส่วนกล้อง 3 หลอด CCD นั้นจะให้เมื่อต้องการคุณภาพของภาพเท่านั้น

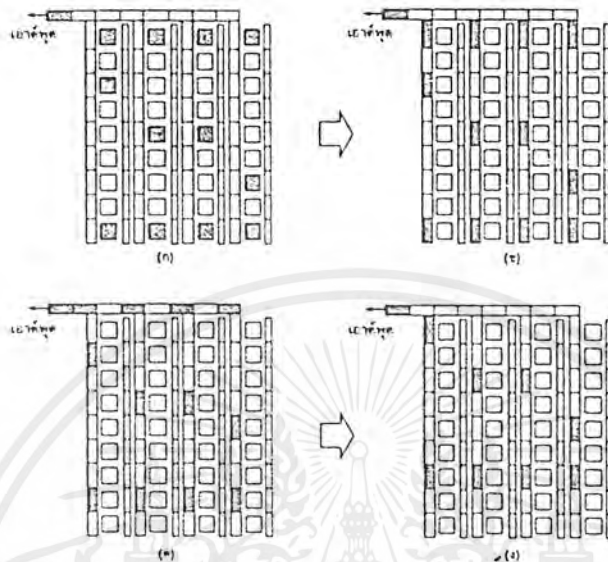
3.3 ข้อเปรียบเทียบระหว่างกล้องซีซีดีแบบ 3 ชิปกับกล้องแบบ MOS ทั่วไป

ตัวรับภาพแบบมอส (MOS Image Sensor)

ตัวรับภาพแบบมอสจะให้ทรานซิสเตอร์แบบมอสเป็นตัวสวิตช์ซึ่งคล้ายกับหน่วยความจำแบบ DRAM ดังรูปที่ 3-7 แม้ว่าอุปกรณ์ชนิดนี้จะสามารถเก็บประจุได้เป็นจำนวนมาก แต่มันก็ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนมากเช่นเดียวกันและตัวรับภาพ CCD ก็มีคุณสมบัติเหนือกว่ามากในด้านของความไวแสง (Sensitivity) และรอยขีดข่วน (Fixed Pattern Noise) โดยใช้เทคโนโลยี Original Spatial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect ของไซนี้ โดยการติดตั้ง CCD สีแดงและสีน้ำเงิน ให้มีระยะแตกต่างกับสีเขียว $\frac{1}{2}$ พิตช์ (Pitch) ดังในรูปที่ 3-8 ด้วยเทคนิคอันนี้จะทำให้ได้พิกเจอร์อิเลิเมนต์เป็น 2 เท่า และทำให้ได้ความชัดเจนของภาพสูงสุด

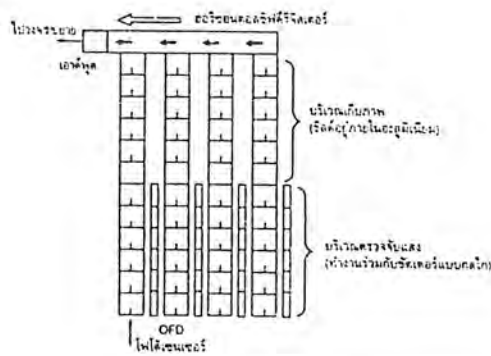


รูปที่ 3-4 การถ่ายเทอ็เล็กตรอนโดยผ่านทางรีจิสเตอร์ในแนวตั้งและรีจิสเตอร์ในแนวระดับ

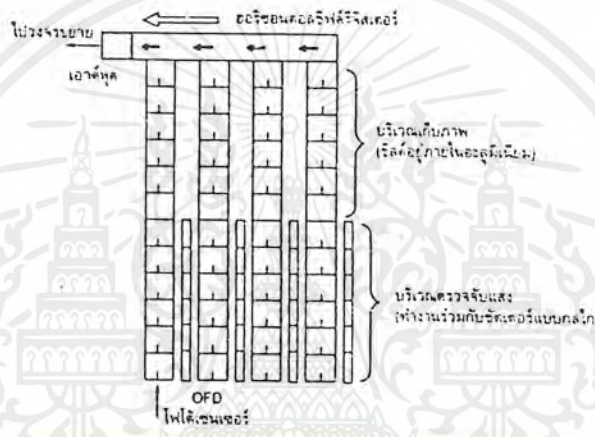


รูปที่ 3-5 การถ่ายเทอ็เล็กตรอนจะทำให้เกิดมีอ็เล็กตรอนสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-6 โครงสร้างของ CCD แบบเฟรมทรานสเฟอร์



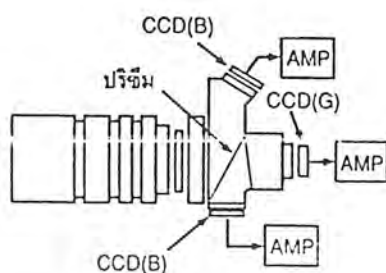
รูปที่ 3-7 โครงสร้างของตัวรับภาพแบบ MOS

กล้อง CCD มีประโยชน์และคุณภาพดังนี้

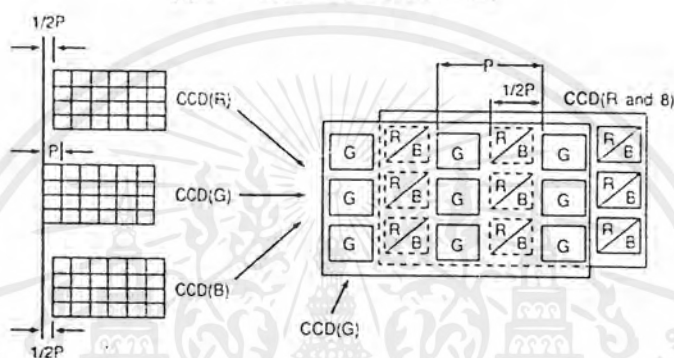
1. ภาพที่ได้มีการสูญเสียเล็กน้อย
2. มีความไวสูง
3. มีน้ำหนักเบา
4. ให้ภาพละเอียดและคมชัด
5. กล้องไม่เป็นรูปรอยไหม้เมื่อถูกแสงอาทิตย์
6. ไม่เกิดภาพล้า (Nolag)
7. ไม่เกิดภาพเป็นรูปดาวหาง
8. เมื่อสัญญาณแสงต่ำไม่ต้องตั้งปรับ (No Registration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันในกล้องโทรทัศน์ส่วนใหญ่จะใช้ CCD เป็นตัวรับภาพ เราจึงควรจะรู้จักหลักการทำงานพื้นฐานของมันไว้บ้าง



(ก) ตำแหน่งของ CCD ภายในกล้อง



(ข) CCD สีนคงและสีน้ำเงินจะมีระบบต่างกับ CCD สีเขียว 1/2 พิกเซล

รูปที่ 3-8 เทคโนโลยีซีเอชเอ Original Spatial Effect ของไชนี่

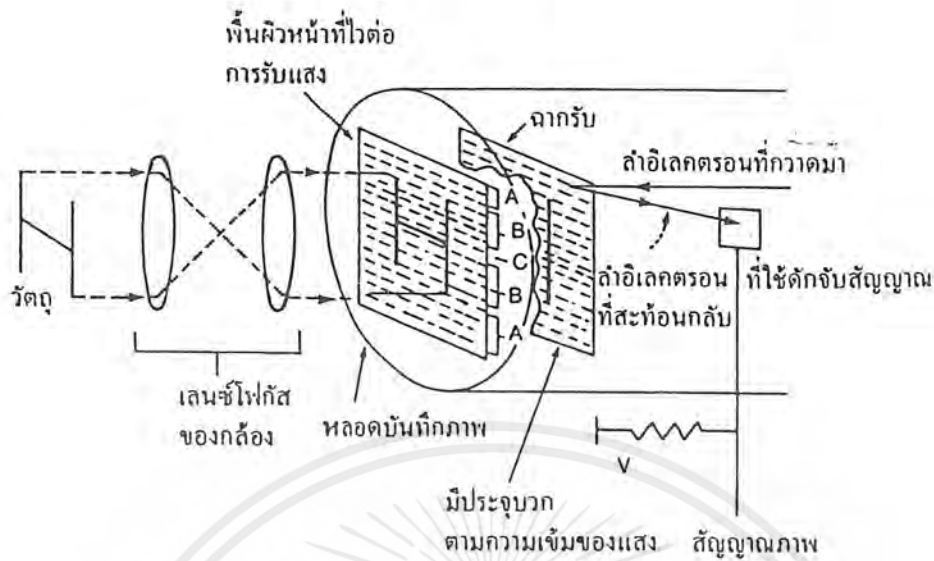
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ สัญญาณภาพ

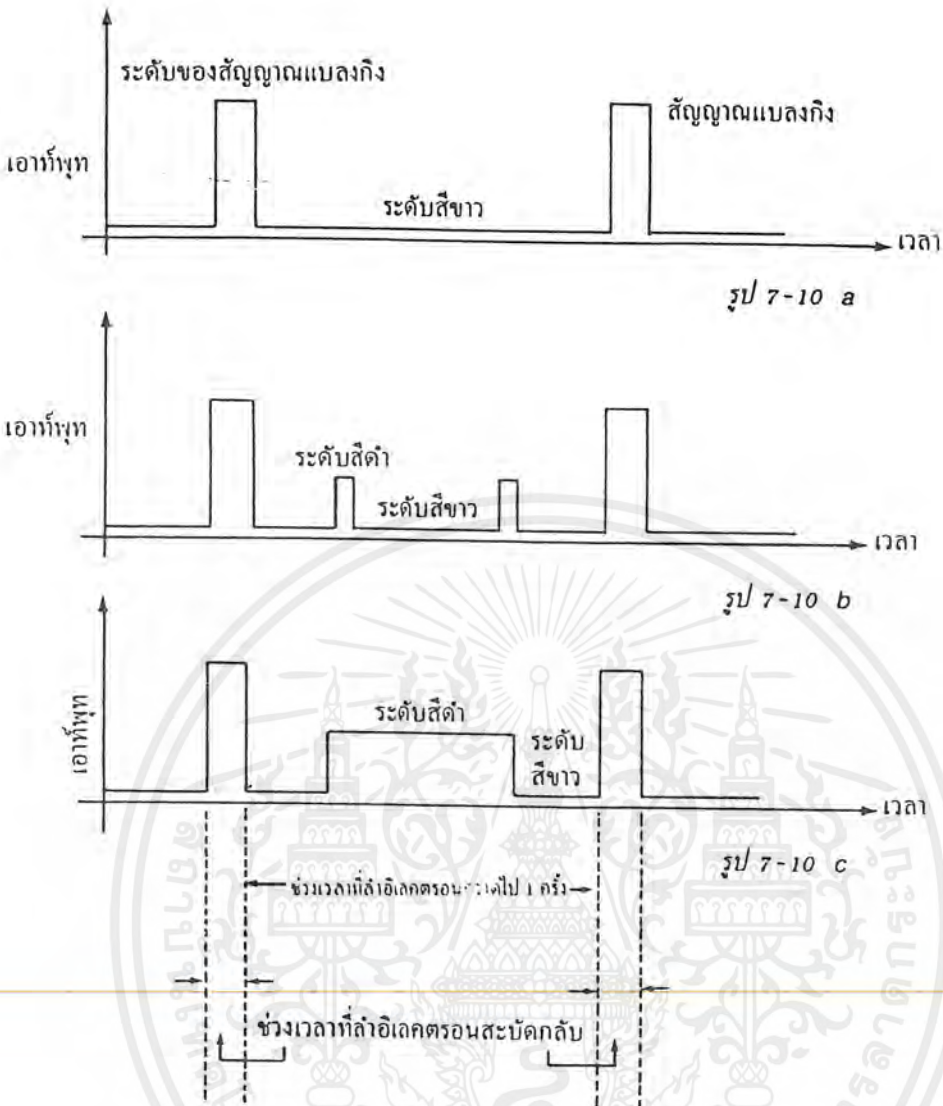
4.1 กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ สัญญาณภาพ

การที่จะมีความเข้าใจเรื่องของโทรทัศน์ได้ดีนั้น จำเป็นที่เราจะต้องทำความเข้าใจให้ได้เสียก่อนว่าสัญญาณภาพนั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร รูปที่ 4-1 จะช่วยให้เราเข้าใจว่ากล้องถ่ายภาพโทรทัศน์นั้นมีหลักการทำงานอย่างไร ในรูปนี้สมมติว่า เรากำลังถ่ายภาพตัวอักษร H อยู่ เลนส์หน้ากล้องถ่ายภาพจะทำการโฟกัสภาพของตัวอักษร H ลงบนหน้าจอกของหลอดเก็บภาพ ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ข้างหลังของจอหลอดเก็บภาพนี้จะฉาบด้วยสารที่มีความไวต่อแสงอยู่ในหลอดเก็บภาพซึ่งเป็นสัญญาณภาพ ภายในหลอดเก็บภาพนี้จะมีการควบคุมอิเล็กตรอนให้กวาดผ่านบนสารไวแสงซึ่งฉาบอยู่นี้ กระแสที่เกิดจากลำอิเล็กตรอนนี้จะเปลี่ยนแปลงไป ขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงบนจอหลอดเก็บภาพนั้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อมีแสงมากระทบสารไวแสงที่ฉาบอยู่หลังจอ ก็จะทำให้มีอิเล็กตรอนกระเด็นออกไปจากบริเวณที่แสงตกกระทบนั้น มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของแสง ดังนั้นเมื่อมีการควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนกวาดผ่านจอของหลอดเก็บภาพจากซ้ายไปขวาในแนววนวน พร้อมกับกวาดเลื่อนลงเบื้องต่ำอย่างช้าๆนั้น ถ้าลำอิเล็กตรอนกวาดไปกระทบส่วนของสารไวแสงที่ไม่มีอิเล็กตรอนกระเด็นหลุดออกมาเลย ปริมาณของอิเล็กตรอนในลำอิเล็กตรอนนั้นก็จะต้องย้อนกลับออกมาส่วนที่ใช้เป็นที่ดักจับสัญญาณได้ทั้งหมด แต่ถ้าลำอิเล็กตรอนกวาดไปกระทบส่วนของสารไวแสงซึ่งมีอิเล็กตรอนกระเด็นหลุดออกไปบ้างแล้ว ก็จะทำให้ปริมาณของอิเล็กตรอนในลำอิเล็กตรอนมีการสะท้อนกลับออกไปยังส่วนที่ใช้ดักจับสัญญาณได้น้อยลง ปริมาณของกระแสอิเล็กตรอนที่ดักจับได้นี้จะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณภาพต่อไป เพราะฉะนั้นเราจะพบว่าในส่วนของภาพที่สว่างมากจะมีกระแสที่ดักจับออกมาได้น้อย แต่ส่วนของภาพที่มีมืดกลับทำให้กระแสในส่วนที่ใช้ดักจับออกมาได้มาก กระแสซึ่งดักจับออกมาได้นี้จะถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณโวลเตจเพื่อนำไปใช้เป็นเอาต์พุทของหลอดภาพต่อไป



รูป 4-1 การเปลี่ยนสัญญาณภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้า

ในการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้น มันจะกวาดจากส่วนซ้ายสุดของขอบจอไปยังส่วนขวาสุดของขอบจอด้วยความเร็วที่คงที่ค่าหนึ่ง เมื่อถึงส่วนขวาสุดของขอบจอแล้ว ลำอิเล็กตรอนจะหวาดสะบัดกลับไปยังส่วนซ้ายสุดของขอบจออย่างรวดเร็ว (เมื่อเทียบกับความเร็วในการกวาดจากซ้ายไปขวา) ช่วงการกวาดสะบัดกลับนี้มีชื่อเรียกว่า “ฟลายแบค” (fly Back) หลังจากช่วงฟลายแบคแล้ว ลำอิเล็กตรอนก็จะเริ่มกวาดจากส่วนซ้ายสุดของขอบจอไปยังส่วนขวาสุดของขอบจออีก แต่ทว่า จะกวาดในแนวที่ต่ำลงมากกว่าแนวในการกวาดครั้งก่อน เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ ซ้ำแล้วซ้ำอีก จนถึงส่วนที่เป็นส่วนล่างของจอ ก็เป็นอันว่าจะได้สัญญาณออกมาหนึ่งชุด หลังจากนั้นก็จะมีการสะบัดกลับของอิเล็กตรอนของขอบล่างขึ้นไปเริ่มที่ขอบบนของจอของหลอดเก็บภาพใหม่ เพื่อจะได้ทำการเริ่มเก็บสัญญาณภาพชุดใหม่อีก เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ

