สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด

นาย เฉลิมพล พรรโณภาศ

นาย อภิรักษ์ แซ่เตีย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43943
วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2545

.b.....
.i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Laser Diode Driver and Controller

Mr. Chalermpon Pannopas

Mr. Apirak Saetia

A Special Project Submitted in Partial Fulfilment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	วงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด
โดย	นาย เฉลิมพล พรรโณภาศ
	นาย อภิรักษ์ แซ่เตีย
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ปรีชา ยุพาพิน

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขออนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

(ผศ. วิชาญ เตชิตธีระ)

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

..... ประธานกรรมการ

(รศ.ดร. ปรีชา ยุพาพิน)

..... กรรมการ

(อ. สุรชาติ กมลดิลก)

..... กรรมการ

(อ. ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์)

..... กรรมการ

(อ. ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	วงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด
นักศึกษา	นาย เฉลิมพล พรรโณภาศ
	นาย อภิรักษ์ แซ่เตีย
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ปรีชา อุพาพิน
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด โดยกำหนดให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ขับเลเซอร์ไดโอดมีคุณสมบัติการทำงานดังนี้คือ เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีเสถียรภาพ สามารถปรับค่ากระแสที่จ่ายให้กับเลเซอร์ไดโอดตามต้องการได้ นอกจากนี้ยังสามารถผสมสัญญาณหรือมอดูเลตสัญญาณข้อมูลให้แก่เลเซอร์ไดโอดในช่วงความถี่ที่ต้องการได้ ให้มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยสร้างวงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอดให้อยู่ในรูปแบบของลายทองแดงที่มีขนาดกะทัดรัดและพัฒนานำไปประยุกต์ใช้กับงานสื่อสารทางแสงอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	A Laser Diode Driver and Controller
Name	Mr. Chalermpon Pannopas
	Mr. Apirak Saetia
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Dr. Preecha Yupapin
Department	Applied Physics
Academic Year	2001

Abstract

This special project is designed and constructed driver circuit and controller for a laser diode. A Laser diode driver circuit is a simple constant-current supply that is important feature including high stability , slow start circuit to unformly increase current level , current limit circuit that prevents the drive current from increasing above the allowable limit , control supply of current in the range of 0 tc 100 milliamperes , capability for modulation at variable frequency and low noise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์จากบุคคลและหน่วยงานหลายฝ่ายดังนี้

รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ยุพาพิน	ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวคิดในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้
Mr. Samuel Goldwasser (sam@repairfaq.org)	ผู้เชี่ยวชาญด้านเลเซอร์ ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงงานพิเศษนี้
บิดาและมารดา	ผู้ให้กำเนิด อบรมสั่งสอน และคอยให้กำลังใจในยามที่รู้สึกท้อแท้หมดหวัง
พี่ๆ ประจำห้องปฏิบัติการทางแสง ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์	ที่คอยช่วยเหลือและสนับสนุนเป็นอย่างดี สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้
เพื่อนๆ ชาวฟิสิกส์ประยุกต์รุ่นที่ 17 ทุกคน	ผู้คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกๆท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้ ทั้งที่ได้กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามด้วยความจริงใจอย่างที่สุด

คณะผู้จัดทำ
นาย เฉลิมพล พรรโณภาศ
นาย อภิรักษ์ แซ่เตีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงานพิเศษ	2
บทที่ 2 เลเซอร์ไดโอด	3
2.1 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอด	4
2.2 เลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อดับเบิลเฮเทโร (double heterojunction)	7
2.3 เลเซอร์ไดโอดโครงสร้างสไตรป์ (stripe) และรอยต่อแบบดับเบิลเฮเทโร	9
2.4 ลักษณะสมบัติของเลเซอร์ไดโอด	10
2.4.1 ความยาวคลื่นของแสงเอาต์พุต	10
2.4.2 ลักษณะสมบัติกำลังเอาต์พุตและกระแสไฟฟ้า	12
2.4.3 ลักษณะสมบัติของโหมดตามขวาง (Transverse Mode)	14
2.4.4 ลักษณะสมบัติของโหมดตามยาว (Longitudinal Mode)	15
2.5 เลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงที่ตามองเห็น	16
2.6 เลเซอร์ไดโอดชนิดเปล่งแสงจากผิวระนาบ	17
2.7 การขับเลเซอร์ไดโอด	18
2.7.1 การประวิงเวลาก่อนการเลซิง	18
2.7.2 อิทธิพลของอุณหภูมิ	19
2.7.3 อิทธิพลของการมอดูเลตเลเซอร์ไดโอด	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การใช้งานเลเซอร์ไดโอด	22
3.1 ข้อควรระวังเมื่อมีการสัมผัสเลเซอร์ไดโอด	22
3.1.1 การป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิต	22
3.1.2 ข้อควรระวังสำหรับวงจรขับเลเซอร์ไดโอด	23
3.1.3 การระบายความร้อน	24
3.1.4 สาเหตุอื่นๆ	26
3.2 เลเซอร์ไดโอดเกิดความเสียหาย	26
3.3 ลักษณะขาเลเซอร์ไดโอด	28
3.4 การใช้งานเลเซอร์ไดโอดอย่างปลอดภัย	31
3.5 การนำเลเซอร์ไดโอดไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ	32
3.6 วงจรขับเลเซอร์ไดโอด	33
3.7 การทำงานภายใต้โหมดกระแสคงที่	33
3.7.1 โหมดกระแสคงที่	33
3.7.2 โหมดกำลังแสงเอาท์พุทคงที่	34
บทที่ 4 การวิจัยและดำเนินงาน	35
4.1 ขั้นตอนในการวิจัยและดำเนินงาน	35
4.2 การออกแบบระบบ	35
4.3 การดำเนินงาน	36
4.3.1 เลเซอร์พอยน์เตอร์	37
4.3.2 วงจรขับเลเซอร์ไดโอด	38
4.4 ผลการทดลอง	41
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	53
5.1 สรุปผลการทดลอง	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	
ประวัติผู้จัดทำ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	ตารางดำเนินงานโครงงานพิเศษ	2
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าช่วงของกระแสเมื่อเปลี่ยนค่า R1 และ R2	39
ตารางที่ 4.2	ผลการวัดค่าคุณสมบัติของเลเซอร์พอยน์เตอร์ครั้งที่ 1	41
ตารางที่ 4.3	ผลการวัดค่าคุณสมบัติของเลเซอร์พอยน์เตอร์ครั้งที่ 2	44
ตารางที่ 4.4	ผลการวัดค่าคุณสมบัติของเลเซอร์พอยน์เตอร์ครั้งที่ 3	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของตัวถังเลเซอร์ไดโอด 3