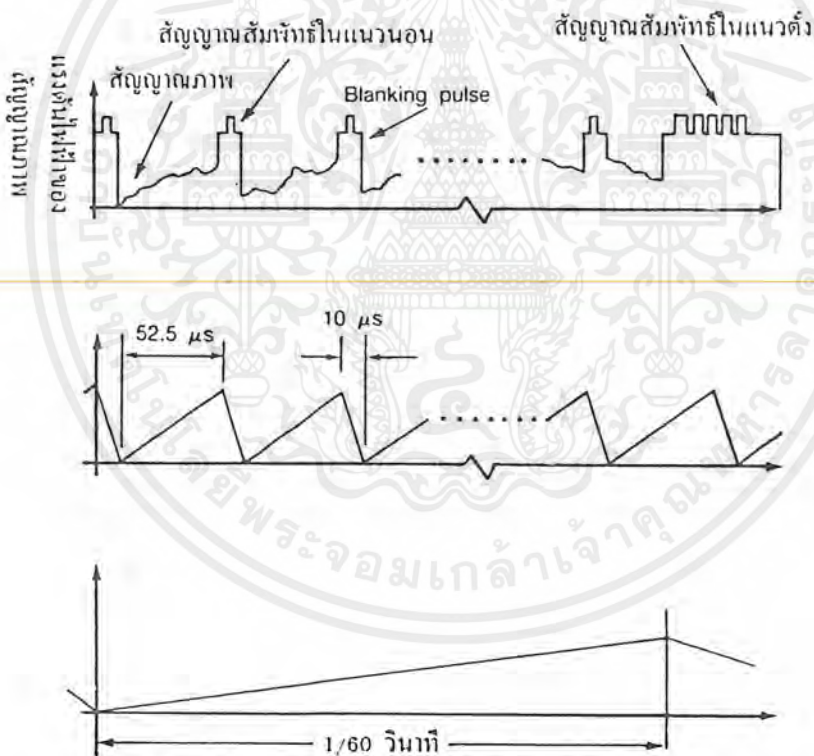


รูป 4-2 สัญญาณภาพที่เกิดจากส่วนต่างๆของภาพตามรูป 4-1

อย่างไรก็ดี ในช่วงเวลาของการฟลายแบคหรือการสะบัดกลับของอิเล็กตรอนจากขอบซ้ายไปยังขอบขวาของจอ (การฟลายแบคในแนวนอน) และจากขอบล่างของหลอดจอไปยังขอบบน (การฟลายแบคในแนวตั้ง) นั้น จะมีการงดเว้นที่จะทำการดักจับเอาสัญญาณภาพออกมา และจะมีการควบคุมบังคับทำให้ค่าเอาท์พุทของสัญญาณในช่วงเวลานี้มีค่าสูงสุด ทั้งนี้โดยเหตุผลเพราะต้องการที่จะใช้สัญญาณในช่วงเวลานี้เป็นส่วนอ้างอิงเพื่อที่จะให้รู้ว่า การกวาดเก็บภาพในแนวนอนได้สิ้นสุดไปแล้วตรงจุดนั้น และจะใช้ระดับเอาท์พุทที่สูงสุดที่มีอยู่นี้เพื่อเป็นระดับเปรียบเทียบว่า ส่วนที่มีมืดดำที่สุดของภาพนั้นอยู่ในระดับใด สัญญาณส่วนนี้มีชื่อว่า สัญญาณเบลงกิง หรือเบลงกิงพัลส์ (Blanking pulse) ซึ่งหมายถึงพัลส์ที่ทำให้สัญญาณภาพว่างไป ดังนั้นถ้าเราจะพิจารณาถึงสัญญาณภาพที่เกิดขึ้นจากภาพตามรูป 4-1 โดยอาศัยตามคำอธิบายดังกล่าวมาแล้วนี้ จะเห็นได้ว่า สัญญาณโวลเตจที่ปรากฏออกมาโดยการกวาดของอิเล็กตรอนในบริเวณส่วนสูงสุด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณ A ดังแสดงในรูป 4-1 นั้นจะมีลักษณะดังแสดงในรูป 4-2 a ครั้นเมื่อลำอิเล็กตรอนทำการกวาดต่อไปจนถึงส่วนบนของอักษร H คือบริเวณ B ดังแสดงในรูป 4-1 ก็จะมีสัญญาณภาพปรากฏออกมาดังแสดงในรูป 4-2 b ทั้งนี้เพราะว่าส่วนที่เป็นขาของตัวอักษร H จะมีความต่ำกว่าบริเวณส่วนที่เป็นพื้นหลังของภาพ ดังนั้นบริเวณส่วนขาของตัว H ซึ่งมีอยู่สองข้างจะให้ค่าความแรงของระดับสัญญาณเอาต์พุตออกมามากกว่าค่าของสัญญาณที่เกิดจากบริเวณซึ่งเป็นพื้นหลังของภาพ สัญญาณภาพในการกวาดของลำอิเล็กตรอนแต่ละครั้งจะเกิดซ้ำ เช่นนี้เรื่อยๆ ลงมาจนกระทั่งลำอิเล็กตรอนได้กวาดมาถึงบริเวณกลางตัวอักษร H คือในบริเวณระดับ C ที่แสดงไว้ในรูป 4-1 ในบริเวณนี้ภาพจะมีลักษณะเป็นเส้นที่บอยู่ระหว่างขาทั้งสองข้างของตัวอักษร H ดังนั้นสัญญาณภาพที่ได้ออกมาจะมีลักษณะดังแสดงในรูป 4-2 c จากนั้นสัญญาณภาพก็จะเกิดคล้ายๆ กับที่เกิดขึ้นแล้วในส่วนบนของภาพ กล่าวคือสัญญาณที่เกิดจากส่วนบริเวณ B และ A ของด้านล่างของภาพ จะมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณภาพที่ได้จากบริเวณ A และ B ส่วนบนของภาพทุกประการ

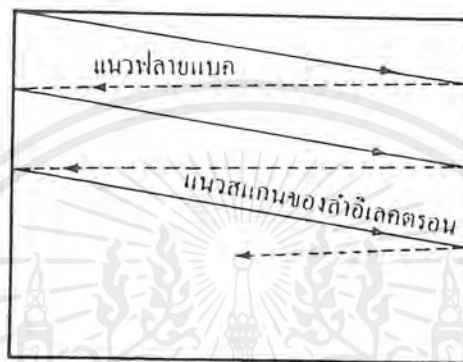


รูป 4-3 สัญญาณภาพและสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน

ในการที่จะให้เครื่องรับโทรทัศน์สร้างภาพจากสัญญาณภาพได้อย่างถูกต้องนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีส่วนของสัญญาณในสัญญาณภาพที่จะใช้เป็นส่วนอ้างอิงคอยกระตุ้นให้เครื่องรับจัดภาพได้อย่างถูกต้อง โดยส่วนของสัญญาณดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่อ้างอิงให้เครื่องรับโทรทัศน์ทำการจัดภาพได้สอดคล้องหรือสัมพันธ์ (synchronize) กับเครื่องส่ง ส่วนของสัญญาณนี้มีชื่อว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“สัญญาณซิงค์พัทธ์” (synchronization signal) สัญญาณซิงค์พัทธ์นี้มีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมเข้าไปบนสัญญาณภาพในช่วงเวลาฟลายแบคตัวของสัญญาณภาพชุดหนึ่งที่สมบูรณ์แบบจะมีลักษณะคล้ายดังแสดงในรูป 4-3 a สำหรับในการปฏิบัติจริง แนวการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้นไม่ได้กวาดอยู่ในแนวที่ขนานกับแนวนอนพอดี ดังอธิบายมาแล้วตามรูป 4-1 แต่จะมีลักษณะกวาดทะแยงขนานกันลงมา ดังแสดงในรูป 4-4 ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการสร้างสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้น กล่าวคือทำให้สามารถใช้สัญญาณในลักษณะพื้นเลื่อย 2 ชุด ดังแสดงในรูป 4-3 b และ 4-3 c มาควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้นได้



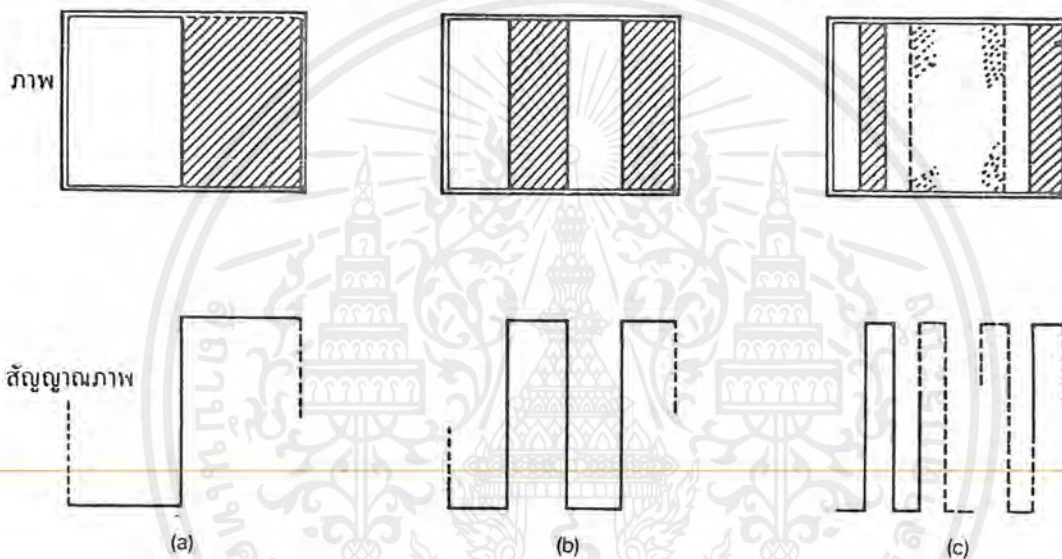
รูป 4-4 ลักษณะการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณการกวาดที่มี ลักษณะเป็นรูปพื้นเลื่อย

4.2 ความคมชัดและแบนด์วิธของสัญญาณภาพ

ความคมชัด (Resolution) ของภาพ เป็นตัวการสำคัญที่จะกำหนดแบนด์วิธของสัญญาณภาพ ทั้งนี้เพราะภาพที่มีความคมชัดของภาพมากขึ้นย่อมจะให้รายละเอียดของภาพได้มาก ซึ่งก็หมายความว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับรายละเอียดในสัญญาณภาพนั้นเกิดขึ้นมากด้วย เพื่อความกระจ่างในเรื่องนี้ของให้ผู้อ่านพิจารณารากเกิดสัญญาณภาพต่างๆ ในรูป 4-5 สำหรับ 4-5 a มีแถบขาว-ดำอยู่อย่างละครึ่ง ดังนั้นสัญญาณภาพจะมีการเปลี่ยนแปลง 1 รอบต่อหนึ่งครั้งของการกวาดของลำอิเล็กตรอนจากขอบซ้ายไปยังขอบขวาของภาพ และสำหรับภาพ 4-5 b นั้นมีแถบขาว-ดำอยู่ 2 คู่ ดังนั้นทุกๆ ครั้งของการกวาดของลำอิเล็กตรอนจะมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพเกิดขึ้น 2 รอบและย่อมเป็นการแน่นอนว่า ถ้าภาพนั้นมีแถบขาว-ดำเพิ่มขึ้น n คู่ ดังแสดงในรูป 4-5 c แล้ว ในการกวาดของลำอิเล็กตรอนหนึ่งครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพเกิดขึ้น n รอบ เราจะเห็นว่าเมื่อภาพมีรายละเอียดเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพก็จะมีมากขึ้น อย่างไรก็ตามจะด้วยสาเหตุใดก็ตามแต่ถ้าสัญญาณนี้ถูกจำกัดโดยให้มรรถการเปลี่ยนแปลงสูงสุดได้เพียง “ m ” รอบต่อการกวาดของลำอิเล็กตรอน 1 ครั้ง ก็หมายความว่าความคมชัดของสัญญาณภาพนั้นมีอยู่เทียบเท่ากับแถบขาว-ดำ “ m ” คู่ หรือ “ $2m$ ” แถบเท่านั้น ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นถ้าสมมติว่า ภาพจริงเกิดมีรายละเอียดมากกว่า “2m” แถบ กล้องก็จะไม่สามารถแยกรายละเอียดได้มากกว่านี้ เนื่องจากขีดจำกัดของสัญญาณภาพที่มีอยู่ดังกล่าวมาแล้ว ในกรณีเช่นนี้เรากล่าวว่าความคมชัดของสัญญาณภาพมีค่าเท่ากับ “2m” pels (picture elements) ต่อหนึ่งเส้นสแกน (scanning line) ของลำอิเล็กตรอน คำว่า picture element นั้นหมายถึง ส่วนประกอบของภาพเล็กที่สุดที่สัญญาณภาพนั้นสามารถแยกแยะรายละเอียดออกได้ ปกติแล้ว อัตราส่วนของความกว้างต่อความสูงของจอโทรทัศน์จะมีค่าเท่ากับ 4:3 (เราเรียกว่า aspect ratio) ดังนั้นถ้าความคมชัดของสัญญาณภาพในแนวนอนมีค่าเท่ากับ “2m” pels จำนวนเส้นสแกนของลำอิเล็กตรอนทั้งหมดก็ควรจะมือน้อย (มีมากกว่านี้ก็ยิ่งดี) เท่ากับ $2m \times \frac{3}{4} = 3m/2$ เส้น ซึ่งจะทำให้เกิดความคมชัด หรือรายละเอียดของภาพทั้งหมดเท่ากับ $2m \times 3m/2 = 3m^2$ pels



รูป 4-5 ภาพประกอบเรื่องความคมชัดของสัญญาณภาพ

การส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยทั่วไปนั้น จะมีอัตราส่งภาพ 25 ภาพต่อวินาที และสำหรับโทรทัศน์ระบบ PAL ซึ่งใช้อยู่ในประเทศไทยเรานั้น จะใช้จำนวนเส้นสแกน 625 เส้น ต่อหนึ่งภาพ ซึ่งก็หมายความว่า ความคมชัดหรือความละเอียดของภาพในแนวตั้งอาจทำให้มีได้มากถึง 620 pels แต่โดยความจริงแล้ว เพราะเส้นสแกนมีลักษณะเฉยลงตามอธิบายในรูป 4-4 จึงทำรายละเอียดของภาพลดลงไปอีก จะเหลืออยู่ประมาณ 450 pels ในแนวตั้ง ซึ่งหมายความว่า ความคมชัดในแนวนอนก็จะมีค่าประมาณ 600 pels ($450 \times 4/3$) ซึ่งเทียบได้ว่าภาพสร้างแถบขาว-ดำได้ 600 แถบ หรือ 300 คู่เป็นอย่างมาก ซึ่งความหมายอีกนัยหนึ่งก็คือ การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพนั้นจะเกิดขึ้นได้อย่างมากที่สุด 300 รอบใน 1 เส้นสแกน ดังนั้น ใน 1 วินาทีนั้น ส่วนประกอบของสัญญาณภาพที่ละเอียดที่สุดจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นได้เท่ากับ $300 \times 625 \times 25 = 4,687,500$ รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ความถี่สูงสุดที่มาประกอบเป็นสัญญาณนั้นมีค่าเท่ากับ 4.6875 MHz นั้นคือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณจะต้องมีค่าสูงมาก เท่ากับประมาณ 4.7 MHz นั้นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

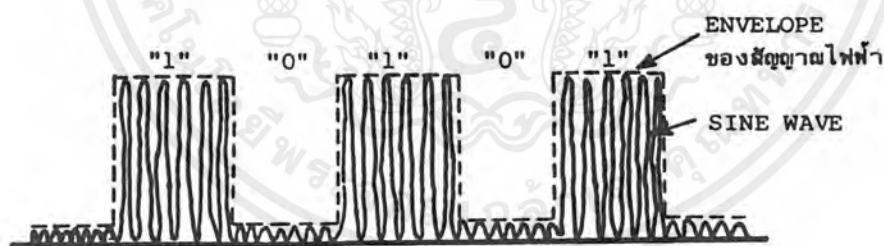
บทที่ 5

การสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

5.1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์ส่งแสง

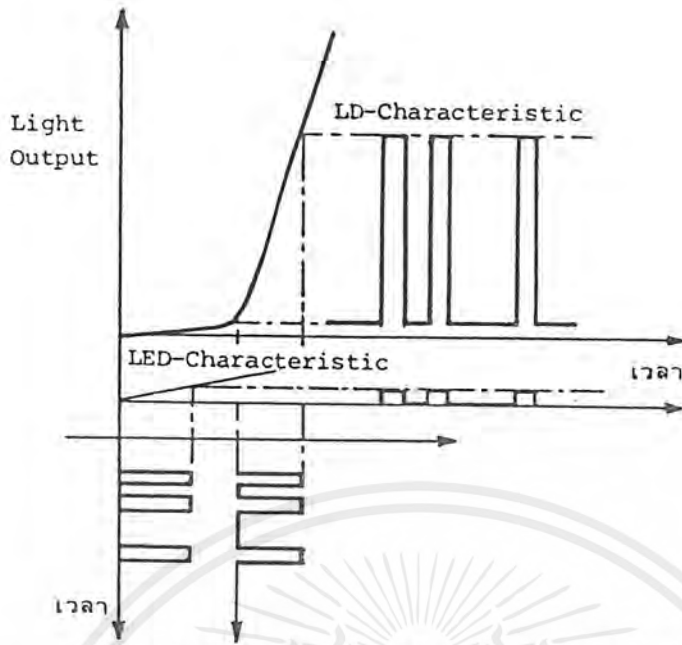
คุณสมบัติต่างๆ ที่ต้องการจากอุปกรณ์ส่งแสงได้แก่ คุณสมบัติการผสมของแสงกับไฟฟ้า (นั่นคือ output power ของแสง, ความเป็นเส้นตรงหรือ LINEARITY) , ความกว้างของ SPECTRUM ของแสง, ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่ (FREQUENCY RESPONSE SPEED) เป็นต้น จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในปัจจุบันแสงที่ได้จากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะมีความยาวแสงจำนวนหนึ่งปนอยู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้แสงเป็นคลื่นพาห้ (CARRIER WAVE) สำหรับ FREQUENCY MOULATION, PHASE MODULATION ของสัญญาณไฟฟ้าได้เหมือนอย่างที่ใช้ในการส่ง MULTIPLEX ในระบบการส่งสัญญาณ ANALOG ของ CARRIER TRANSMISSION, MICROWAVE TRANSMISSION ที่ใช้อยู่ทั่วไป แต่จะใช้การผสมที่เรียกว่า INTENSITY MODULATION ซึ่งทำการผสมโดยตรงกับความเข้มของแสง ยกตัวอย่างเช่น ในการส่งสัญญาณ DIGITAL , out put wave form ที่ได้จะเป็นดังแสดงในรูป 5-1 กล่าวคือแสง จะเกิดการกระพริบสว่าง , ดับตามสัญญาณไฟฟ้าที่เป็น "1" " 0" ตามความเป็นจริงแล้ว ความยาวคลื่นของสัญญาณแสงจะมีค่าสั้นกว่า ความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามาก ดังนั้นใน ENVELOPE "1" ของสัญญาณไฟฟ้าจะมีแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าอยู่ข้างใน ดังแสดงในรูป

5-1



รูป 5-1 แสดง OUTPUT WAVE FORM ของแสงและการผสม ในการส่งสัญญาณ DIGITAL

ส่วนคุณสมบัติการผสมของอุปกรณ์ส่งแสงแสดงดังรูป 5-2



รูป 5-2 แสดงการผสมแบบ LIGHT INTENSITY MODULATION

จากรูป 5-2 จะเห็นได้ว่าเนื่องจาก LED ใช้ปรากฏการณ์การปล่อยแสงตามธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนเข้าไป (กระตุ้น) แต่สำหรับ LD นั้นใช้ปฏิกิริยาการ OSCILLATION โดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสง (STIMULATED EMISSION) ดังนั้นปริมาณแสงที่ปล่อยออกมามีลักษณะที่มีการเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเลยค่าของกระแสค่าหนึ่ง (THRESHOLD VALUE CURRENT) ไปแล้ว (โปรดดูรูป 5-2 ประกอบ) ตัวอย่างคุณสมบัติต่างๆ ของ LED และ LD ที่กล่าวมาแล้วในตาราง 1 จากการพิจารณาคูณสมบัติต่างๆ ในตารางนี้จะเห็นว่าเกี่ยวกับ OUTPUT POWER ของแสงนั้น LD จะมีค่ามากกว่า เพราะมีการ OSCILLATION และการขยายของแสงและเกี่ยวกับ INPUT POWER ที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงก็เช่นกัน เนื่องจาก LD มีคุณสมบัติของทิศทางของแสง (DIRECTIVITY) ดีกว่า เป็นผลให้มีการสูญเสียการเชื่อมแสงกับเส้นใยแสงต่ำ ทำให้ POWER ของแสงป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้มาก

ตาราง 5-1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์ส่งแสง

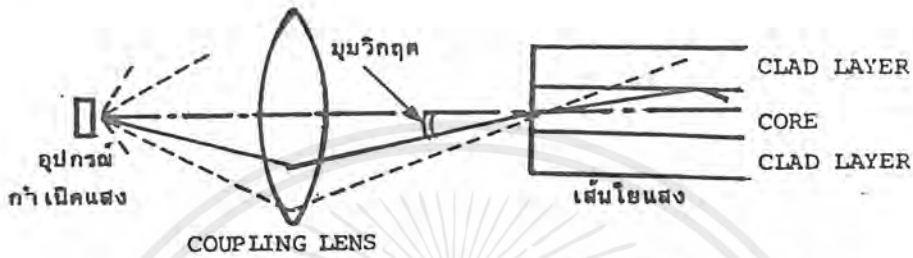
หัวข้อ	อุปกรณ์ที่ปล่อยแสง	LED	LD
OUT PUT POWER ของแสง		2.5 m W	10 m W
INPUT POWER ของแสงใน เส้นใยแสง		≤ 0.05 m W	≤ 3 m W
ความกว้างของ SPECTRUM ที่ จุด POWER ตกลงครึ่งหนึ่ง (ตอน MODULATION)		100 nm	3 nm
FREQUENCY RESPONSE SPEED อายุการใช้งาน		\leq หลายร้อย MHz $\leq 10^6$ ช.ม.	\leq หลาย GHz $\leq 10^6$ ช.ม.

เกี่ยวกับ SPECTRUM ของแสงนั้น จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าใน LED มีผลมาจากสาเหตุที่ CONDUCTION BAND และ VALENCE BAND มีพลังงานเป็นช่วงกว้างทำให้มี SPECTRUM ของแสงกว้าง แต่ LD นั้นมีพลังงานเป็นช่วงแคบอันเนื่องมาจากขบวนการ OSCILLATION ทำให้มี SPECTRUM ของแสงแคบ นอกจากนั้นการทำงานสว่างดับ (กระพริบ) ของแสงนั้น ถ้าหากเวลาการรวมกันของอิเล็กตรอนกับ HOLE ยิ่งสั้นจะยิ่งมี SPEED เร็วมาก กล่าวคือถ้าหากอิเล็กตรอนและ HOLE มีจำนวนมาก นั่นคือความหนาแน่นของกระแสมีมากเท่าไร จะทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาการรวมกันของอิเล็กตรอนกับ HOLE มีค่าน้อยลงเท่านั้น สำหรับ LED นั้นค่าเวลานี้มีค่าประมาณหลาย nano second (1 nsec หรือ 1 nano second = 10^{-9} second) ดังนั้นถ้าหากเป็นความถี่จะได้ความถี่หลายร้อย MHz (\because ความถี่ = $1/\text{เวลา}$, 1 MHz = 10^6 Hz) ส่วนกรณีของ LD เนื่องจากค่าความหนาแน่นของกระแสที่กระตุ้นมีค่ามาก ทำให้เวลาการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับโฮล มีค่าน้อย ถ้าเป็นความถี่จะได้หลาย GHz ซึ่งความถี่เหล่านี้แสดง FREQUENCY RESPONSE SPEED ของ LED และ LD ยิ่งกว่านั้นในกรณีของ LD ถ้าหาก bias current มีค่าเข้าใกล้ THRESHOLD VALUE CURRENT มากเท่าใดความเร็วของ RESPONSE SPEED จะสูงขึ้นเท่านั้น ส่วนอายุการใช้งานของอุปกรณ์ปล่อยแสงทั้งสองไม่มีปัญหาอะไรเลยในการใช้งานและในอนาคต อันใกล้คงจะมีเทคโนโลยีการผลิตที่ทำให้ LD มีอายุการใช้งานเท่ากับ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การเชื่อมอุปกรณ์ส่งแสงกับเส้นใยแสง

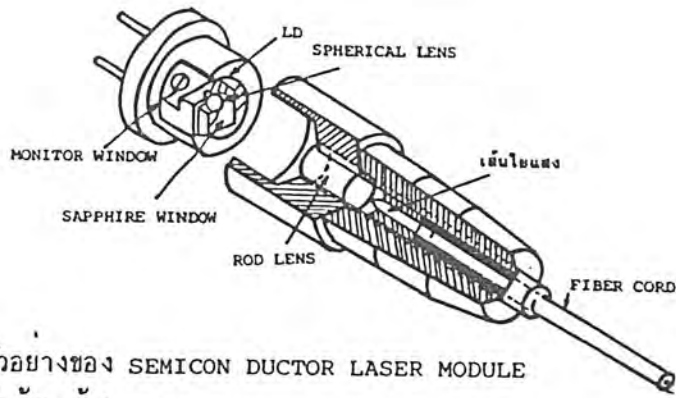
โดยทั่วไปแล้วแสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะกว้างออก เนื่องด้วยปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง (DIFFRACTION) การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงที่มีขนาดเล็กมาก ประมาณ 10-หลายสิบล้านไมโครเมตร จึงเป็นการยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น ใช้เลนส์มาทำการบีบลำแสงให้เล็กลงในการเชื่อมแสง ระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง ดังแสดงในรูป 5-3



รูป 5-3 แสดงการเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์กำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

ในการป้อนแสงเข้าไปใน core ของเส้นใยแสง จำเป็นต้องปล่อยแสงเข้าไปด้วยค่ามุมตกกระทบที่อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า มุมรับแสงสูงสุดของเส้นใยแสง ตัวอย่างเช่น สมมติว่าป้อนแสงเข้าไปด้วยมุมตกกระทบที่มีค่ามากกว่ามุมรับแสงสูงสุดของเส้นใยแสง ดังแสดงด้วยเส้นปะในรูป 5-3 จะเห็นว่าแสงที่ป้อนเข้าไปนี้จะทะลุออกไปยัง clad หมดด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องนำเลนส์ไปวางไว้ใกล้ ๆ อุปกรณ์ปล่อยแสง เพื่อบีบแสงให้แคบลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากวางตำแหน่งของเลนส์ใกล้กับอุปกรณ์ปล่อยแสงมากเกินไป จะทำให้ลำแสงถูกขยายกว้างมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ core ของเส้นใยแสง ทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมแสงต่ำลงไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับแต่งเลนส์ที่ใช้ และปรับแต่งตำแหน่งของเลนส์ ระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสงให้เหมาะสมถูกต้องซึ่งเป็นการปรับที่ละเอียดมาก

ตัวอย่างของโครงสร้างของ LD-MODULE ที่เชื่อมต่อแสงกับเส้นใยแสงแบบ SM-type และตัวอย่างด้านนอกของ LD-MODULE, LED-MODULE แสดงดังรูป 5-4 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับ SM-type ,LD-MODULE เพื่อให้ประสิทธิภาพการบีบแสงเข้าไปในเส้นใยแสงดี นั้น นิยมใช้เลนส์ 2 ลักษณะคือ ทรงกลม กับ ทรงกระบอก



ตัวอย่างของ SEMICONDUCTOR LASER MODULE
ที่เข้ากับเส้นใยแสงแบบ SM-type



(b) ตัวอย่างลักษณะภายนอกของ LD และ LED

รูป 5-4 แสดงตัวอย่าง LD-MODULE และ LED-MODULE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ทฤษฎี ภาคส่ง และ ภาครับ สัญญาณแสง

6.1 วงจรขับ

เป็นส่วนที่ในการมอดดูเลทสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงเข้ากับแสง โดยให้ความเข้มของกระแสเป็นตัวกำหนดความเข้มของแสงที่จะปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดที่ใช้ แล้วส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงเรียกว่า อินเทนซิติมอดดูเลชัน (Intensity Modulation) โดยความยาวคลื่นของสัญญาณแสงจะมีค่าสั้นกว่า (ความถี่มากกว่า) ความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามาก ดังนั้นความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า จึงเป็นตัวที่ทำหน้าที่เป็นเอ็นเวลลอปของสัญญาณที่เป็นเอ็นเวลลอปของสัญญาณแสงที่ออกมา

6.2 การออกแบบตัวส่งแสง (Transmitter design)

แหล่งกำเนิดแสงเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบโดยตัวส่งแสงจะต้องสอดคล้องกับประเภทของแหล่งกำเนิดแสงด้วย และสอดคล้องกับประเภทของสัญญาณที่ส่งด้วยว่าเป็นอนาลอกหรือดิจิตอล โดยการออกแบบจะต้องมีตัวเรือน ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่ต้องการเพื่อช่วยป้องกันแหล่งกำเนิดไม่ให้เกิดความเสียหายและช่วยในการสร้างสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์และช่วยในการส่งแสงผ่านเส้นใยนำแสง โดยส่วนประกอบภายในจะต้องเป็นส่วนช่วยในการต่อแสงเชื่อมกับเส้นใยนำแสง และยังต้องการวงจรขับกระแสและการควบคุมอุณหภูมิ

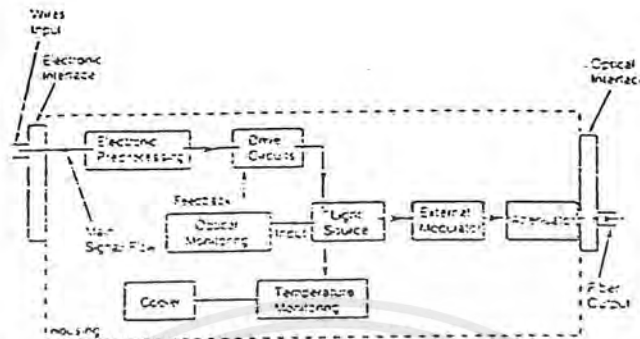
6.2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของตัวส่งแสง

ในตัวเรือนของตัวส่งแสงจะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์พื้นฐานที่จะกล่าวถึงซึ่งส่วนประกอบนี้สามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 6-1

1. ตัวเรือน (housing)
2. ส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic interfaces)
3. วงจรขับ (drive circuitry)
4. ส่วนเชื่อมต่อทางแสง (optical interfaces)
5. ส่วนควบคุมอุณหภูมิ และส่วนหล่อเย็น (temperter sensing and cooling)
6. กระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronic processing)
7. ส่วนของมอนิเตอร์ทางแสง (optical monitoring)
8. ตัวลดทอนสัญญาณ (attenuator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

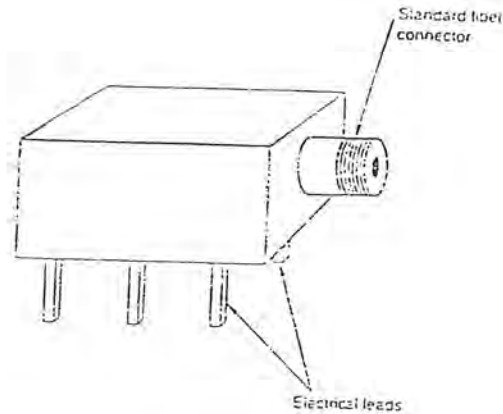
โดยบางครั้งอาจจะมีอุปกรณ์ส่วนอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น external modulator ในกรณีที่แหล่งกำเนิดไม่สามารถมอดดูเลทแสงได้เอง หรือ ส่วนของการลดทอนสัญญาณในกรณีที่มีการติดต่อสื่อสารในระยะสั้น ๆ



รูป 6-1 แสดงส่วนประกอบในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง

1. ตัวเรือน (housing) ตัวเรือนนี้จะมีรูปแบบอย่างง่าย ๆ โดยจะออกแบบเป็นกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อความสะดวกซึ่งจะมีหัวต่อสองส่วนคือ ส่วนเชื่อมต่อทางแสง และส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งส่วนใหญ่จะออกแบบเป็นมาตรฐาน
2. ส่วนเชื่อมต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronic interfaces) ส่วนนี้อาจจะเป็นสายไฟ(wire) ธรรมดา หรือเป็นขาที่ยื่นออกมาจากรูปทรงของหีบห่อ (packages) ตัวส่งแสงอย่างง่าย สามารถที่จะขับเคลื่อนด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่เข้าไปได้โดยตรง
3. ส่วนเชื่อมต่อทางแสง (optical interfaces) เป็นการเชื่อมต่อแหล่งกำเนิด และเส้นใยนำแสง ดังแสดงในรูปซึ่งเป็นหัวต่ออยู่ในตัวเรือน แสงจะถูกส่งไปยังเส้นใยนำแสงโดยเลนส์ข้างใน ที่ประกอบด้วย collimating lens และส่วนเส้นใยนำแสง ส่วน fiber pigtail จะทำการรวมแสง จากบริเวณที่มีแสงเปล่งออกมา และส่งไปข้างนอก ซึ่งสามารถต่อเข้ายังเส้นใยนำแสงภายนอกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) Transmitter with Integral Connector

รูปที่ 6-2 แสดงส่วนเชื่อมต่อทางแสงของตัวส่ง

4. วงจรขับ (drive circuitry) ขึ้นอยู่กับชนิดของการทำงาน ขนาดข้อมูล และแหล่งกำเนิดแสง LED สามารถถูกขับได้โดยตรง โดยอาศัยแหล่งกำเนิดกระแส (current source) ที่เหมาะสม (ถึงแม้ว่าสัญญาณส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแรงดันและจะต้องถูกแปลงให้เป็นกระแส) อย่างไรก็ตาม เซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์จะต้องถูกไบอัสจนถึงระดับกระแสที่ใกล้เคียงกับค่า laser threshold

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

Thermoelectric cooler ในตัวส่งแสงสามารถทำให้การทำงานมีความแน่นอนที่อุณหภูมิคงที่ การควบคุมอุณหภูมิของเลเซอร์สามารถลดความไม่เสถียรของกำลังเอาต์พุตอันเนื่องมาจากอุณหภูมิจะทำให้กำลังเอาต์พุตที่คงที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์รับแสง ขณะที่กำลังเอาต์พุตที่ตรวจวัดได้ลดลงอัตราบิดคลาดเคลื่อน (bit - error rate) เพิ่มขึ้นในระบบดิจิทัลและ s/n ratio ลดลงในระบบอนาล็อก จะทำให้ระบบการทำงานของอุปกรณ์กำเนิดแสงลดลงและขั้นตอนนี้จะทำให้ความยาวคลื่นของแสงคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงกระแสขีดเริ่มมีค่าคงที่ (threshold current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

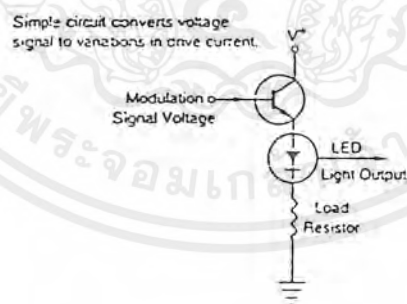
6. กระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic processing) เป็นกระบวนการขั้นต้นที่วงจรับของตัวส่งแสงจะทำการใส่สัญญาณไฟฟ้าทางอินพุตให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมสำหรับการขับเคลื่อนแหล่งกำเนิดแสง ตัวอย่างเช่นการแปลงสัญญาณจากแรงดันซึ่งจะขับวงจรถึ่งอิเล็กทรอนิกส์ไปเป็นกระแสซึ่งจะมอดูเลท Laser และ LED

7. ส่วนของมอนิเตอร์ทางแสง (Optical monitoring) ตัวส่งแสงชนิดเลเซอร์ประกอบด้วยวงจรถูกเอาท์พุทที่มีเสถียรภาพ โฟโตดีเทคเตอร์จะตรวจจับแสงที่แผ่ออกจากส่วนหน้าของเลเซอร์และขับวงจรรีเฟล็กชัน (Feedback circuit) ซึ่งจะปรับกระแสขับจนกำลังเอาท์พุททั้งหมดคงที่

นอกจากนี้วงจรถดทอนสัญญาณ (Attenuator) ตัวส่งแสงจะสร้างระดับกำลังที่เป็นมาตรฐาน และในบางกรณีระดับกำลังเหล่านี้อาจจะสูงกว่าที่ต้องการเนื่องจากตัวรับแสงสามารถรับกำลังเอาท์พุทได้จำกัด ในบางครั้งจะใช้ตัวลดทอนสัญญาณเพื่อที่จะลดกำลังเอาท์พุทของตัวส่งแสงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับตัวรับแสง

6.2.2 การออกแบบตัวส่งโดยใช้ LED อย่างง่าย

LED เป็นแหล่งกำเนิดที่จะเปล่งแสงเมื่อทำการไบแอสแรงดัน ซึ่งมีค่าอย่างน้อยสูงกว่าแรงดันในช่องว่าง หรือ ดีฟิสิกชัน โดยมีค่าประมาณ 1.5 โวลต์ สำหรับ LED ที่ทำจาก GaAlAs ความยาวคลื่น 800 – 900 nm และประมาณ 1 โวลต์สำหรับ GaAsP ที่มีความยาวคลื่น 1300 nm วงจรับสำหรับแหล่งกำเนิด LED แสดงดังรูปที่ 6-3



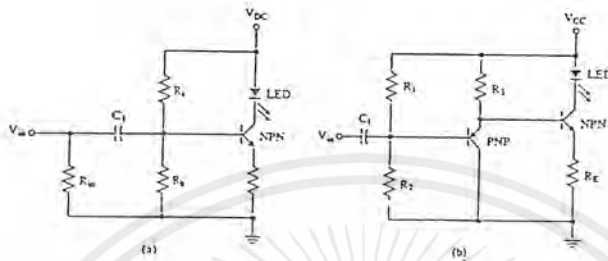
รูปที่ 6-3 แสดงวงจรับอย่างง่ายสำหรับ LED source

6.2.3 การออกแบบตัวส่งแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอดอย่างง่าย