รูปที่ 2.2 ลักษณะแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่โดปสารเจือปนด้วยความเข้มสูงมาก 4

รูปที่ 2.3 รอยต่อพีเอ็นที่โดปสารเจือปนด้วยความเข้มสูงมาก 5

รูปที่ 2.4 รอยต่อพีเอ็นที่กำเนิดแสงเลเซอร์ในเลเซอร์ไดโอด 5

รูปที่ 2.5 ลักษณะสมบัติความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและกระแสไฟฟ้า
ในเลเซอร์ไดโอด 6

รูปที่ 2.6 กลไกการเปล่งแสงเลเซอร์ในเลเซอร์ไดโอดยุคต้นๆ 6

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อดับเบิลเฮเทโร 8

รูปที่ 2.8 หลักการกักขังพาหะและการเปล่งแสงในเลเซอร์ 8

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการออกแบบแท่นระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์ไดโอด 9

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดแบบสไตร์ป (stripe) 9

รูปที่ 2.11 ภาพการเปล่งแสงที่มีโหมดแบบตามขวาง 10

รูปที่ 2.12 เปรียบเทียบการเกิดปรากฏการณ์ประชากรผกผันในกรณี
(ก) เลเซอร์ชนิดก๊าซ และ (ข) เลเซอร์ไดโอด 11

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างสเปกตรัมของแสงเลเซอร์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มกำลังเอาต์พุต
ทำให้สเปกตรัมเคลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น 11

รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวแลตทิชและช่องว่างพลังงานของ
สารประกอบกึ่งตัวนำต่างๆ 12

รูปที่ 2.15 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันของเลเซอร์ไดโอด 13

รูปที่ 2.16 ลักษณะสมบัติกำลังของเลเซอร์เอาต์พุตและกระแสที่ฉีดเข้าเลเซอร์ไดโอด 13

รูปที่ 2.17 การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนอันเนื่องจากอุณหภูมิ
ของเลเซอร์ไดโอด 13

รูปที่ 2.18 การออกแบบวิธีการควบคุมให้เอาต์พุตของแสงเลเซอร์คงที่ โดยการใช้
โฟโตไดโอดที่วางอยู่ใกล้เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสง
และป้อนข้อมูลไปปรับกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้าสู่เลเซอร์ไดโอด 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.19 การออกแบบวิธีการควบคุมให้เอาต์พุตของแสงเลเซอร์คงที่ โดยการใช้โฟโตไดโอดที่วางอยู่ใกล้เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสง และป้อนข้อมูลไปปรับกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้าสู่เลเซอร์ไดโอด 14

รูปที่ 2.20 วิธีการวัดภาพลำแสงเลเซอร์ (ก) แบบรูปสนามใกล้ (near field pattern) และ (ข) แบบรูปสนามไกล (far field pattern) 15

รูปที่ 2.21 สเปกตรัมของแสงเลเซอร์ที่มีโหมดแบบตามยาว (ก) มัลติโหมด และ (ข) ซิงเกิลโหมด 16

รูปที่ 2.22 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงจากผิวระนาบ 17

รูปที่ 2.23 (ก) ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของไดโอดเปล่งแสงและเลเซอร์ไดโอด
(ข) วงจรสมมูลการขับเลเซอร์ไดโอดมีการไบแอสกระแสไฟฟ้าเลี้ยง
(ค) การออกแบบการขับเลเซอร์ไดโอดแบบดิจิตัลและแอนะล็อก 18

รูปที่ 2.24 การเดินทางของแสงที่เกิดขึ้นในแคว้ดี้ของเลเซอร์ไดโอด 20

รูปที่ 2.25 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของแสงเอาต์พุตของเลเซอร์ไดโอด และความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อน
(ข) วงจรสมมูลที่ขับเลเซอร์ไดโอดด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่สูง 21

รูปที่ 3.1 แสดงการปฏิบัติงานเพื่อหลีกเลี่ยงผลจากไฟฟ้าสถิต 22

รูปที่ 3.2 วงจรที่ใช้ตรวจสอบการเสียหายของเลเซอร์ไดโอดอันเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิต 23

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างของผลการทดลองวัดการเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิต 23

รูปที่ 3.4 การใช้วงจรสโลว์สตาร์ทเตอร์(slow starter) เพื่อป้องกันการเสียหายของเลเซอร์ไดโอดอันเนื่องมาจากการเกิดขึ้นของกระแสอย่างทันทีทันใด 24

รูปที่ 3.5 แสดงอัตราสูงสุดของกำลังแสงและคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงแบบช่วงสั้น 24

รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างของชุดระบายความร้อนของเลเซอร์ไดโอด 25

รูปที่ 3.7 แสดงการติดตั้งชุดระบายความร้อนที่ถูกต้อง 26

รูปที่ 3.8 แสดงการลดลงของกำลังแสงที่ออกมาอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ซีโอดี 27