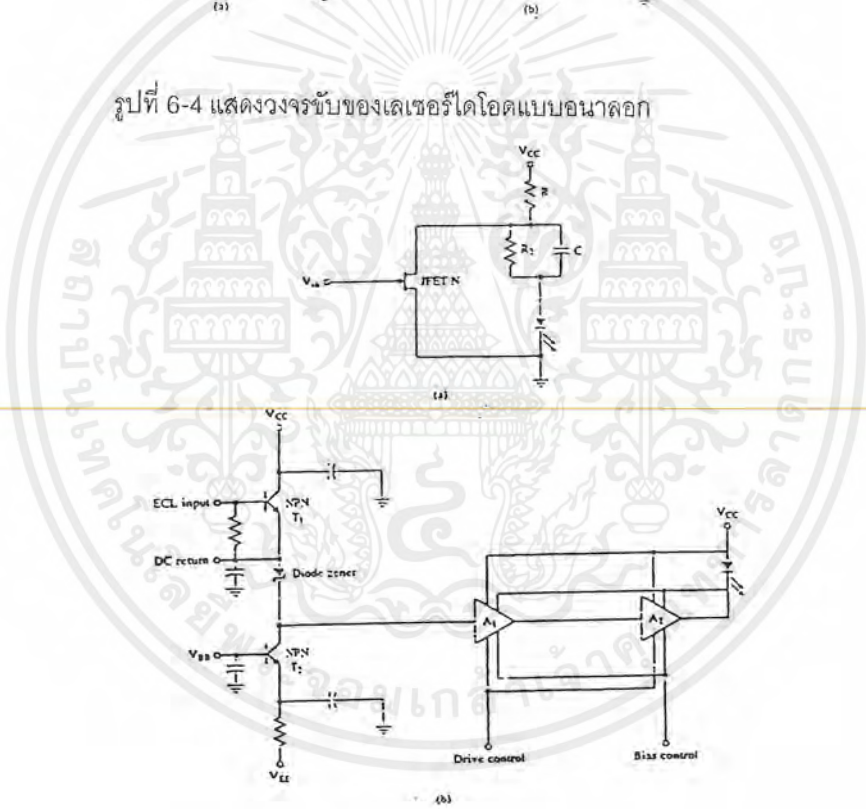
คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ จะเหมือนกับ LED เนื่องจากทั้งคู่เป็นแหล่งกำเนิดแบบใช้สารกึ่งตัวนำทั้งคู่ แต่เลเซอร์จะให้แสงออกมาก็คือเมื่อ แรงขับกระแสสูงกว่าค่า แรงดันกระแสขีดเริ่ม (threshold current) เนื่องจากต้องการกระแสขับที่มากดังนั้นตัวต้านทานที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำกัดกระแสจึงมีค่าน้อย โดยแรงดันกระแสอยู่ในช่วง 100-200 mA และแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.6 – 1.8 V วงจรขับของเลเซอร์ไดโอด รูปที่ 6-5 ใช้ในทางดิจิทัล ซึ่งในวงจรที่ 6-5 a ใช้วงจรขับแบบแบ่งกระแส (Shut driver) และทรานซิสเตอร์แบบฟิลด์เอฟเฟ็ก (field effect transistor) โดยค่า R_2 และ C ใช้ในการไบแอส กับ ทรานซิสเตอร์ โครงสร้างของวงจรนี้ สามารถที่จะมอดดูเลทแสงได้มากถึง จิกะ (10^9)



รูปที่ 6-4 แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบอนุกรม



รูปที่ 6-5 แสดงวงจรขับของเลเซอร์ไดโอดแบบดิจิทัล

6.3 อุปกรณ์รับแสง

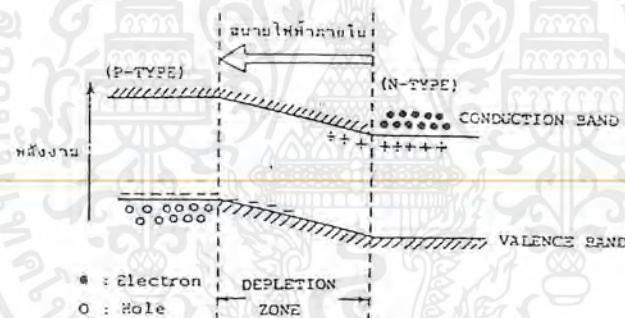
การรับแสงคือ การเปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ในการทำงานนี้สามารถแบ่งได้ 2 วิธี วิธีที่หนึ่งคือ การเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า photo electric effect โดยใช้กระบวนการดูดพลังงานนั้นคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์แบนด์จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่แถบคอนดักชันแบนด์ แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เท่านั้น และในที่สุดจะกลับรวมกับโฮลอีกครั้ง ในแถบวาเลนซ์แบนด์ ทำให้ไม่ได้รับ photo electric effect ด้วยเหตุนี้ เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้า จะต้องให้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับโฮลก่อนที่จะมารวมตัวกัน

วิธีที่สอง ทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนแล้วจึงจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า Sensitive heat effect. โดยทั่วไปจะมีการตอบสนองช้ามาก และความไวไม่ดีนัก จึงใช้เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) และ โบโรมิเตอร์ และอื่น ๆ อีก แต่ไม่นิยมนำมาใช้ในการสื่อสารด้วยแสง

สำหรับ อุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสง นั่นคือ เพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับโฮล นั้นโดยทั่วไปใช้ PN- junction ซึ่งที่รอยต่อของ P-N นั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในที่ว่างขึ้นโดยมันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของ N- type ของโฮล ของ P- type ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ และบวก ตามลำดับ เป็นผลให้ไม่มีอิเล็กตรอน และโฮล ขึ้นตรงบริเวณรอยต่อนี้ เรียกว่า depletion zone ดังในรูปที่ 6-6



รูปที่ 6-6 แสดงลักษณะของ DEPLETION ZONE

อุปกรณ์รับแสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่ จะเป็นพวก โฟโตดีเทคเตอร์ (photodetector) โดยทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานทางแสง เป็นพลังงานทางไฟฟ้า โฟโตดีเทคเตอร์ในอุดมคติจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. จะต้องมีความสามารถรับแสงที่เบาบางที่ตกกระทบอุปกรณ์
2. จะต้องสามารถทำงานในช่วงใกล้อินฟราเรด (850,1300,1500 nm)
3. จะต้องมีความเร็วเพียงพอต่อการเปลี่ยนแสง เป็นอิเล็กตรอน
4. จะต้องมีขนาดเล็ก เข้ากับเส้นใยนำแสงได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จะต้องมียุคที่ต่ำ
6. จะต้องไม่ไวต่อสิ่งแวดลอม

โดยปกติทั่วไป จะใช้ตัวรับแสงชนิดที่เรียกว่า PN Photodiode, PIN Photodiode, AVD (avalanche diode)

6.3.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินได้จากคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพทางควอนตัม (Quantum efficiency) ซึ่งแสดงว่าแสงที่รับมาได้ นั้น เปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากเท่าใด ความไวของการรับแสง (ระดับรับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบระยะเวลาการถ่ายถอดของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นและความเร็วที่ตอบสนองการทำงาน สำหรับประสิทธิภาพทางควอนตัมกำหนดจากสาร และโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไว การรับแสงนั้น จะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจาก APD ใช้ปรากฏการณ์ขยายแบบอวาลานซ์ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10-20 dB (10-100 เท่า) เมื่อเทียบกับโฟโตไดโอดธรรมดา สัญญาณรบกวนที่เกิดในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งๆที่เรียกว่า Shot noise ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสโฟโต (photo current) ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นระเบียบทางเวลา โดย Shot noise เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Shot noise current} = I_0 M^2 {}^{\pm} F$$

เมื่อ M คือ อัตราการขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง

I_0 คือ กระแสโฟโตในกรณีที่ $M = 1$

F คือ Excess noise figure มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

นั่นคือจากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงที่เท่ากันถ้าหากว่าทำให้แรงดันไบเอสแบบย้อนกลับที่ป้อนให้ มีค่าสูงและทำให้อัตราการขยายกระแสเพิ่มขึ้นนั้นสัญญาณออก (Output signal $I_0 M^2 {}^{\pm} F$) จะเพิ่มขึ้นมากด้วย แต่ shot noise ก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงโดยทั่วไปแสดงดังรูป 6-7 จากรูปจะช่วยให้เข้าใจความแตกต่างของบริเวณการทำงานของ APD และ photodiode ได้ดี และในรูปนี้ได้แสดงถึงการไหลของกระแสที่เรียกว่า dark current ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไบแอสกลับแต่ไม่มีแสงเข้า



รูปที่ 6-7 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และกระแสโฟโต

กระแส dark current นี้มีลักษณะพิเศษคือ มันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณออก (output signal) shot noise เป็นสิ่งที่เกิดจาก dark current และอื่นๆที่เบี่ยงแหล่งต้นกำเนิดในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนอกจากจะต้องคำนึงถึง shot noise นี้แล้วยังมี thermal noise ที่เกิดจากในวงจรไฟฟ้าไม่เกี่ยวกับสัญญาณแสงที่เข้ามา ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องเลือกค่า M ที่เหมาะสมทำให้ผลรวมของ shot noise และ thermal noise มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าระดับของสัญญาณ

ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณเข้ามาจนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์ดูดแสง แต่ปัจจุบันเนื่องจากทั้ง APD และ photodiode สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GHz จึงไม่มีปัญหาใช้งานการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ APD และ photodiode แสดงดังตารางที่ 6-1

ตารางที่ 6-1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

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

6.3.2 การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า

6.3.2.1 โครงสร้าง และการทำงานของกรับแสง

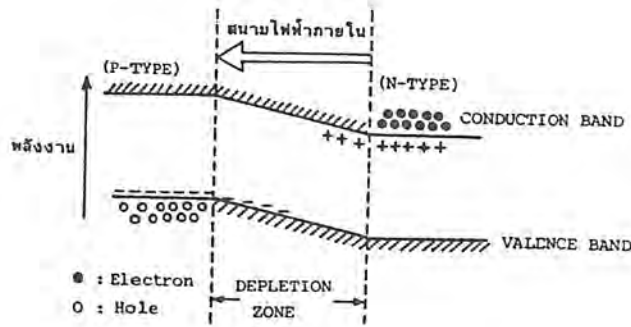
การรับแสงหมายถึง การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า ในการทำงานนี้แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีที่หนึ่ง เป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง วิธีที่ 2 ทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนก่อน แล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า วิธีที่หนึ่งนั้นเรียกว่า Photo electric effect ส่วนวิธีที่ 2 เรียกว่า sensitive heat effect

วิธีการตรวจแสงโดยใช้ Sensitive heat effect นั้นโดยทั่วไปจะมีการตอบสนองช้ามาก และความไวไม่ดีจึงใช้กับ thermocouple, borometer และอื่น ๆ แต่ไม่นำมาใช้กับการสื่อสารด้วยแสง ดังนั้นสำหรับการสื่อสารด้วยแสงจึงควรทำความเข้าใจโครงสร้าง และการทำงานของอุปกรณ์รับแสงโดย photo electric effect สำหรับสารกึ่งตัวนำต่อไปนี้จะกล่าวถึง photo electric effect

หลักการของ Photo electric effect ใช้ขบวนการดูดพลังงาน เมื่อมีแสงมากระทบสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนที่อยู่ใน VALENCE BAND จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ CONDUCTION BAND แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้ เป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเลื่อนขึ้นไปเท่านั้น และในที่สุดมันก็จะไปรวมกันใหม่ กับโฮลใน VALENCE BAND อีกทำให้ไม่ได้รับ photoelectric effect ด้วยเหตุนี้ เพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า จะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับโฮล ก่อนที่มันจะรวมกัน

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำ ก็เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือ เพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอน กับโฮล นั้นโดยทั่วไปใช้ PN-junction ที่รอยต่อของ P-N นั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในที่ว่าง (SPACE ELECTRON FIELD) ขึ้น แต่มันจะถูกตั้งด้วยอิเล็กตรอนของ N-type และ HOLE ของ P-type ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็น - และ + เป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอน และ โฮล ขึ้นตรงรอยต่อบริเวณนี้ เรียกว่า DEPLETION ZONE ดังแสดงในรูปที่ 6-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-8 แสดง DEPLETION ZONE

ในสภาพเช่นนี้ เมื่อมีแสงมากระทบจากทางด้านบริเวณ P-type แสงนั้นจะถูกดูด พร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปทาง N-type แต่ที่ DEPLETION ZONE อิเล็กตรอน และ โฮล ที่เกิดจากการดูดพลังงานจากแสงจะถูก SPACE ELECTRIC FIELD แยกไปทิศตรงกันข้าม กล่าวคือ อิเล็กตรอนไปทางด้าน N และโฮลไปทางด้าน P อนึ่งที่บริเวณซึ่งอยู่ห่างจาก DEPLETION ZONE นั้นเนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอน และ โฮลซึ่งเกิดจาก Photo electric effect จะรวมตัวกันใหม่เมื่อในระหว่างเคลื่อนที่ แต่สำหรับอิเล็กตรอน และโฮลที่เคลื่อนที่เข้าไปใน SPACE ELECTRIC FIELD แล้วนั้น จะสามารถเข้าไปยังบริเวณที่ตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้ก็คือ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับปริมาณของอิเล็กตรอน และ โฮล สามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรภายนอก นั่นคือมีกระแสไหลนั่นเอง กระแสที่เกิดขึ้นที่ DEPLETION ZONE เรียกว่า DRIFT CURRENT ส่วนกระแสที่เกิดตรงบริเวณที่อยู่ห่างจาก DEPLETION ZONE เรียกว่า DIFFUSION CURRENT และกระแสนี้เป็นหลักการของการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า

6.3.2.2 สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

(1) สารของอุปกรณ์รับแสง

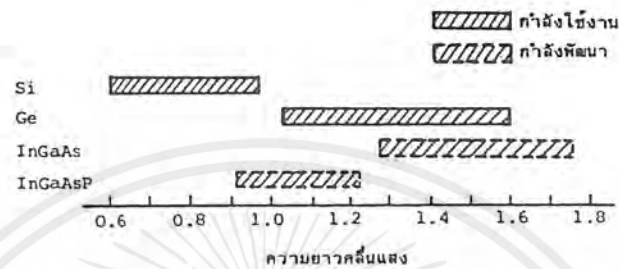
สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั่นคือ มีสารหลายชนิด นอกจากนั้นผลต่างของพลังงานของ CONDUCTION BAND และ VALENCE BAND ของอุปกรณ์รับแสงมีค่าต่างกันทำให้มีย่านความยาวคลื่นที่ต่างกัน คุณสมบัติของแสงที่เข้ามาได้ง่าย (ความไวในการรับแสงดี)

คุณสมบัติความไวในการรับแสงของสารแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 6-9

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้น จะต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้ เช่นเดียวกับกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับย่านความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า $1\mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะใช้ Si สำหรับย่านความยาวคลื่นจาก 1- 1.7 μm ใช้ Ge เป็นส่วนใหญ่นอกจากนั้นในปัจจุบัน สำหรับความยาวคลื่นในช่วง 1.55 μm เป็นความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียในเส้นใยแก้วน้อยมาก และเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ใน THIRD WINDOW การใช้งานอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจาก สารที่เป็นสารประกอบของสารกึ่งตัวนำ InGaAs และอื่น ๆ ซึ่งมีความไวในการรับแสงดีมากนั้น กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อย



รูปที่ 6-9 แสดงความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด

(2) โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

ในหัวข้อที่แล้วได้กล่าวถึง SPACE ELECTRIC FIELD ตรงรอยต่อ PN-junction ที่ทำให้อิเล็กตรอนและโฮล เคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้าให้แรงดันไฟฟ้าย้อนกลับจากภายนอก กล่าวคือ ทางด้าน P ให้ไฟ - และทางด้าน N ให้ไฟ + จะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮล ตรงรอยต่อมีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น

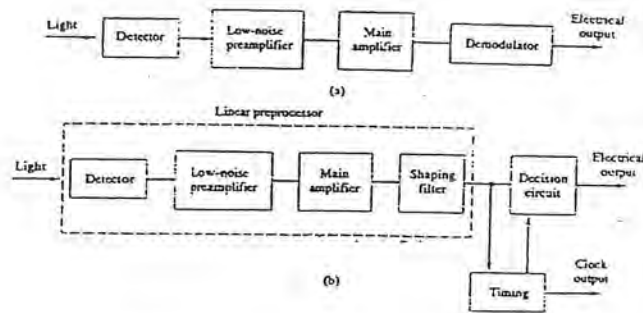
อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ ๆ ได้ 2 พวก ตามปริมาณแรงดันที่ป้อนจากภายนอก คือ

PHOTO DIODE : PD กับ AVALANCHE PHOTO DIODE: APD พวก PD นั้นเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวก APD เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก

6.3.3 วงจรอุปกรณ์รับแสง

ตามรูปที่ 6-10 แสดงลักษณะของบล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสงทั้งสัญญาณที่เป็นดิจิทัลและอนาลอกจะคล้ายกันมาก เอาท์พุทที่ออกมาจากดีเทคเตอร์จะมาเข้าในวงจรขยายเพื่อทำให้กระแสมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



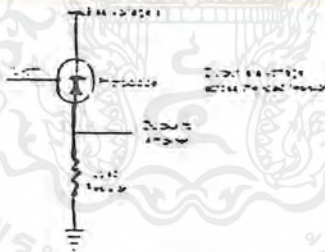
รูปที่ 6-10 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรับแสง

a) analog

b) digital

6.3.3.1 วงจรรับแสงแบบโฟโอดีไดโอด

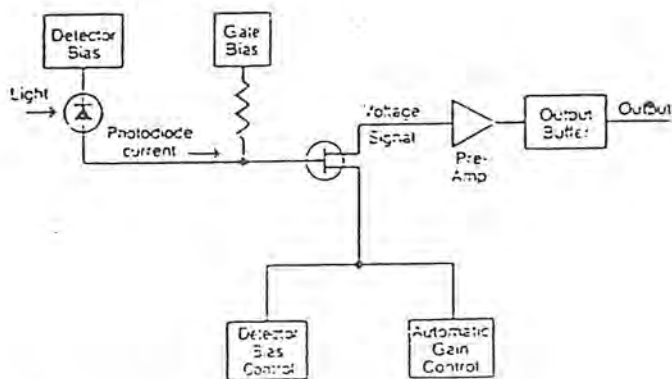
ตามปกติ PN และ PIN photodiode ที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงมีวงจรรองรับใช้ตามรูปแบบที่กำหนดซึ่งจะต้องมีการไบแอสกลับให้โฟโอดีไดโอดและความต้านทานที่ต่ออนุกรมเข้ากับโฟโอดีไดโอดซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 6-11 ซึ่งวิธีนี้โฟโอดีไดโอดจะเป็นตัวนำทางแสง (photoconductive) เนื่องจากกระแสโฟโอดีที่ไหลเป็นสัดส่วนกับความต้านทานของแสงสว่างของโฟโอดีไดโอด



รูปที่ 6-11 แสดงวงจรรับแสงของ PN และ PIN photodiode

การแบ่งแรงดันระหว่างโฟโอดีไดโอดกับตัวต้านทานขึ้นอยู่กับความสว่างถ้าสว่างมากโฟโอดีไดโอดกระแสก็มากในวงจรที่แสดงนี้สัญญาณข้อมูลจะตกคร่อมที่ตัวความต้านทานนอกจากนี้ยังมีวงจรที่ยุ่งยากกว่าโดยมีวงจรรขยายด้วยนอกจากตัวต้านทาน คือ PIN-FET and detector preamplifier ในรูปที่ 6-12

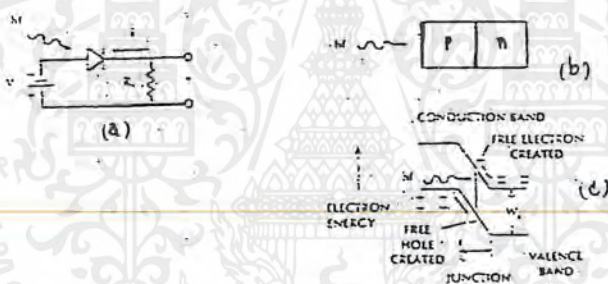
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-12 แสดงบล็อกไดอะแกรม PIN-FET receiver circuit