รูปที่ 3.9 แสดงศูนย์กลางของรูปแบบสนามใกล้บนผิวหน้าของชิพเลเซอร์ไดโอด
(a) ขณะเลเซอร์ไดโอดทำงานปกติ (b) หลังจากเกิดซีโอดี 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ออกมากับกระแสที่ใช้ขับเลเซอร์ไดโอด ของเลเซอร์ไดโอดที่ได้รับความเสียหาย 28

รูปที่ 3.11 แสดงรูปร่างแบบสนามไกลของการเสียหายของเลเซอร์ไดโอด 28

รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะตัวถังของเลเซอร์ไดโอด 29

รูปที่ 3.13 ลักษณะขาเลเซอร์ไดโอดแบบระบบจ่ายไฟเลี้ยงลบ 29

รูปที่ 3.14 ลักษณะขาเลเซอร์ไดโอดแบบระบบจ่ายไฟเลี้ยงบวก 30

รูปที่ 3.15 ลักษณะขาเลเซอร์ไดโอดแบบระบบจ่ายไฟเลี้ยงบวกและลบ 30

รูปที่ 3.16 ลักษณะขาเลเซอร์ไดโอดแบบระบบจ่ายบวกแบบไม่มีโฟโตไดโอด 30

รูปที่ 3.17 แสดงมุมของการปลดปล่อยของลำแสงเลเซอร์นั้นมีค่ามาก 31

รูปที่ 3.18 การใช้แว่นและฉากฟลูเรซเซนท์ (fluorescent screen) เพื่อป้องกันลำแสงเข้าสู่ดวงตา 31

รูปที่ 3.19 แสดงการนำเลเซอร์ไดโอดไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ 32

รูปที่ 4.1 แสดงระบบการทำงานของวงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด 35

รูปที่ 4.2 เลเซอร์พอยน์เตอร์ 37

รูปที่ 4.3 (ก) ภาพแสดงเลเซอร์พอยน์เตอร์ด้านข้าง และ(ข) ด้านหน้า 38

รูปที่ 4.4 โครงสร้างภายในของเลเซอร์พอยน์เตอร์ 38

รูปที่ 4.5 วงจรควบคุมกระแสแบบอัตโนมัติ (automatic current control circuit ; ACC) 39

รูปที่ 4.6 วงจรควบคุมกำลังแบบอัตโนมัติ(automatic power control circuit ; APC) 40

รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของผลการทดลองครั้งที่ 1 42

รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงที่ออกมาและกระแสของผลการทดลองครั้งที่ 1 42

รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมอนิเตอร์และกำลังแสงที่ออกมาของผลการทดลองครั้งที่ 1 43

รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของผลการทดลองครั้งที่ 2 45

รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงที่ออกมาและกระแสของผลการทดลองครั้งที่ 2 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมอนิเตอร์และกำลังแสงที่ออกมาของผลการทดลองครั้งที่ 2 46

รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของผลการทดลองครั้งที่ 3 48

รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงที่ออกมาและกระแสของผลการทดลองครั้งที่ 2 48

รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมอนิเตอร์และกำลังแสงที่ออกมาของผลการทดลองครั้งที่ 3 49

รูปที่ 4.16 สัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากตัวเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่ใช้ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ที่ความถี่ 200 Hz 50

รูปที่ 4.17 สัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากตัวเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่ใช้ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ที่ความถี่ 500 Hz 50

รูปที่ 4.18 สัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากตัวเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่ใช้ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ที่ความถี่ 1 KHz 51

รูปที่ 4.19 สัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากตัวเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่ใช้ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ที่ความถี่ 10 KHz 51

รูปที่ 4.20 สัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากตัวเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่ใช้ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ที่ความถี่ 20 KHz 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ วัตถุประสงค์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงานพิเศษ ซึ่งจะกล่าวเรียงตามลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันพบว่ามีงานทดลองและวิจัยเป็นจำนวนมากที่นำแสงเลเซอร์เป็นอุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการสื่อสารทางแสง แสงเลเซอร์นิยมใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงเนื่องจากแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติที่แสงทั่วไปไม่มีเช่น เป็นแสงที่มีคุณสมบัติอาพันธ์ เป็นต้น ในงานด้านการสื่อสารทางแสงนั้นจะใช้แสงเลเซอร์เป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลต่างๆ เพื่อให้การสื่อสารข้อมูลมีประสิทธิภาพ ต้องมีการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ขับลำแสงเลเซอร์ให้มีเสถียรภาพและมีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1) เพื่อออกแบบวงจรจ่ายกระแสใช้ขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีคุณสมบัติดังนี้
   1.1 สามารถปรับกระแสที่ใช้ขับเลเซอร์ไดโอด ให้คงที่ ในช่วงตั้งแต่ 0 – 100 มิลลิแอมแปร์ได้ ซึ่งความต้องการกระแสของเลเซอร์ไดโอด ขึ้นกับคุณลักษณะเฉพาะของเลเซอร์ไดโอด แต่ละตัวที่ผู้ผลิตระบุไว้
   1.2 มีวงจรจำกัดการไหลของกระแส (current limit) เพื่อป้องกันการเกิดโอเวอร์ไดรฟ์ (overdrive) แก่เลเซอร์ไดโอด ซึ่งอาจทำให้เลเซอร์ไดโอดเสียหายได้
   1.3 มีวงจรสโลว์สตาร์ทเตอร์ (slow starter) และวงจรฟิลเตอร์ (filter) เพื่อป้องกันกระแสที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด (transient current)
   1.4 ให้มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด (low noise)
2) เพื่อสร้างชุดอุปกรณ์และควบคุมการทำงานเลเซอร์ไดโอด ขึ้นมาใช้ในห้องปฏิบัติการ
3) เพื่อศึกษาการมอดูเลตลำแสงเลเซอร์ในช่วงความถี่เสียง (audio frequency)
4) เพื่อสร้างชุดอุปกรณ์นำไปใช้งานในด้านการสื่อสารทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) ทำการศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้จ่ายกระแสและแรงดันให้แก่เลเซอร์ไดโอด ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ
2) สร้างเป็นชุดอุปกรณ์ขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด ตามวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบไว้ข้างต้น
3) ทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด บันทึกผลการทำงาน
4) วิเคราะห์ผลในการทดสอบและปรับปรุงในกรณีที่มีการทำงานไม่ตรงตามที่ต้องการ
5) สรุปผลในการทดสอบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์และหาข้อเสนอแนะ