(1) พีเอ็นโฟโตไดโอด (PN Photodiode)

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าโฟโตไดโอดจะทำงานเมื่อมีแรงดันไบอัสให้กับตัวโฟโตไดโอดแบบไบแอสกลับ (Reverse bias) ตามรูปที่ 6-13 แสดงลักษณะของ PN Photodiode



รูปที่ 6-13 แสดงลักษณะของ PN Photodiode

เมื่อให้แรงดันไฟไบแอสกลับจะกลับจะทำให้ค่าพลังงานกำแพงศักย์ (energy barrier) ระหว่างรอยต่อพีและเอ็นเพิ่มขึ้นทำให้อิเล็กตรอนอิสระทางด้านเอ็นและโฮลอิสระทางด้านพีไม่สามารถข้ามบริเวณที่เกิดกำแพงศักย์ได้จึงไม่มีกระแสไหล บริเวณรอยต่อที่ไม่มีประจุใดๆเลยนี้เรียกว่า Depletion zone ตามที่กล่าวมาแล้ว บริเวณความต้านทานสูงเป็นผลให้โวลเตจทั้งหมดที่ตกคร่อมไดโอดจะตกคร่อมบริเวณนี้เกือบทั้งหมด

พิจารณารูปที่ 6-13 (c) เมื่อกลุ่มก้อนโฟตอนถูกดูดกลืนในรอยต่อที่ผ่านด้านพีมาแล้ว การดูดกลืนพลังงานทำให้อิเล็กตรอนข้ามแถบช่องว่างพลังงาน (band gap) จากวาเลนซ์แบนด์ไปยังคอนดักชันแบนด์ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและทำให้โฮลออกจากวาเลนซ์แบนด์ ดังนั้นจะมีประจุอิสระที่ถูกสร้างขึ้นจากการดูดกลืนโฟตอนซึ่งอิเล็กตรอนจะเคลื่อนตัวลงไปยังกำแพงศักย์และโฮลจะเคลื่อนที่ไปยังกำแพงศักย์ซึ่งเป็นสาเหตุให้กระแสไหลผ่าน วงจรภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกับการปลดปล่อยแสงอิเล็กตรอน ซึ่งในกรณีนี้จะเกิดกระแสไหลในหลอดโฟโตไดโอดเมื่อ โสและอิเล็กตรอนรวมตัวกันใหม่ที่บริเวณนั้นจะเกิดกระแสไฟฟ้าน้อยๆซึ่งจะทำให้ประจุต่างๆ หยุดเคลื่อนที่ทำให้กระแสหยุดไหล นอกจากนี้ประจุพาหะจะถูกสร้างขึ้นใกล้ Depletion zone และมันสามารถที่จะแพร่ผ่านบริเวณนี้ไปได้ ดังนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าจำนวนมากที่บริเวณรอยต่อ ทำให้มีกระแสภายนอกเกิดขึ้น

(2) พีไอเอ็นโฟโตไดโอด (PIN Photodiode)

พีไอเอ็นโฟโตไดโอดเป็นอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ชั้นของ depletion-layer เข้ามาใช้ในการทำงาน เรียกเต็มๆว่า positive-intrinsic-negative เป็นที่นิยมใช้มากในระบบสื่อสารในการเป็นดีเทคเตอร์ รับแสง พีไอเอ็นจะมีชั้นอินทริเนสิก (intrinsic) อยู่ระหว่างกลางของชั้นที่มีการโด๊ปเป็นพาหะบวก หรือด้านพีและชั้นที่มีการโด๊ปเป็นพาหะลบหรือด้านเอ็นมีโครงสร้างดังรูปที่ 6-14 แสงจะตกกระทบ ด้านพีของโฟโตไดโอด และมีการถูกดูดกลืนแสงโดยอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าไปยัง ชั้นอินทริเนสิกเลเยอร์ที่ไม่มีประจุอยู่เลย ดังนั้นจึงมีความต้านทานสูงจึงทำให้โวลเตจตกคร่อมไดโอดจะตกคร่อมที่ชั้นนี้เกือบทั้งหมดและมีแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ามาก โดยระหว่างนั้นต้องมีการไบแอส แรงดันแบบกลับให้กับโฟโตไดโอดด้วย โดยในการสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลนั้นจะต้องมีพลังงานอย่างเพียงพอ พลังงานโฟตอนที่ใช้ทำให้เราทราบค่าความยาวคลื่นคัทออฟ (Cut-off wavelength) ไม่อย่างนั้นโฟโตไดโอดจะไม่เปลี่ยนแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งความยาวคลื่นคัทออฟ สามารถหาได้จากแถบพลังงานช่องว่างของสารที่นำมาทำโฟโตไดโอดได้ดังสมการ

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

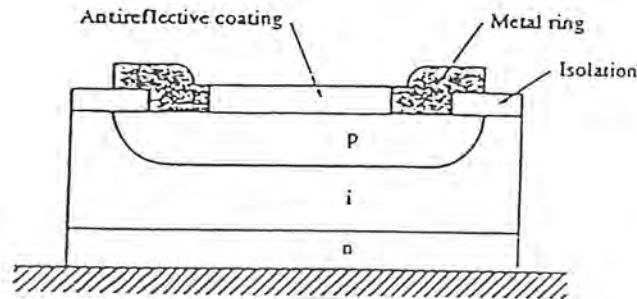
เมื่อ λ_c คือ ความยาวคลื่นที่ทำงาน ในหน่วย ไมโครเมตร

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

c คือ ความเร็วแสง

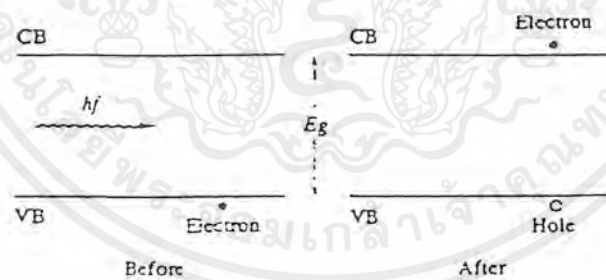
E_g คือ แถบพลังงานช่องว่างของสารที่นำมาทำโฟโตไดโอด (eV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-14 แสดงโครงสร้างของ PIN photodiode

อิเล็กตรอนจะต้องอยู่ในชั้นของคอนดักชันแบนด์ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าหรือกระแสโฟตอน คู่อิเล็กตรอน-โฮลจะถูกแยกโดยค่าสนามไฟฟ้าในชั้น อินทรีนสิค เลเยอร์ ความหนาของชั้นอินทรีนสิค เลเยอร์ควรจะบางแต่กว้างสำหรับการดูดกลืน (บริเวณที่ทำให้เกิดประจุลบ) ตามรูปที่ 6-15 ความบางเป็นส่วนสำคัญเนื่องจากมันจะอำนวยความสะดวกในการตกกระทบของโฟตอนและสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้นมา บริเวณด้านเอ็นควรจะแคบมากๆ อิเล็กตรอนจะได้ไม่เคลื่อนที่ออกจากอุปกรณ์ PIN photodiode จะใช้ในการสื่อสารระยะสั้นๆ และมีการมอดูเลตด้วยความถี่ต่ำ เหมาะสำหรับการเป็นตัวรับของ LED ซึ่งปกติจะใช้แรงดันไบแอสกลับ 7-10 โวลต์



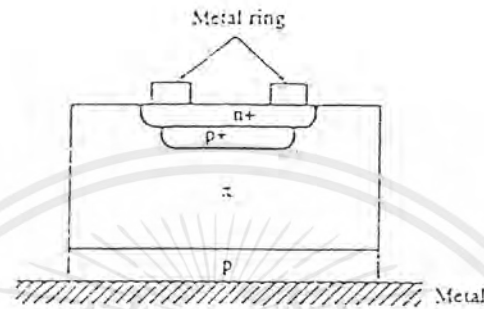
รูปที่ 6-15 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนทางแสง

(3) อะวาลานซ์โฟโตรีโอด (Avalanche photodiode)

อุปกรณ์รับแสงจะทำงานเมื่อมีแรงดันไบแอสที่สูงมากตามปกติแล้วจะมากกว่า 300 โวลต์ โดยมีภาคขยายหรือการเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณของกระแสโฟโตรีโอดที่เกิดขึ้น AVD หรือ อะวาลานซ์โฟโตรีโอดเหมาะสำหรับการสื่อสารที่ใช้ในระยะทางไกลๆและความถี่ที่มอดูเลตสูง (ประมาณ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MHz) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กับแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์ไดโอด ซึ่งโดยปกติจะใช้โครงสร้างที่เรียกว่า reach-through construction APD (RAPD) โดยที่ reach-through avalanche photodiode จะเรียงจากด้านพี (P-type) ซึ่งมี p^+ วางอยู่และมี n^+ วางอยู่ตามรูปที่ 6-16 โครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างแบบ $p^+ \pi p n^+$ ชั้นของ π เลเยอร์นี้เป็นชั้นของอินทรีนสติกเลเยอร์ ซึ่งมีการได้ไปเป็นชนิดพีด้วยโบรอนหรือฟอสฟอรัส ลักษณะของ APD เหมือนกับ PN-junction สนามไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากชั้น depletion region



รูปที่ 6-16 แสดงโครงสร้างของอะวาลานช์โฟโตไดโอด

แสงที่เข้ามาจะต้องผ่านชั้น p^+ และจะถูกดูดกลืนโดยชั้น π เลเยอร์ โฟตอนจะสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮล ชั้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนลอยมาที่รอยต่อพีเอ็นซึ่งมีสนามไฟฟ้าสูง ซึ่งสนามไฟฟ้านี้จะไปเร่งให้อิเล็กตรอน-โฮลเร็วขึ้นเป็นผลให้เกิดการชนกับคู่อิเล็กตรอนคู่อื่น ๆ ซึ่งการชนนี้จะเกิดขบวนการเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณของพาหะโดยนิยามไว้ว่า

$$M = 1/(1 - V/V_B)^n$$

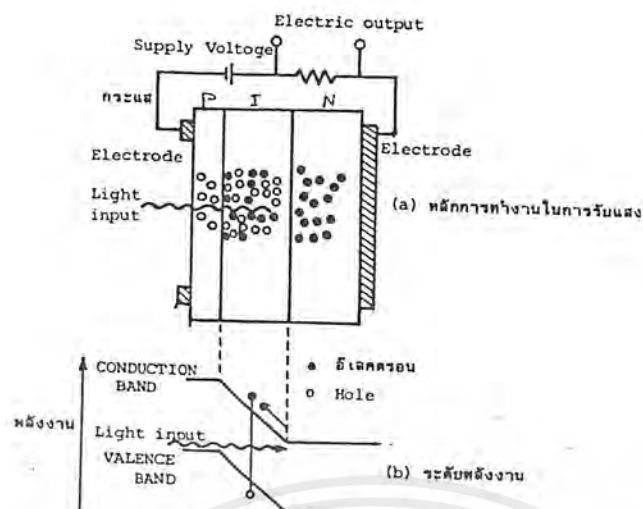
เมื่อ V คือ แรงดันไบแอสกลับที่ใส่เข้าไป

V_B คือ แรงดันพังทลาย

n คือ ค่าคงที่ระหว่าง 3 กับ 6 ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของสารที่ทำอุปกรณ์รับแสง

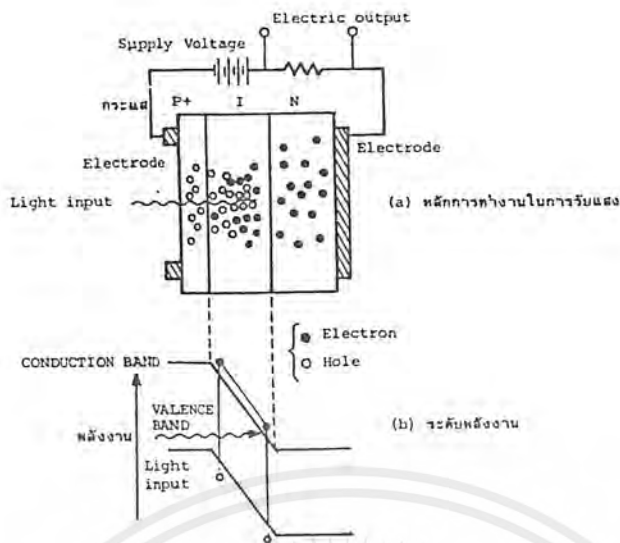
จำนวนเฉลี่ยของการเกิดอิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดจากการสร้างโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยความยาว เรียกว่า ไอออไนเซชันเรท (Ionization rate) บอกถึงความแตกต่างสำหรับอิ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-17 แสดงหลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ PIN-APD

อนึ่ง APD นั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย AVALANCHE ของอิเล็กตรอน และโฮล ในสารกึ่งตัวนำเมื่อเปรียบเทียบกับ PD แล้วเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสจำนวนมาก หลักการทำงานของ APD แสดงดังรูป 6-18 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้าน P ของ PN-junction มีสารกึ่งตัวนำแบบ P-type ที่มีความหนาแน่นของโฮล สูงติดอยู่ (ส่วนที่แสดงด้วย P^+ ในรูป) โดยการทำให้ส่วนนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้ๆ รอยต่อที่มี P-layer เป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ดูดแสงที่มาจากกระทบจากด้าน P^+ และถูกกระตุ้นจาก VALENCE BAND ไปยัง CONDUCTION BAND ในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่งและผ่าน P-layer นั้นมันจะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่าผลต่างของพลังงานของ CONDUCTION BAND กับ VALENCE BAND จากผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ใน VALENCE BAND และทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่ออกมาอีก เมื่อขบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่องกัน จำนวนของอิเล็กตรอนกับโฮล จะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก (AVALANCHE) เป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า AVALANCHE MULTIPLICATION ผลนี้ทำให้กระแสถูกขยายนั่นเอง

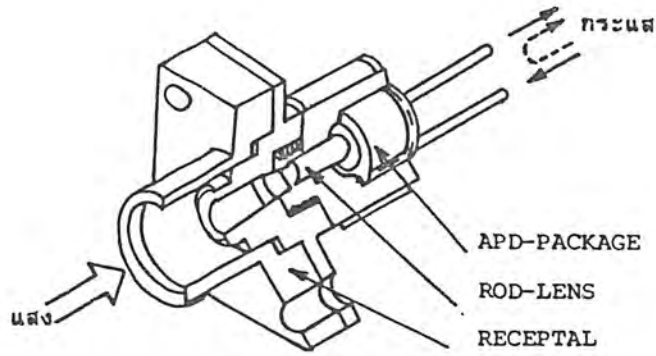


รูป 6-18 แสดงหลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ APD

6.4 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสงที่กล่าวมาแล้ว นั่นคือการเชื่อมต่อกับเส้นใยแสงเป็นองค์ประกอบสำคัญอันหนึ่งในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง แสงที่เดินทางมาในเส้นใยแสง ในกรณีที่ถูกลอยออกไปในอากาศจากปลายของเส้นใยแสง นั้นมันจะถูกปล่อยออกไปจากปลายเส้นใยแสงในลักษณะที่มีความกว้างใกล้เคียงกับค่า NA (Numerical Aperture) ของเส้นใยแสง ด้วยเหตุนี้เพื่อที่จะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับแสงเข้ากับเส้นใยแสง จะต้องทำให้อุปกรณ์รับแสงอยู่ใกล้กับปลายของเส้นใยแสงให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ หรือไม้อย่างนั้นก็ต้องทำอุปกรณ์รับแสงให้พื้นที่รับแสงโตมาก เส้นผ่าศูนย์กลางการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงที่ทำงานด้วยความเร็วสูงนั้น โดยทั่วไปต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ $100\ \mu\text{m}$ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการรวมแสงให้แก่ด้านรับแสงโดยใช้ ROD LENS (เลนส์ที่มีลักษณะเป็นแท่งกลมยาว) ไปวางไว้ข้างหน้าอุปกรณ์รับแสง เพื่อทำหน้าที่รวมแสงที่ปล่อยออกมาจากเส้นใยแสงให้ด้านรับแสง ของอุปกรณ์ ROD LENS และอุปกรณ์รับแสงที่ประกอบเป็นชิ้นเดียวกันนี้เรียกว่า โมดูล อุปกรณ์รับแสง (MODULE) ตัวอย่างโครงสร้างภายในของ MODULE นี้แสดงดังรูป 6-19 และตัวอย่างของ PIN-PD MODULE และ APD MODULE แสดงดังรูป 6-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-19 แสดงตัวอย่าง โครงสร้างภายในของ APD-MODULE



รูปที่ 6-20 แสดง PIN-PD MODULE และ APD MODULE

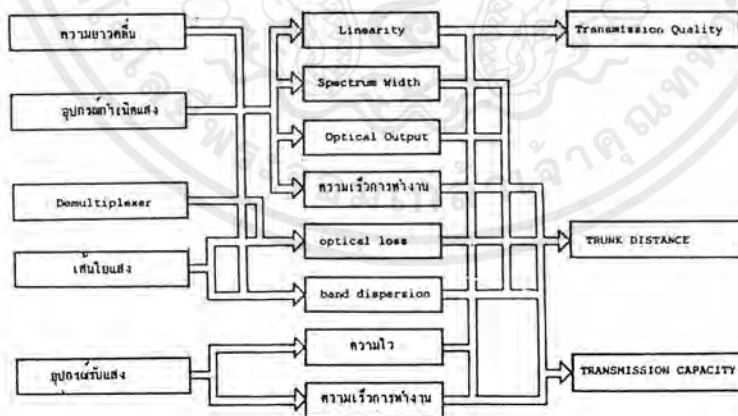
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 การออกแบบระบบ

โดยทั่วไปแล้ว เงื่อนไขความต้องการที่เป็นหลักเบื้องต้นในการออกแบบระบบการส่ง ได้แก่ คุณภาพการส่ง ความจุในการส่ง (วิธีการทำ MULTIPLEX) ระยะทางของ REPEATER

7.1 องค์ประกอบพื้นฐาน (BASIC FACTOR)

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง จากความต้องการของระบบได้แก่ คุณภาพการส่งระยะทางของ REPEATER ความจุในการส่งสิ่งเหล่านี้จะเป็นไปได้ขึ้นกับการเลือก ความยาวคลื่น เส้นใยแสง อุปกรณ์รับแสง และ OPTICAL MULTIPLEXER, DEMULTIPLEXER วิธีคิดในการเลือกองค์ประกอบเหล่านี้ แสดงดังรูปที่ 7-1 นั่นคือความยาวคลื่นแสงที่ใช้กำหนด จากสารของอุปกรณ์กำเนิดแสงและรับแสง แต่ทว่าสาเหตุที่มีผลอย่างมากในการกำหนด ความยาวคลื่น ได้แก่การสูญเสียของเส้นใยแสง และคุณสมบัติการกระจาย เกี่ยวกับอุปกรณ์ กำเนิดแสง สาเหตุสำคัญในการออกแบบคือ LINEARITY ของคุณสมบัติการผสม (MODULATION) ความกว้างของ SPECTRUM, OUTPUT POWER และความเร็วในการตอบสนองของควมถี่ และเกี่ยวกับอุปกรณ์รับแสง สาเหตุสำคัญในการออกแบบคือ ความไวในการรับแสง ความเร็วในการตอบสนองของควมถี่ ในกรณีที่ใช้ระบบ WAVE LENGTH DIVISION MULTIPLEXER นั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงผล INSERTION LOSS ของ OPTICAL MULTIPLEXER ,DEMULTIPLEXER



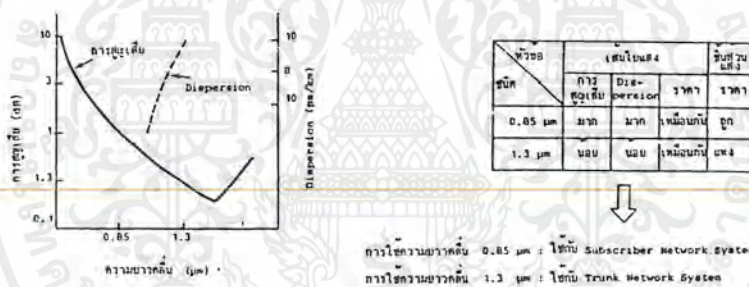
รูปที่ 7-1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

นอกจากนั้น เกี่ยวกับเส้นใยแสง จะต้องเลือกการสูญเสีย และคุณสมบัติการกระจาย (DISPERSION) ให้เหมาะสม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ความยาวคลื่น

ความยาวคลื่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีความยาวคลื่นแสง $0.85 \mu\text{m}$ ซึ่งเรียกว่า ความยาวคลื่นสั้น กับความยาวคลื่นแสง $1.3 \mu\text{m}$ ซึ่งเรียกว่า ความยาวคลื่นยาวแต่คุณสมบัติของเส้นใยแสงนั้น ถ้าหากสังเกตการสูญเสีย-การส่ง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการกำหนดระยะทางของ REPEATER และคุณสมบัติการ กระจาย แล้วจะเห็นว่าความยาวคลื่นแสง $1.3 \mu\text{m}$ มีคุณสมบัติดีกว่า ดังแสดงในรูปที่ 7-2 แต่ทว่าในปัจจุบันราคาของชิ้นส่วนอุปกรณ์แสงที่ใช้กับความยาวคลื่นแสงนี้มีราคาแพงมาก ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วความยาวคลื่นแสง $0.85 \mu\text{m}$ เหมาะที่จะใช้กับระยะทางสั้น ๆ และระบบข่ายสายที่มีการส่งด้วยความเร็วต่ำ ส่วนความยาวคลื่นแสง $1.3 \mu\text{m}$ ส่วนใหญ่เหมาะแก่การใช้งานกับระยะทางปานกลาง และระบบข่ายสาย REPEATER ที่มีการส่งด้วยความเร็วสูงในอนาคต ความยาวคลื่นแสง $1.3 \mu\text{m}$ จะมีการใช้งานมาก นอกจากนั้นในอนาคตอันใกล้จะมีการนำความยาวคลื่นแสง $1.55 \mu\text{m}$ มาใช้งานด้วยเพราะมีคุณสมบัติการสูญเสียในเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้วต่ำมาก

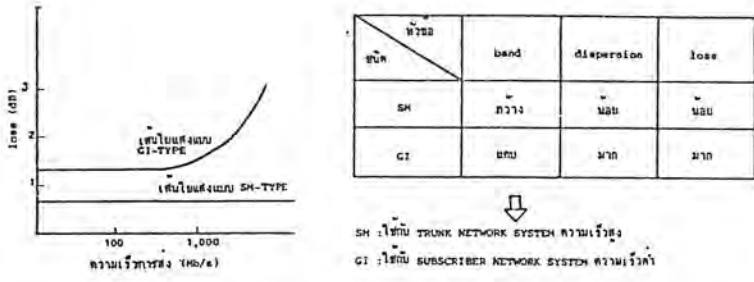


รูปที่ 7-2 การเลือกความยาวคลื่นแสง

(2) เส้นใยแสง

สำหรับเส้นใยแสงแบบ SM-type และ GI-type คุณสมบัติของมันแสดงดังรูปที่ 7-3 จะเห็นว่า SM-type ดีกว่า GI-type ทั้งด้านการสูญเสีย และ BAND WIDTH แต่เกี่ยวกับราคานั้นตามคุณสมบัติแล้ว GI-type ราคาถูกกว่า ดังนั้น SM-type จึงเหมาะแก่ระบบข่ายสาย REPEATE ที่มีความเร็วสูง ซึ่งต้องการ BAND WIDTH กว้าง และการสูญเสียต่ำส่งได้มาก (LARGE CAPACITY) ในอนาคตจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการผลิต เส้นใยแสงคาดว่า จะทำให้ SM-type มีขอบเขตการใช้งานกว้างขวางต่อไปอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-3 การเลือกใช้เส้นใยแสง

(3) อุปกรณ์กำเนิดแสง

เกี่ยวกับอุปกรณ์กำเนิดแสง ส่วนใหญ่ของคุณสมบัติของมันแสดงดังรูปที่ 7-4 จะเห็นว่า LD นั้นดีกว่า LED แต่ในด้านของราคา ของคุณสมบัตการผสม นั้น LED ดีกว่า LD ดังนั้นโดยทั่วไปแล้ว LD มีเอ๊าท์พุทสูง SPECTRUM แคบ และการตอบสนองความถี่เร็ว ทำให้สามารถได้ระยะทาง REPEATER ยาว และ BAND WIDTH กว้าง จึงเหมาะแก่ระบบการส่ง ดิจิตอลของข่ายสาย REPEATER ที่มีความเร็วสูง อื่นส่วน LED นั้นเหมาะแก่ระบบการส่งอนาลอก และระบบข่ายสายผู้ใช้ (SUBSCRIBER NETWORK SYSTEM) ที่มีความเร็วต่ำ สำหรับการเลือก LD และ LED นั้นความเชื่อถือได้ (RELIABILITY) เป็นสาเหตุใหญ่ที่ต้องคำนึงถึงแต่ปัจจุบัน LD ก็มีความมั่นคง (STABILITY) ดี คือมีค่า MTBF (MEAN TIME BETWEEN FAILURE เป็นเวลาเฉลี่ยจากการขัดข้องครั้งแรกไปจนถึงการขัดข้องต่อไป) มากกว่าสองแสนชั่วโมง ทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงความแตกต่างของ RELIABILITY ของ LD และ LED ด้วยเหตุนี้ในอนาคต LD จะมีบทบาทการนำไปใช้งานในทุกด้าน

ชนิด	หัวข้อ	Optical Output	Spectrum Width	Linearity	ความเร็วการทำงาน	ราคา
LD		มาก	แคบ	ดี	เร็ว	แพง
LED		น้อย	กว้าง	ดี	เร็ว	ถูก

LD : ใช้กับ TRUNK NETWORK SYSTEM, ความเร็วสูง, Digital Transmission
 LED : ใช้กับ SUBSCRIBER NETWORK SYSTEM, ความเร็วต่ำ, Analog Transmission

รูปที่ 7-4 การเลือกอุปกรณ์กำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) อุปกรณ์รับแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสง มีให้เลือก 2 ชนิดคือ APD กับ PD ทั้ง APD และ PD จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติและราคา ก่อน แล้วจึงเลือกเช่นเดียวกันกับกรณีของอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือเนื่องจาก APD มีความเร็วการตอบสนองสูง, ความไวสูง ดังแสดงในรูปที่ 7-5 จึงเหมาะแก่ระบบข่ายสาย REPEATER ที่มีความเร็วสูงเช่นเดียวกับ LD ส่วน PD นั้นเหมาะแก่ ระบบข่ายสายผู้ใช้ที่มีความเร็วต่ำ

ชนิด \ หัวข้อ	ความเร็วการทำงาน	ความไว	ราคา
APD	เร็ว	ดี	แพง
PD	ช้า	พอสมควร	ถูก

APD : ใช้กับ TRUNK NETWORK SYSTEM, ความเร็วสูง

PD : ใช้กับ SUBSCRIBER NETWORK SYSTEM, ความเร็วต่ำ

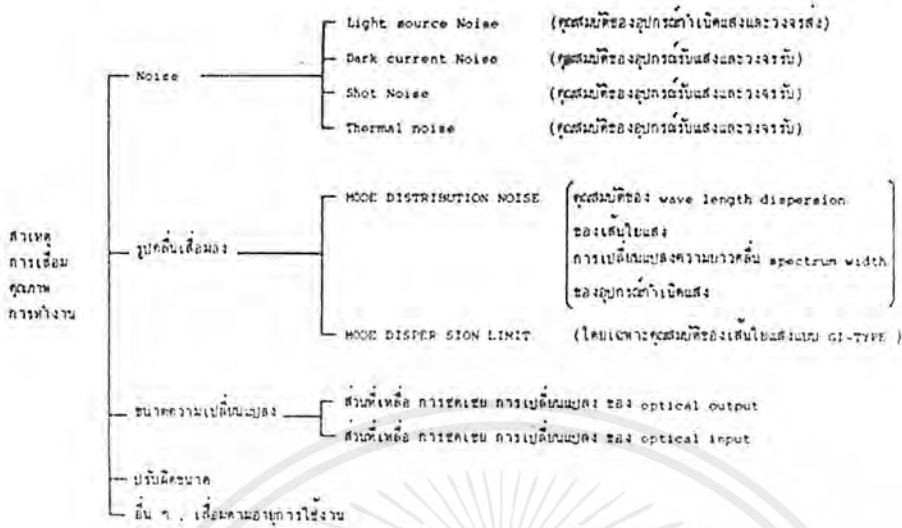
รูปที่ 7-5 การเลือกอุปกรณ์รับแสง

(5) สัญญาณแสง และสัญญาณรบกวน (NOISE)

สัญญาณแสงที่ปล่อยออกมานั้นในระหว่างที่มันเดินทางในเส้นใยแสง มันจะลดขนาดลง และรูปร่างของคลื่นจะเกิดการเพี้ยนไป นอกจากนั้นภายหลังจากเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าแล้ว ยังได้รับผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากชิ้นส่วนของวงจรไฟฟ้าอีกด้วย ดังนั้นเมื่อการเพี้ยนของสัญญาณแสงนี้ และผลของสัญญาณรบกวนมีมากเกินไป จะทำให้ข่าวสารเดิมเสียไป ผลก็คือ ทำให้ไม่สามารถได้คุณภาพของการส่งตามต้องการซึ่งเป็นเงื่อนไขหลักที่สำคัญ มากในการออกแบบระบบการส่ง ดังนั้นความสัมพันธ์ของสัญญาณที่จะต้องส่งออกไป กับสาเหตุที่ทำให้คุณภาพการส่งเลวลงนี้ จึงเป็นสาเหตุที่สำคัญที่จะกำหนดประสิทธิภาพของระบบ จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสิ่งทั้งสองเป็นอย่างดี และนำมาพิจารณาในการออกแบบระบบ

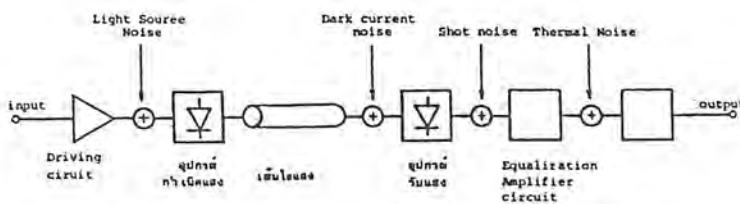
สาเหตุสำคัญ ๆ ที่ทำให้คุณภาพการส่งเลวลงในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง แสดงดังรูปที่ 7-6 สาเหตุเหล่านี้แบ่งออกเป็น สัญญาณรบกวน, การเพี้ยนของรูปสัญญาณ, การเปลี่ยนแปลงของขนาด, ความผิดพลาดในการปรับของวงจรไฟฟ้าแต่ละชนิด(เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณของ EQUALIZATION AMPLIFIER, ความผิดพลาดในการกำหนดระดับมาตรฐาน เพื่อทำการแบ่งแยก PULSE เป็นต้น) และการเสื่อมตามเวลาการใช้งานของคุณสมบัติแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-6 สาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพการส่งเลดงในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

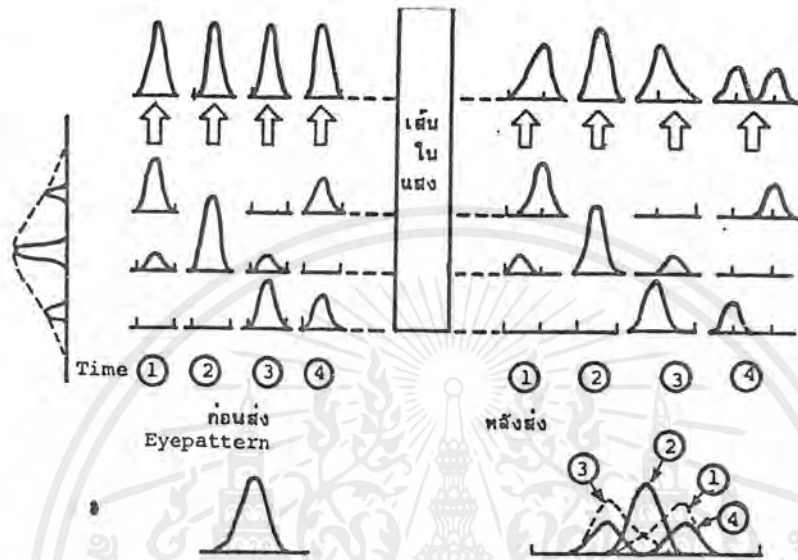
ในสาเหตุเหล่านี้ สัญญาณการรบกวน แบ่งออกเป็น LIGHT SOURCE NOISE ซึ่งมีอยู่ในตัวของสัญญาณไฟฟ้าที่มำป้อนให้แก่อุปกรณ์กำเนิดแสง, DARK CURRENT NOISE เป็นสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากการไหลของ DARK CURRENT ในอุปกรณ์รับแสงในกรณีที่ไม่มีการรับแสงเข้ามา, SHOT NOISE ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเวลาของสัญญาณแสงที่เข้ามาและ THERMAL NOISE MODEL ของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงที่แสดงการเกิดสัญญาณรบกวนเหล่านี้แสดงดังรูปที่ 7-7 นอกจากนี้สาเหตุส่วนใหญ่ของการเพี้ยนของรูปสัญญาณก็คือ ขีดจำกัดทาง BAND WIDTH ของเส้นใยแสง กรณีของเส้นใยแสงแบบ GI-TYPE นั้นมีสาเหตุมาจาก MODE DISPERSION เมื่อใช้เส้นใยแสงแบบ SM-TYPE จะมีสาเหตุเกิดจาก MODE DISTRIBUTION NOISE, MODE DISTRIBUTION NOISE หมายถึงสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก WAVE LENGTH DISPERSION ของเส้นใยแสงและการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของ SPECTRUM ของอุปกรณ์กำเนิดแสง ดังรูปที่ 7-8



รูปที่ 7-7 แบบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงที่แสดงการเกิดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ MODE DISTRIBUTION NOISE นั้น เนื่องจากมันขึ้นอยู่กับความเร็วของการส่ง และความเร็วของระยะทางของ REPEATER ดังนั้นที่ความเร็วของการส่งเกินกว่าหลายร้อย M bit/sec จำเป็นต้องระมัดระวังอย่างมากเกี่ยวกับระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงที่มีระยะทางการส่งของ REPEATER ยาว



รูปที่ 7-8 การเพี้ยนของรูปสัญญาณอันเนื่องมาจาก MODE DISTRIBUTION NOISE

โดยทั่วไปอัตราส่วนของสัญญาณกับสัญญาณรบกวนเรียกว่า อัตราส่วน S/N การออกแบบค่า S/N นี้เป็นหลักการของการออกแบบระบบ การเพี้ยนของรูปสัญญาณ กับการเปลี่ยนแปลงของขนาดของสัญญาณ ถือได้ว่ามาจากส่วนเปลี่ยนแปลงของ OUTPUT POWER ของการส่ง (สามารถพิจารณาการเลวลงของสิ่งเหล่านี้จาก ระดับของสัญญาณ S) นอกจากนั้น LIGHT SOURCE NOISE และ DARK CURRENT เป็นสิ่งที่กำหนดจาก ส่วนประกอบของวงจรรับ, วิธีการผสม, สารของอุปกรณ์รับแสง และสามารถจัดส่วนที่เลวลง ของ S/N ซึ่งคงที่อยู่ ค่าหนึ่งได้ เช่นเดียวกันกับ ความผิดพลาดในการปรับของวงจรไฟฟ้าแต่ละชนิด อัตราส่วน S/N ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{S}{N} = \frac{I_r M^2}{2e I_r M (2 + F) B + 4nkTB/R}$$

ในที่นี้

- e : ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน (1.6×10^{-10} coulomb)
- I_r : optical current
- K : Boltzman constant (1.38×10^{-23} Joule/K)

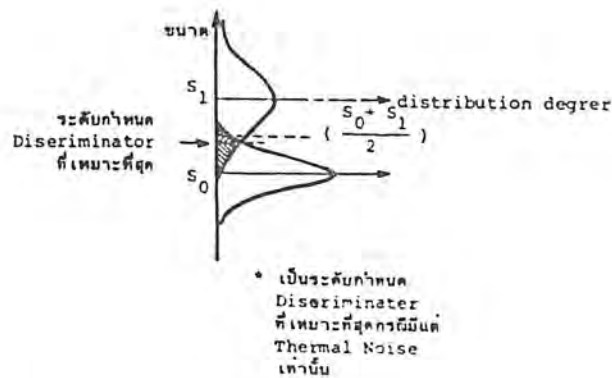
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T	:	Absolute Temperature
B	:	band width ของด้านรับที่รวมทั้ง Equalizer
R	:	ความต้านทานโหลดของอุปกรณ์รับแสง
n	:	Noise Figure ของ Amplifier
M	:	อัตราขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง
F	:	Excess Noise Figure ของอุปกรณ์รับแสง

เทอมที่หนึ่งของส่วนหมายถึง SHOT NOISE ที่เกิดในอุปกรณ์รับแสงและเป็นสัดส่วนกับกำลังของแสงที่เข้ามา, อัตราขยายของอุปกรณ์รับแสง และ BAND WIDTH ของทางด้านรับ เทอมที่สองของส่วนเป็น THERMAL NOISE ที่เกิดใน Amplifier SHOT NOISE เป็นการเปลี่ยนแปลงของกระแสของแสงที่รับเข้ามา ที่เกิดจากอุปกรณ์รับแสงปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ไม่สม่ำเสมอเป็นระเบียบ ดังนั้น SHOT NOISE นี้ จะเกิดเฉพาะตอนที่รับ OPTICAL PULSE เข้ามา เท่านั้น M เป็นการแสดงผลการขยายกระแสใน APD และ NOISE ก็ถูกขยายด้วยเช่นเดียวกัน ยิ่งกว่านั้นการขยายหรือการทวีคูณ AVALANCHE (AVALANCHE MULTIPLICATION) เกิดจากรวมตัวกันเป็น IONIZATION ของอิเล็กตรอนกับโฮล ในสารกึ่งตัวนำ และเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า จะต้องมีส่วนที่ไม่เป็นระเบียบทางเวลา และทางระยะทาง ความไม่เป็นระเบียบนี้กลายเป็นสัญญาณรบกวน ส่วนประกอบสัญญาณรบกวนนี้ไม่เกี่ยวกับสัญญาณ ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกเป็นพิเศษต่างออกไปว่า Excess Noise Figure (ตัวเลขแสดงสัญญาณรบกวนส่วนเกิน) ใช้สัญลักษณ์ F สำหรับ APD ที่ผลิตจากสาร Si ที่ใช้กันทั่วไปนั้น F จะมีค่าประมาณ 0.3 และสำหรับ APD ที่ผลิตจากสาร Ge นั้น F มีค่าประมาณ 1 จากสมการของอัตราส่วน S/N เมื่อทำให้กำลังของแสงที่รับเข้ามามีค่าคงที่ (I_r คงที่) จะเห็นว่าจากความสัมพันธ์ของ SHOT NOISE กับ THERMAL NOISE นั้นมีค่าเหมาะสมที่สุดของ M ที่จะทำให้ค่า S/N มีค่าสูงสุด และปกติค่าของ M มีค่าประมาณ 10 – 100

เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของ S/N กับ CODE ERROR RATE ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้น จะแตกต่างกับกรณีของระบบการส่งที่ใช้สายโลหะ (Metallic Transmission System) ซึ่งมีแต่เฉพาะ Thermal Noise (N) เท่านั้น

เนื่องจาก SHOT NOISE ขึ้นอยู่กับกำลังของแสงที่รับเข้ามา ดังนั้น NOISE POWER ทั้งหมดจะแตกต่างกันทุกขณะตาม Optical pulse ว่ามีหรือไม่มีลักษณะการกระจายของ NOISE แสดงดังรูปที่ 7-9 จะเห็นว่ากรณีที่มี pulse (Si) จะขยายออกไปเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มี pulse (SQ.)