	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาและค้นคว้า	→	→	→							
ออกแบบวงจร			→	→	→					
สร้างชุดอุปกรณ์					→	→	→			
ทดสอบการทำงาน							→	→	→	
สรุปและวิจารณ์									→	→

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงการดำเนินงานโครงงานพิเศษ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงานพิเศษ

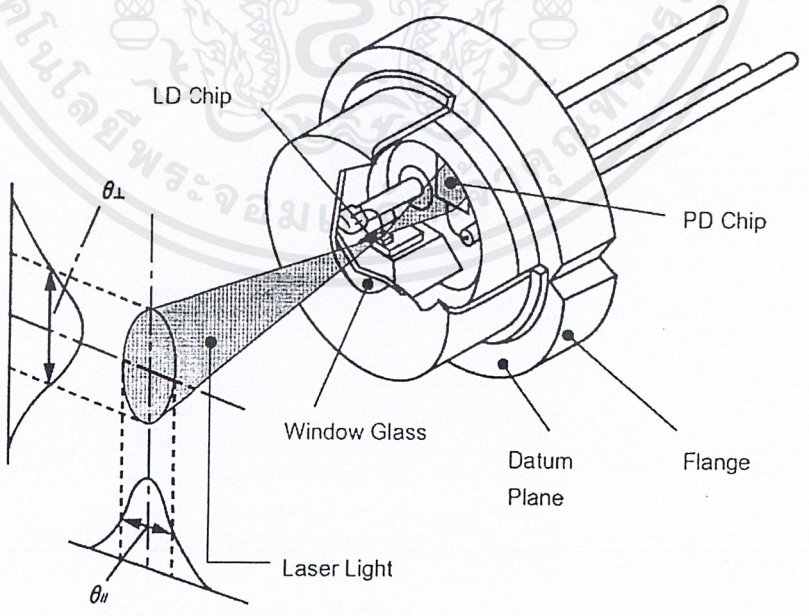
1) ทำให้ทราบถึงวิธีการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอดให้มีเสถียรภาพและสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด
2) ทำให้ทราบถึงหลักการทำงานของเลเซอร์ไดโอด
3) ทำให้ทราบถึงเทคนิคการมอดูเลตเลเซอร์ไดโอด
4) ทำให้ลดต้นทุนในการสั่งซื้อชุดอุปกรณ์ควบคุมเลเซอร์ไดโอด ที่ต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ
5) สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานการสื่อสารทางแสงต่างๆได้
6) นำไปใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไปที่ใช้แสงเลเซอร์ไดโอดเป็นแหล่งกำเนิดแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์อีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากคือ เลเซอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำ (semiconductor laser) หรือ เลเซอร์ไดโอด (laser diode) แนวความคิดของเลเซอร์ไดโอดถูกเสนอเป็นครั้งแรกใน ค.ศ. 1957 และผลิตได้สำเร็จจริงๆใน ค.ศ. 1962 ซึ่งตอนนั้นต้องทำงานที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลว (77K) ต่อมาใน ค.ศ. 1970 มีการผลิตเป็นรอยต่อพีเอ็นชนิดโครงสร้างแบบเฮเทโร (heterojunction) ที่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อใช้โครงสร้างแบบดับเบิลเฮเทโร (double heterojunction) ทำให้เลเซอร์ไดโอดทำงานได้ที่อุณหภูมิห้อง และเปล่งแสงแบบต่อเนื่อง (CW) ได้ และมีอายุการใช้งานยาวนาน

เลเซอร์ไดโอดมีโครงสร้างรอยต่อแบบพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำทำจากสารประกอบกึ่งตัวนำ เช่น GaAs ,InP มีขนาดเล็กมาก สิ่งประดิษฐ์มีปริมาตรเพียงไม่ถึง 1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร บรรจุอยู่ในกล่องโลหะ (metal package) ที่มีขาติดอยู่เพื่อใช้ป้อนกระแสไฟฟ้า รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของตัวถังเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติเด่นของเลเซอร์ไดโอดซึ่งเลเซอร์ชนิดอื่นไม่มี

1) มีขนาดเล็กและเบามาก

2) มีประสิทธิภาพสูง

3) สามารถมอดูเลตความเข้มของการเปล่งแสงด้วยกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง

4) มีอายุการใช้งานยาวนาน

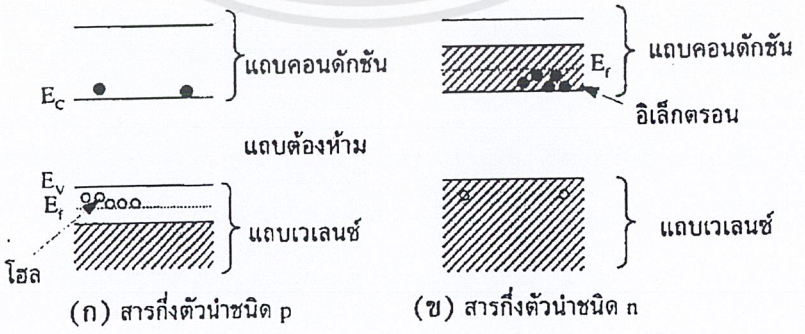
5) ผลิตจำนวนมากได้ง่ายและราคาถูก

ปัจจุบันเลเซอร์ไดโอดถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การสื่อสารด้วยแสง การวัด สารสนเทศ คอมแพกต์ดิสก์ เลเซอร์ดิสก์ ซีดีรอม การแพทย์ การบันเทิง ฯลฯ

2.1 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอด

โครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดคือ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานแบบตรง (direct band gap) เช่น GaAs สารเจือปนสำหรับชนิดพีได้แก่ Zn หรือ Be และสารเจือปนสำหรับชนิดเอ็นได้แก่ Te หรือ Si ลักษณะของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นแสดงในรูปที่ 2.2 โดยที่เนื่องจากในการโดปสารเจือปนนั้นจะโดปมาก ดังนั้นระดับพลังงานเฟอร์มิจึงล้ำเข้าไปในแถบวาเลนซ์ สำหรับชนิดพี และเข้าไปในแถบคอนดักชันสำหรับชนิดเอ็น เราเรียกสารกึ่งตัวนำที่โดปมากเช่นนี้ว่า ดีเจนเนอร์เรต (degenerated semiconductor) เมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาสร้างเป็นรอยต่อพี-เอ็นแบบไดโอด จะได้แถบพลังงานดังรูปที่ 2.3

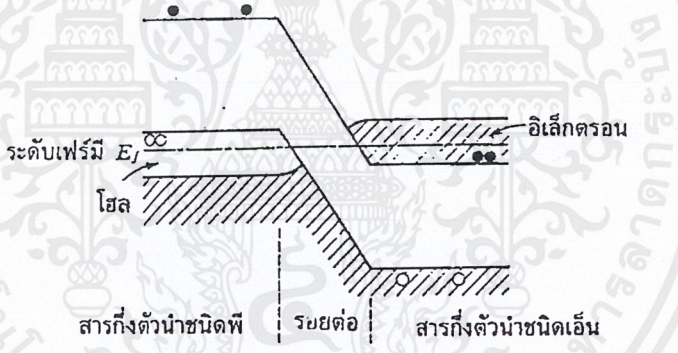
ในการกระตุ้นพาหะเพื่อให้เกิดเลเซอร์นั้น จะใช้วิธีฉีดกระแสไฟฟ้าจากภายนอกให้ไหลเข้าสู่รอยต่อพีเอ็นโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบไบแอสตาม นั่นคือ ป้อนแรงดันบวกเข้าด้านพี และป้อนแรงดันลบเข้าด้านเอ็น จะทำให้แถบพลังงานเปลี่ยนรูปเป็นรูปที่ 2.4 อิเล็กตรอนจะไหลจาก



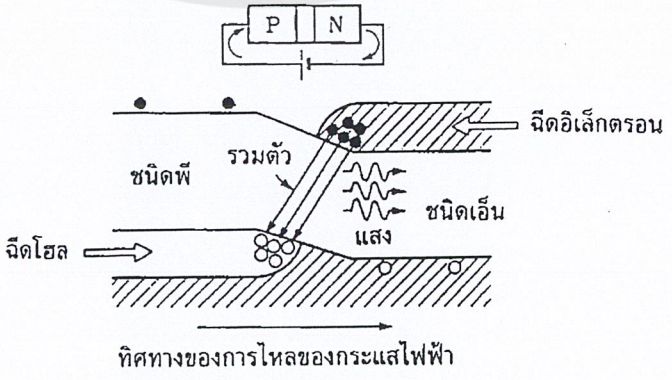
รูปที่ 2.2 ลักษณะแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่โดปสารเจือปนด้วยความเข้มสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านเอ็นเข้าสู่รอยต่อ และโฮลจะไหลจากด้านพีเข้าสู่รอยต่อ ที่บริเวณรอยต่อจะมีคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลเกิดขึ้นจำนวนมาก เมื่ออิเล็กตรอนและโฮลรวมตัวกัน (recombine) จะเกิดการเปล่งแสงออกมาด้วยพลังงานโฟตอนเท่ากับช่องว่างพลังงานของรอยต่อ $E_g = h\nu$ หลักการเปล่งแสงเช่นนี้คล้ายกับกรณีของ LED แต่การทำให้เกิดเลเซอร์นั้นจะต้องฉีดกระแสไฟฟ้าให้มากเป็นพิเศษดังที่แสดงในรูปที่ 2.5 ถ้ากระแสไฟฟ้ามีค่าน้อยการเปล่งแสงจะเป็นแบบเกิดขึ้นเอง (spontaneous) และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้สูงกว่ากระแสไฟฟ้าขีดเริ่ม (threshold current ; I_{th}) จะเกิดประชากรผกผัน (population inversion) กล่าวคือ ถ้าจำนวนคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลมีค่ามากกว่าค่าๆหนึ่ง ก็จะทำให้เกิดการรวมตัวของอิเล็กตรอนและโฮลและเกิดการเปล่งแสงแบบเร่งเร้า (stimulated emission) ที่ด้านข้างภายนอกของรอยต่อพีเอ็นจะถูกออกแบบให้เป็นผิวมันแบบกระจก ให้ทำหน้าที่เป็นออปติคัลเรโซเนเตอร์ (optical resonator) แสงที่สะท้อนกลับไปมาภายในเรโซเนเตอร์นี้จะกลายเป็นแสงเลเซอร์วิ่งออกสู่ภายนอกในที่สุด

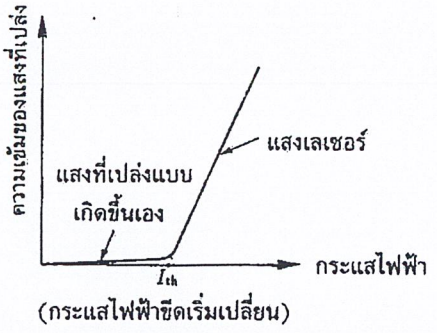


รูปที่ 2.3 รอยต่อพีเอ็นที่โดปสารเจือปนด้วยความเข้มสูงมาก

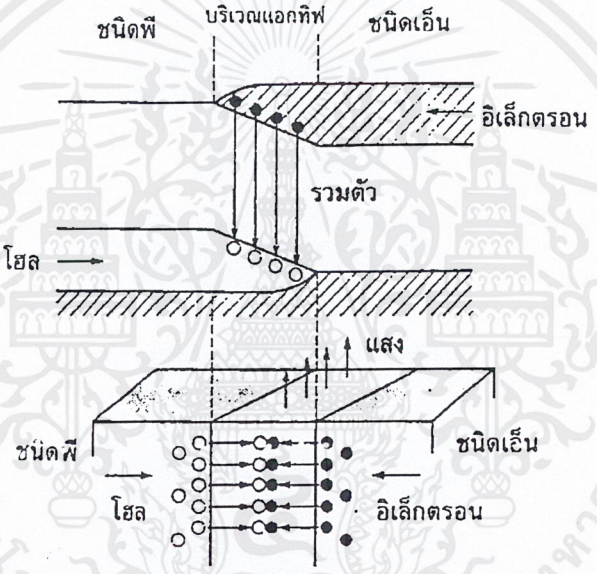


รูปที่ 2.4 รอยต่อพีเอ็นที่กำเนิดแสงเลเซอร์ในเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ลักษณะสมบัติความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและกระแสไฟฟ้าในเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2.6 กลไกการเปล่งแสงเลเซอร์ในเลเซอร์ไดโอดยุคต้นๆ

ในรูปที่ 2.5 เมื่อเกิดการเปล่งแสงแบบเร่งเร้า กระแสไฟฟ้าจะไหลเพิ่มอย่างรวดเร็ว เราเรียกกระแสไฟฟ้าที่เริ่มทำให้เกิดการเปล่งแสงแบบเร่งเร้าว่า กระแสไฟฟ้าขีดเริ่ม (threshold current ; I_{th})

ในยุคแรกๆโครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดเป็นรอยต่อพีเอ็นของวัสดุที่มีช่องว่างพลังงานเท่ากันซึ่งเรียกว่า รอยต่อแบบโฮโม ซึ่งมีข้อเสียว่าพาหะที่ถูกฉีดเข้าไปนั้นบางตัวแทนที่จะรวมตัวกันแต่จะวิ่งแพร่กระจายไปทั่วดังรูปที่ 2.6 ทำให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์มีค่าต่ำ และต้องใช้วิธีการฉีดกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ ต่อมาได้มีการแช่ตัวเลเซอร์ไดโอดลงในไนโตรเจนเหลว (77K) ทำให้การแพร่กระจายของพาหะลดน้อย จึงเกิดเลเซอร์แบบต่อเนื่องได้ ในยุคนี้ตัวเลเซอร์ไดโอดมีขนาดประมาณ $100\mu m \times 300\mu m$ อย่างไรก็ตามในยุคแรกๆอายุการใช้งานของเลเซอร์ไดโอดยังสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อดับเบิลเฮเทโร

ใน ค.ศ. 1963 ได้มีการออกแบบให้เลเซอร์ไดโอดมีโครงสร้างแบบดับเบิลเฮเทโร (double heterojunction) กล่าวคือใช้วัสดุที่มีช่องว่างพลังงานกว้างประกบชั้นเปล่งแสง (active layer) ซึ่งมีช่องว่างพลังงานแคบกว่า ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าลดลง และใน ค.ศ. 1970 สถาบันวิจัยเบลล์ (Bell) ก็ได้ประสบความสำเร็จในการผลิตเลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อดับเบิลเฮเทโร ที่สามารถเปล่งแสงเลเซอร์ได้แบบต่อเนื่อง (CW)

ตัวอย่างโครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อดับเบิลเฮเทโรแสดงในรูปที่ 2.7 ชั้นแอคทีฟซึ่งมีความหนาเพียง 0.1-1 μm คือ GaAs (มีช่องว่างพลังงาน 1.42 eV) และมี AlGaAs ซึ่งมีช่องว่างพลังงานประมาณ 1.8 eV ประกบอยู่ทั้งด้านบนและล่างของ GaAs อัตราส่วนของ Al:Ga ประมาณ 3:7 เราเรียกชั้น AlGaAs ที่ประกบว่าชั้นแคลด (clad layer)

จากการที่ชั้นแคลดมีช่องว่างพลังงานกว้างกว่าชั้นแอกทีฟ ดังนั้นพาหะที่ถูกฉีดเข้ามาจะถูกกักขังอยู่ภายในชั้นแอกทีฟซึ่งคล้ายกับการเกิดเป็นบ่อของพาหะดังรูปที่ 2.7 เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "ปรากฏการณ์กักพาหะ" (carrier confinement effect)

ปรากฏการณ์กักพาหะมีผลช่วยให้เกิดปรากฏการณ์ประชากรผกผันภายในชั้นแอกทีฟได้เป็นอย่างดี จึงทำให้เกิดการเปล่งแสงแบบเร่งเร้าได้ง่าย และทำให้กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าลดลงด้วย

สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในเลเซอร์ไดโอดชนิดนี้คือ จากรูปที่ 2.7 (ค) ซึ่งออกแบบให้ดัชนีหักเหแสงของ GaAs มีค่ามากกว่าของ AlGaAs ประมาณ 5% ดังนั้นแสงที่เปล่งออกมาจากชั้นแอกทีฟจึงถูกสะท้อนกลับที่รอยต่อระหว่างชั้นแอกทีฟและชั้นแคลด ซึ่งส่งผลให้เลเซอร์มีเอาต์พุตสูงขึ้นด้วย

มุมวิกฤติ (θ_c) ที่แสงเลเซอร์จะเล็ดลอดออกมาได้สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\theta_c = \cos^{-1}\left(\frac{1}{1+0.05}\right) = 18^\circ \qquad (1)$$

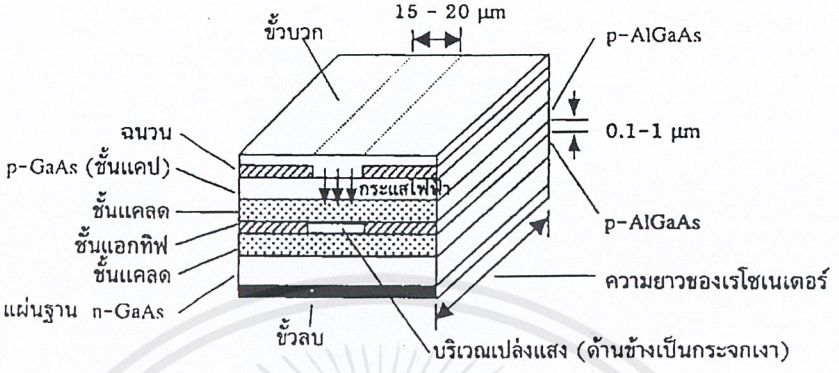
โดยที่ให้ดัชนีหักเหแสงของ AlGaAs เป็นค่าอ้างอิงและมีค่าเท่ากับ 1 และดัชนีหักเหแสงของ GaAs เท่ากับ 1.05

จากสมการนี้ทำให้เราทราบว่า มุมที่แสงจะวิ่งออกมาจากชั้นแอกทีฟมีค่าน้อย ดังนั้นแสงส่วนใหญ่จะถูกกักขังอยู่ในชั้นแอกทีฟ ซึ่งทำให้เกิด "ปรากฏการณ์กักแสง" (optical confinement effect) และทำให้เลเซอร์มีเอาต์พุตสูงขึ้นด้วย

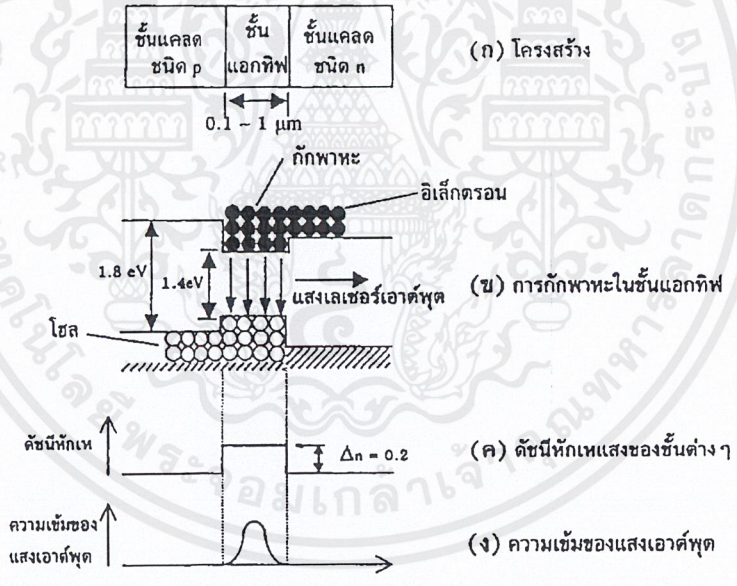
ออปติคัลเรโซเนเตอร์ในเลเซอร์ไดโอดนั้น โดยทั่วไปไม่ต้องใช้กระจกอะไรพิเศษเพิ่มเติมเข้าไป ทั้งนี้เพราะได้ใช้ขอบผนังด้านข้างของผลึกเป็นกระจกเงาไปในตัวเลย เพราะปกติเวลาตัดผลึก (cleave) จะได้ขอบด้านข้างที่ขนานกันอยู่แล้ว แต่ต้องระวังว่าเมื่อใช้งานไปนานๆขอบด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้างจะเกิดออกไซด์ ทำให้ลักษณะสมบัติของเลเซอร์ไดโอดเลวลง อาจมีการเคลือบด้านข้างเพื่อป้องกันออกไซด์ด้วยฉนวนคาร์บอน หรือ อะลูมิเนียมออกไซด์ หรือ ซิลิคอนออกไซด์



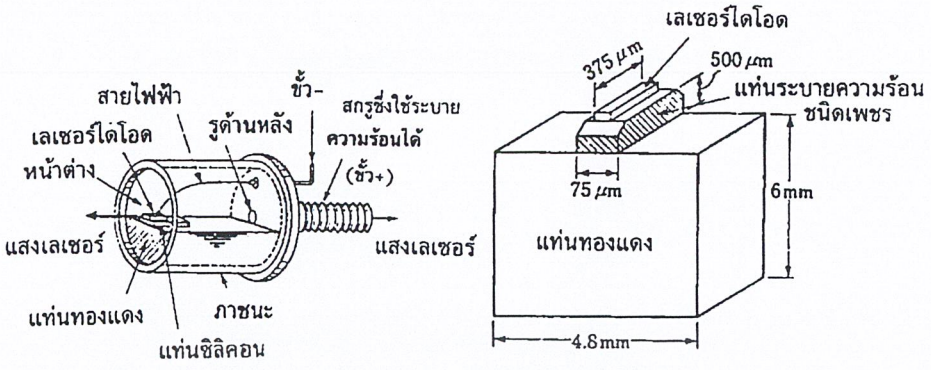
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อดับเบิลเฮเทโร