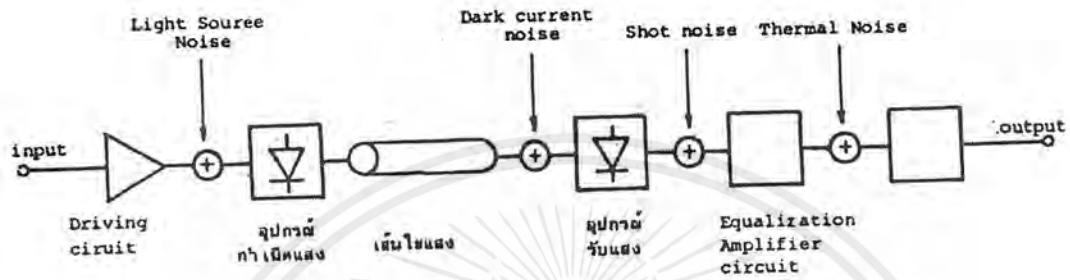


รูปที่ 7-9 แสดง ERROR RATE และค่าพิจารณาแบ่งแยก PULSE

จากรูปที่ 7-9 จะเห็นว่าระดับค่าพิจารณา แบ่งแยก Pulse ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ CODE ERROR RATE ต่ำที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าที่เหมาะสม $(S_1 + S_0)/2$ ของกรณีที่มีเฉพาะ Thermal noise อันนี้เป็นลักษณะพิเศษของการออกแบบ S/N ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงจุดที่จำเป็นต้องระวัง คือ BAND WIDTH ของ EQUALIZER, optical pulse ในการส่งแบบ digital นั้นมีส่วนของความถี่ เป็นจำนวนมากมายถึงอนันต์ แต่ทว่าเนื่องจากเส้นใยแสงมี BAND WIDTH กว้างแม้ระดับของสัญญาณจะต่ำแต่การเพี้ยนของรูปคลื่นไม่ค่อยจะเกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ดีในการสร้าง EQUALIZER นั้นถ้าหาก BAND WIDTH ของ EQUALIZER และมีการใช้ EQUALIZER ที่มีคุณสมบัติของ EQUALIZATION BAND WIDTH ดีเยี่ยมเช่น Full Cosine Roll-off Type , Gauss-Type และอื่น ๆ ที่รู้จักกันดีเพื่อทำการปรับปรุง S/N ให้ดีขึ้น

บทที่ 8 วงจรภาคส่ง และ ภาครับ

ในการออกแบบวงจรการทำงานของระบบโครงงานนี้ในส่วนของภาครับและภาคส่งซึ่งได้แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมอย่างคร่าว ๆ ได้ดังรูป ที่ 8-1



รูป 6-1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบทั้งหมด

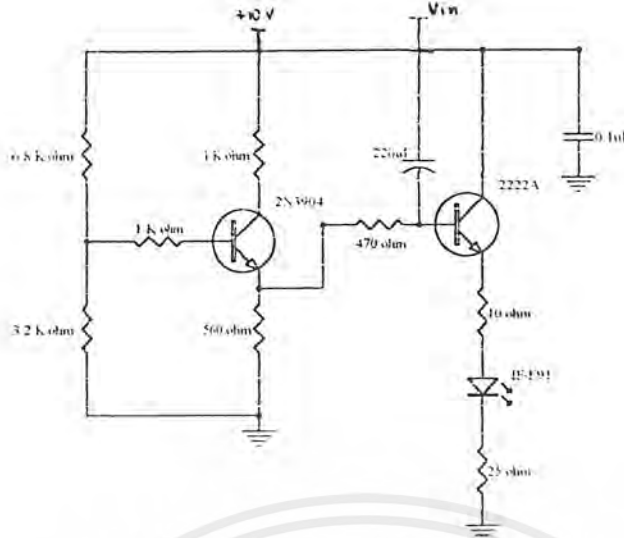
8.1 ภาคส่งสัญญาณ

จากที่ได้แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมไว้แล้วนั้นสามารถอธิบายหลักการการทำงานของระบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

8.1.1 วงจรขับสัญญาณแสง (driver circuit)

เป็นส่วนที่ส่งสัญญาณข้อมูลที่ต้องการเข้าไปในเส้นใยนำแสงโดยผ่านโฟโตไดโอดโดยให้ความเข้มของกระแสเป็นตัวกำหนดความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งกระแสที่ใช้ขับโฟโตไดโอดจะอยู่ในช่วง 30-50 มิลลิแอมป์ เนื่องจากว่าในช่วงนี้กระแสที่ใช้ขับโฟโตไดโอดจะเป็นเชิงเส้นกับกำลังแสงที่ออกจากโฟโตไดโอด และให้กำลังทางแสงออกมาได้มากโดยรูปวงจรถอดดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-2 แสดงวงจรรับสัญญาณ

ในที่นี้เราใช้โฟโตไดโอดแบบอินฟราเรดเบอร์ IF-E91 และจากโฟโตไดโอดแบบอินฟราเรดตัวนี้จะมีช่วงใช้งานในย่านความยาวคลื่น 888 นาโนเมตร มีกำลังส่งที่สูงและสามารถใช้กับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้ดี

วงจรรขยายที่ใช้เป็นวงจรรขยายกระแสแบบ Common Collector ซึ่งเป็นวงจรรขยายกระแสที่สูงโดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงอัตราขยายแรงดันทางเอาท์พุท เท่าใดนักส่วนทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222A เพราะสามารถตอบสนองความถี่ได้ถึง 400 MHz และให้กระแสคอลเลคเตอร์ได้สูงถึง 400 มิลลิแอมป์ วงจรภาคแรกคือ วงจรรขยายที่สามารถปรับเปลี่ยนกระแสไบแอสเบสได้จาก R_B และ R_{B2} ทำให้กระแสอิ่มตัว I_{E1} ที่ควบคุมกระแสเบส I_{B2} เปลี่ยนซึ่งทำให้ระดับของกระแส I_{dc} (I_{B2}) ที่ไบแอสโฟโตไดโอดเปลี่ยนแปลงได้

8.2 ภาครับสัญญาณแสง

8.2.1 วงจรรรับสัญญาณแสง

วงจรรรับสัญญาณแสงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ตัวรับแสงจำเป็นต้องมีความไวต่อสัญญาณแสงเพียงพอ

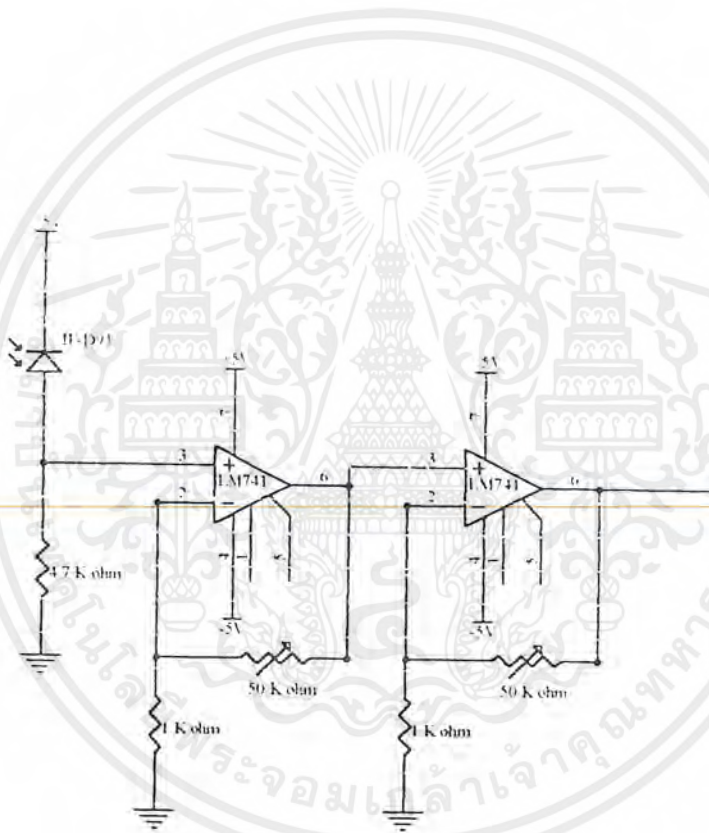
2. ตัวรับสัญญาณแสงสามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้โดยไม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดความเพี้ยนของสัญญาณ

3. วงจรรับสัญญาณควมมีสัญญาณรบกวนที่ต่ำ

ในการรับสัญญาณแสงจะใช้ตัวรับสัญญาณแบบโฟโตไดโอดเบอร์ IF-D91 เนื่องจากโฟโตไดโอดตัวนี้มีความตอบสนองต่อสัญญาณแสงได้ดีโดยมีย่านการทำงานในช่วงอินฟราเรด ที่มีค่าความยาวคลื่นประมาณ 850 นาโนเมตร และมีความเป็นเชิงเส้นสูง และสามารถใช้กับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้โดยรูปวงจรรวบรวมรับสัญญาณแสงจะเป็นดังรูปที่ 8-3



รูปที่ 8-3 แสดงวงจรรับสัญญาณแสง

ในที่นี้จำเป็นต้องมีวงจรรวบรวมสัญญาณเพื่อที่จะขยายสัญญาณที่ได้จากโฟโตไดโอดให้มีขนาดที่เหมาะสมโดยวงจรรวบรวมสัญญาณที่ใช้จะต้องมีอัตราขยายที่สูง มีสัญญาณรบกวนที่ต่ำ และเกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อย ซึ่งในโครงงานนี้ใช้ออปแอมป์เบอร์ 741 เป็นตัวขยายสัญญาณทางไฟฟ้าโดยต่อวงจรเป็นแบบขยายไม่กลับเฟสและอัตราการขยายสามารถควบคุมได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้ $50\text{ k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

ผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

9.1 รูปสัญญาณที่ได้จากส่วนต่างๆ

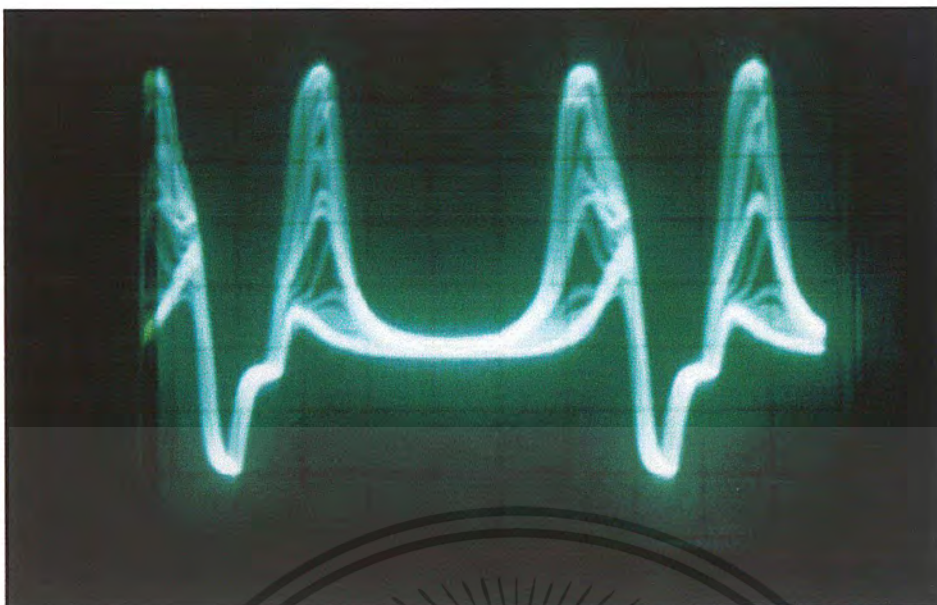
ประสิทธิภาพของชุดการส่งสัญญาณวีดิโอผ่านใยแก้วนำแสงแสดงได้จากรูปสัญญาณ โดยจะแสดงรูปสัญญาณในส่วนดังนี้

9.1.1 ส่วนสัญญาณอินพุท-เอาต์พุทและภาพของวัตถุสีดำ



รูปที่ 9-1 แสดงสัญญาณอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



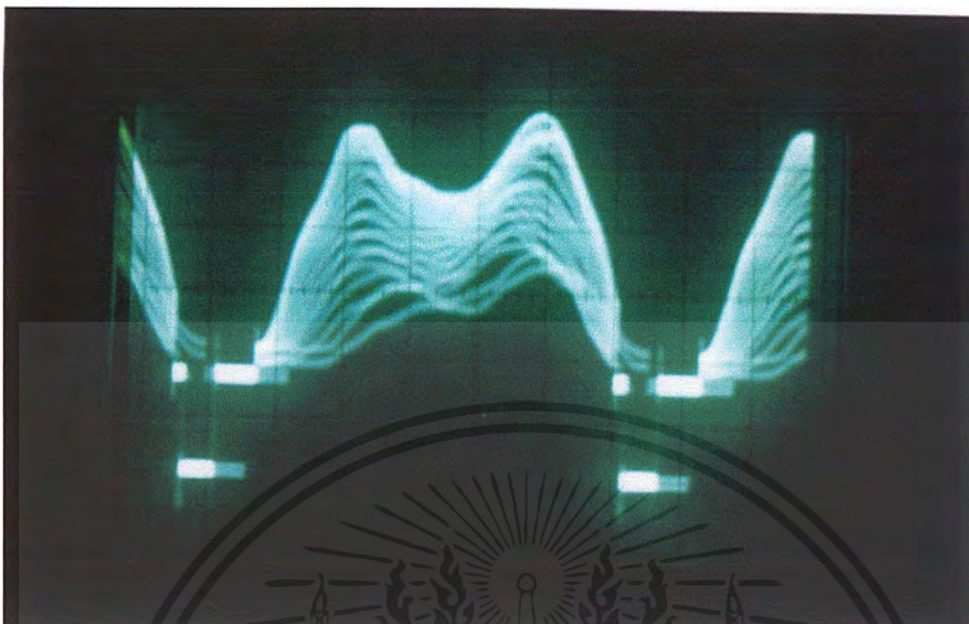
รูปที่ 9-2 แสดงสัญญาณเอาท์พุท



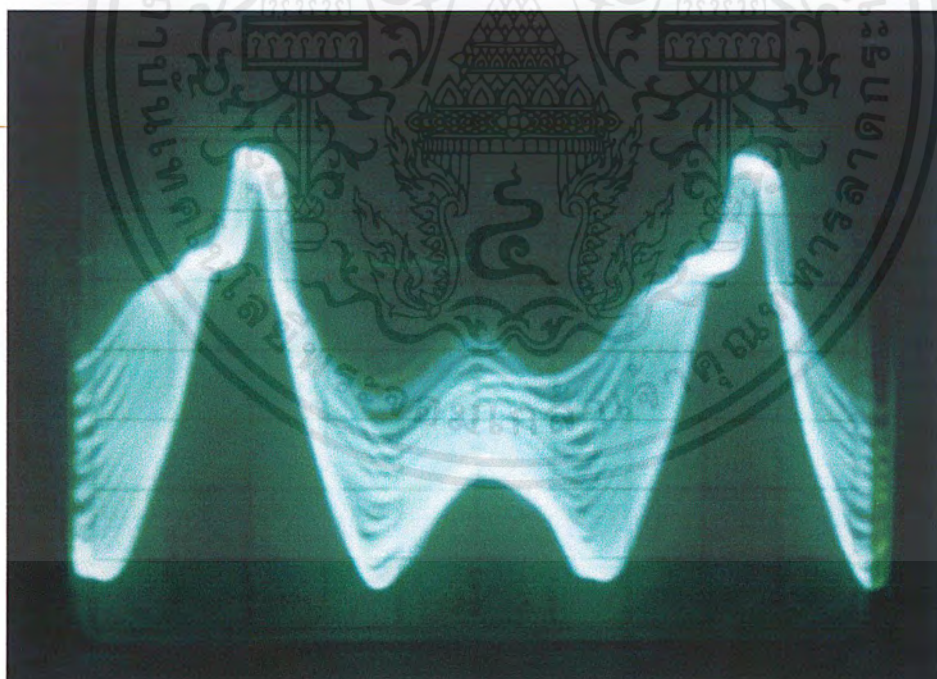
รูปที่ 9-3 แสดงภาพของวัตถุสีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.1.2 ส่วนสัญญาณอินพุท-เอาต์พุทและภาพของวัตถุสีขาว



รูปที่ 9-4 แสดงสัญญาณอินพุท



รูปที่ 9-5 แสดงสัญญาณเอาต์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9-6 แสดงภาพของวัตถุสีขาว

9.1.3 ลักษณะภายนอกของโครงงานพิเศษ



รูปที่ 9-7 แสดงภาพลักษณะภายนอกของชุดโครงงานพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.2 ปัญหาในการทำโครงการพิเศษ

ในระหว่างการทำโครงการพิเศษนี้ได้พบปัญหาและข้อผิดพลาดซึ่งได้ทำการแก้ปัญหาและข้อผิดพลาดและได้ทำการสรุปไว้ดังนี้

9.2.1 การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงเข้ากับวงจรรีบและวงจรรีบ

ปัญหาที่ไม่ได้ภาพสัญญาณที่ชัดเจนเนื่องจาก หน้าตัดของเส้นใยนำแสงไม่เรียบและ การทำมุมหน้าตัดของเส้นใยนำแสงกับตัวส่งสัญญาณแสง LED และตัวรับสัญญาณแสง photo diode เราแก้ไขได้โดยการใช้กระดาษทรายน้ำเบอร์ 2000 ขัดที่หน้าตัดของเส้นใยนำแสง

9.2.2 วงจรรีบส่ง

ตัวของวงจรรีบและส่งทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ ของวงจร

9.2.3 ระยะของเส้นใยนำแสง

เนื่องจากความยาวของเส้นใยนำแสงมากเกินไปกำลังส่งของวงจรทำให้ได้สัญญาณภาพที่ไม่ชัดเจนเท่าที่พึงจะเป็น

แนวทางการพัฒนา

การส่งสัญญาณวีดีโอผ่านเส้นใยนำแสงสามารถที่จะนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในวง การสื่อสารของโลกได้เป็นอย่างดี ถ้ามีตัวรับตัวส่งสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงๆ จะทำให้ได้ข้อมูล สัญญาณภาพที่ชัดเจนเป็นอย่างยิ่ง การที่ส่งผ่านเส้นใยนำแสงมีข้อดีมากมาย เช่น ส่งสัญญาณ มากมายได้ในเวลาเดียวกันเพราะมีช่วงการทำงานกว้างและไม่ถูกรบกวนจากสนามแม่เหล็ก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



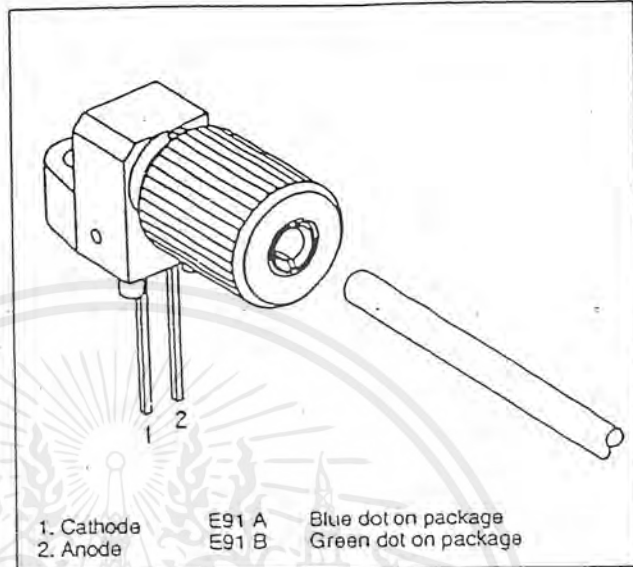
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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) $\leq 5s$	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/°C

	IF-E91A	IF-E91B
Forward Current, DC (I_F)	50 mA	100 mA
Surge Current (I_{FSM}) $t \leq 10 \mu\text{sec}$	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 ≤ 0.1 mm, 10 cm polished fiber, $I_F=100$ mA	Φ_{min}	50	100	μW
Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) ($R_L=47 \Omega$, $I_F=10$ mA)	t_r, t_f	1.0	0.5	μs
Capacitance	C_0	25	25	pF
Forward Voltage ($I_F=50$ mA)	V_f	1.5 max	1.7 max	V
Temperature Coefficient, λ_{PEAK}	TC_{λ}	0.3	0.3	nm/K



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

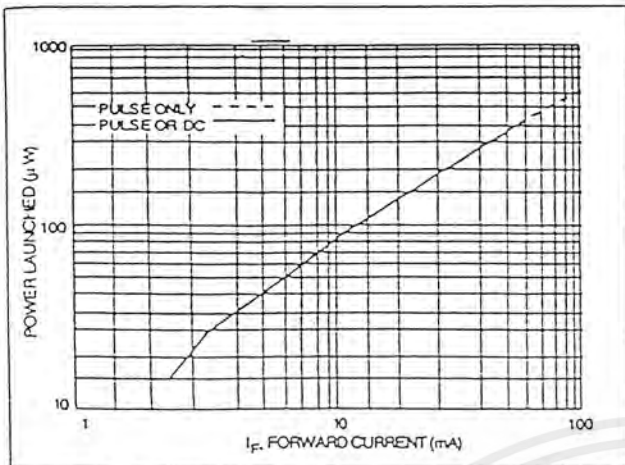


Figure 1. Normalized power launched versus forward current.

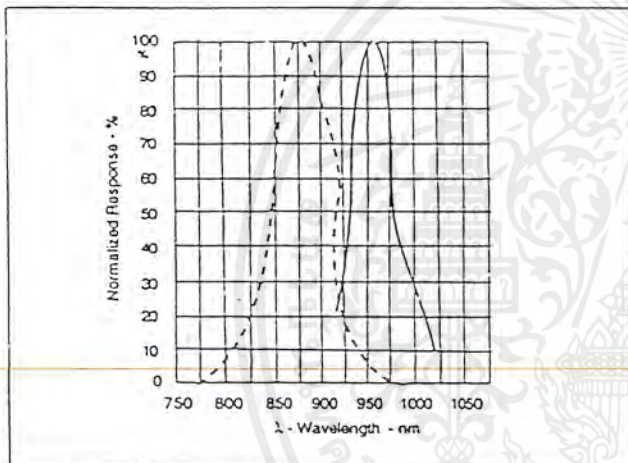
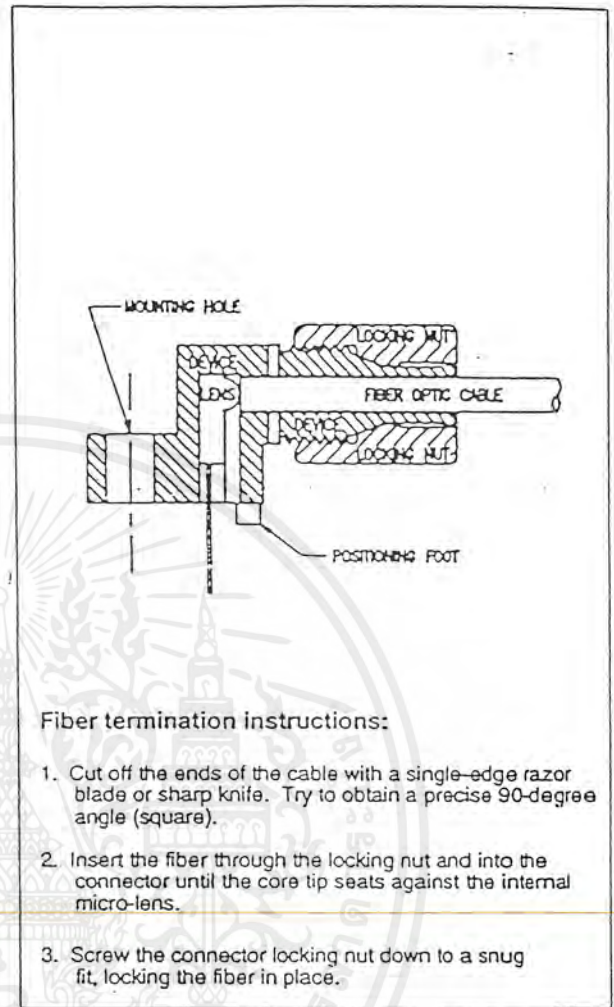


Figure 2. Typical spectral output versus wavelength.



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.

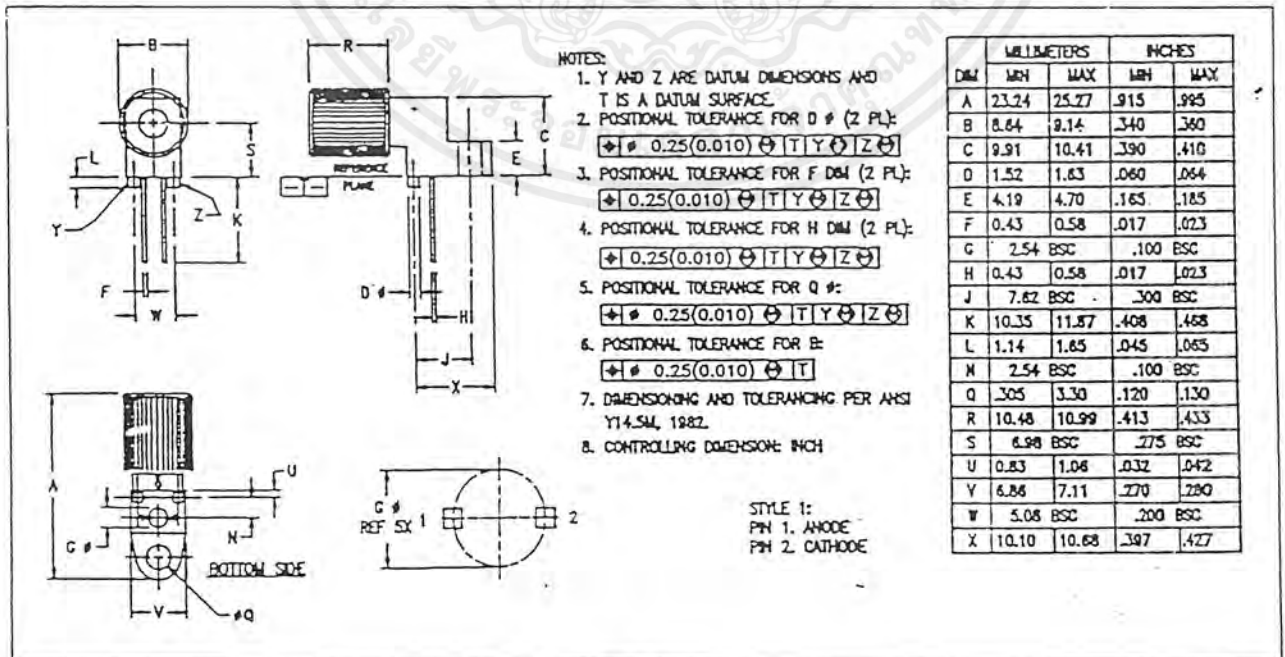


Figure 4. Case outline.

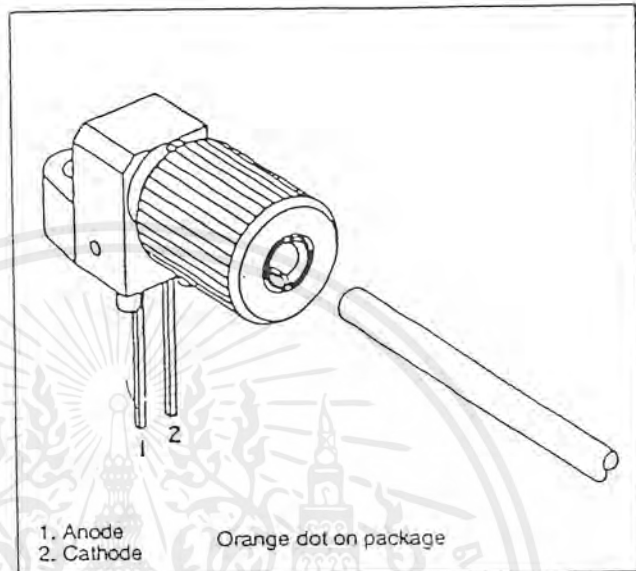
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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	R	0.4	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
@ 632 nm		0.2	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Dark Current ($V_R=30\text{ volts}, E_F=0$)	I_D	<60	nA
Reverse Breakdown Voltage	$V_{(BR)R}$	60	V
Forward Voltage	V_f	1.2	V

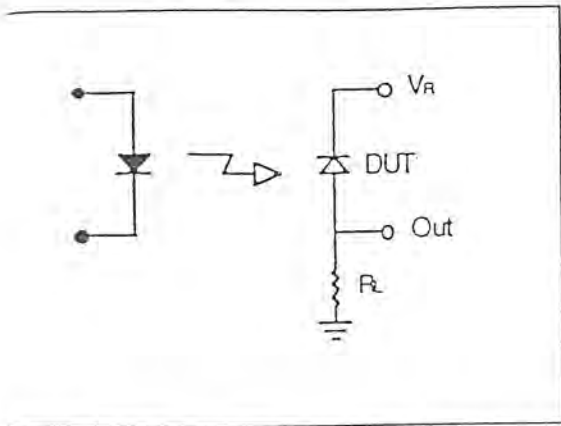


Figure 1. Circuit diagram for measuring rise and fall times.

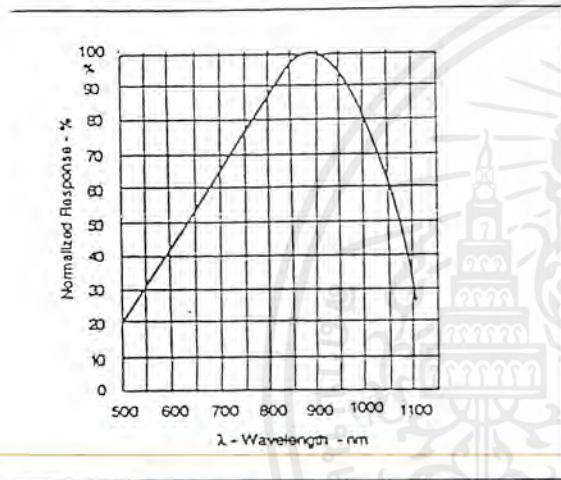
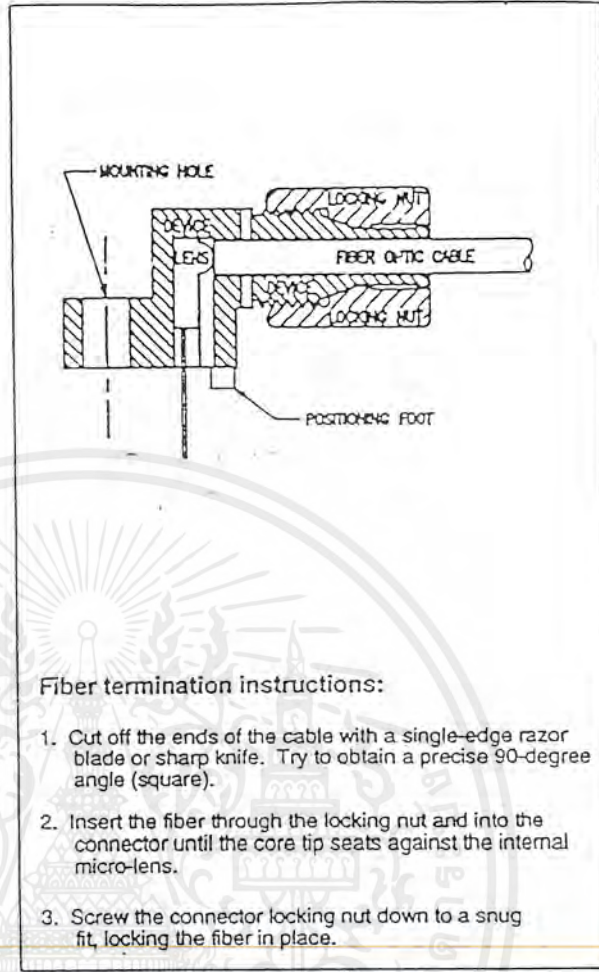


Figure 2. Typical detector response versus wavelength.



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.

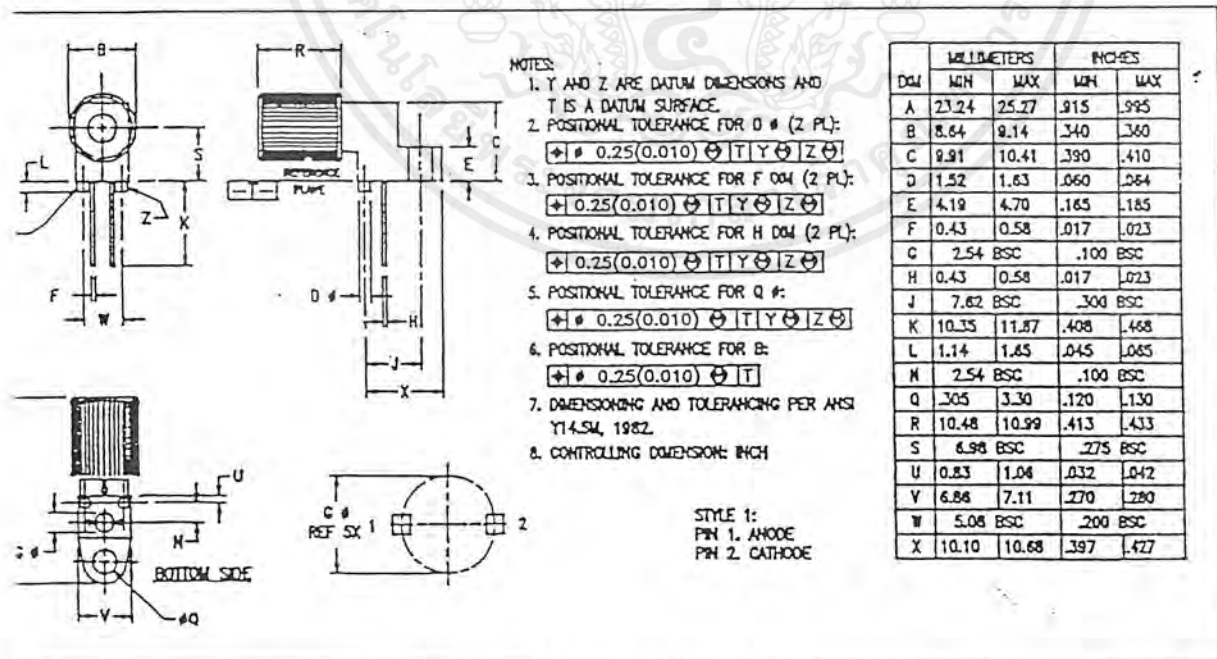


Figure 4. Case outline.

บรรณานุกรม

1. Henry Zanger, and Cynnthi Zanger, *Fiber Optic Communication and Other Application*, 1 st, Maxwell Macmillan
2. Joseph C. palaif, *Fiber Optic Communication*, 2 nd, ed, Pacici-hall, Inc, 1988
3. ปรีชา ยูพาพิน, *เครือข่ายใยแก้วนำแสง พิมพ์ครั้งที่ 1*, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร(1998)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้