รูปที่ 2.8 หลักการกักขังพาหะและการเปล่งแสงในเลเซอร์

ในการใช้งานจริงจะต้องระบายความร้อนให้ออกจากตัวเลเซอร์ไดโอดให้มากที่สุด ในทางปฏิบัติมีวิธีคือ จะติดตัวเลเซอร์ไดโอดไว้บนแท่นระบายความร้อน (heat sink) ซึ่งได้แก่ แท่นโลหะทองแดงดังที่แสดงในรูปที่ 2.8 เพราะทองแดงมีค่าสภาพนำความร้อนสูง ระหว่างเลเซอร์ไดโอดและแท่นระบายความร้อนนี้อาจจะแทรกใส่ฉนวนที่นำความร้อนได้ดีไว้ด้วยก็ได้ เช่น แผ่นเพชร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โครงการของเลเซอร์ไดโอดซึ่งติดตั้งบนแท่นระบายความร้อน

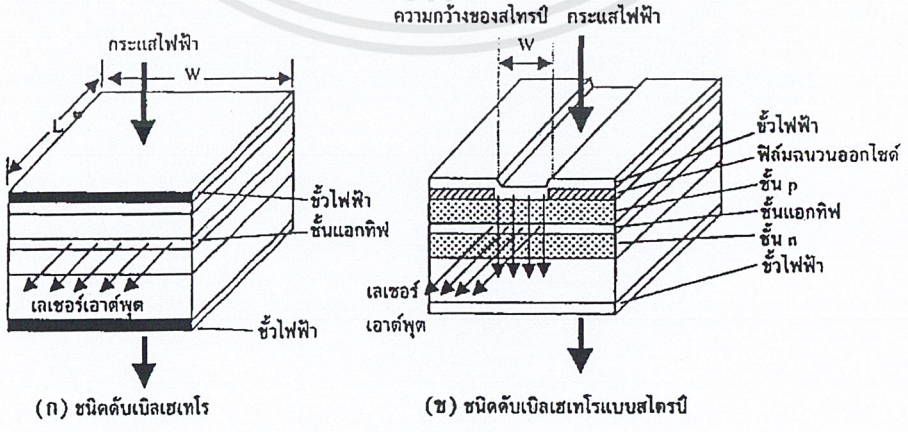
(ข) โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดซึ่งติดตั้งบนแท่นระบายความร้อนชนิดเพชร

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการออกแบบแท่นระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์ไดโอด

2.3 เลเซอร์ไดโอดโครงสร้างสไตรป์และรอยต่อแบบดับเบิลเฮเทโร

ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2 แล้วว่า การสร้างเลเซอร์ไดโอดให้มีรอยต่อแบบดับเบิลเฮเทโร จะทำให้กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพของเลเซอร์ไดโอดได้ อย่างไรก็ตามเอาต์พุตแบบโหมดตามขวาง (transverse mode) นั้นจะไม่เป็นซิงเกิลโหมด แต่จะเป็นมัลติโหมดที่ซับซ้อนและเปล่งแสงเต็มรอยต่อ วิธีหนึ่งที่จะช่วยให้เกิดโหมดตามขวางแบบซิงเกิลโหมดและเพิ่มประสิทธิภาพคือ การสร้างให้เลเซอร์ไดโอดมีโครงสร้างแบบสไตร์ป (stripe structure)

โครงสร้างสไตร์ปแสดงดังรูปที่ 2.10 (ก) กล่าวคือได้ออกแบบให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อในบริเวณแคบๆ ซึ่งออกแบบให้มีรูปร่างแบบแถบ การใช้โครงสร้างนี้จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนลดลงและเหลือเพียง 1/10 และเอาต์พุตก็เป็นซิงเกิลโหมดด้วย



(ก) ชนิดดับเบิลเฮเทโร

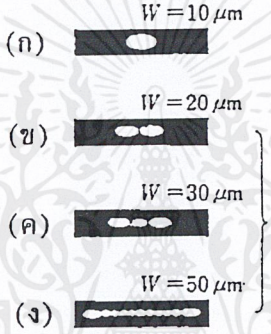
(ข) ชนิดดับเบิลเฮเทโรแบบสไตรป์

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดแบบสไตร์ป (stripe type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเฉพาะในบริเวณสไตร์ป ทำได้โดยการเคลือบฉนวน (เช่น ซิลิคอนออกไซด์ ซิลิคอนไนไตรด์) บางๆลงบนผิวด้าน AlGaAs ชนิดพี แล้วจึงกัดฉนวนนี้ออก เพื่อเปิดให้เป็นช่องแคบๆ (stripe) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.10 (ข) ความกว้างของสไตร์ปซึ่งกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมีค่าประมาณ 10-20 μm และยาวประมาณ 200-400 μm

ลักษณะสมบัติเอาต์พุตชนิดโหมดตามขวางจะขึ้นกับกระแสไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.11 ถ้ากระแสไฟฟ้ายังมีค่าน้อย (ก) จะมีรูปค่อนข้างเป็นวงรีซึ่งอนุโลมได้ว่าเป็นซิงเกิลโหมด แต่เมื่อกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นอัตราขยาย (gain) ของโครงสร้างแบบ (ข) - (ง) จะสูงขึ้นและเอาต์พุตจะเปลี่ยนเป็นมัลติโหมด



รูปที่ 2.11 ภาพการเปล่งแสงที่มีโหมดแบบตามขวาง

2.4 ลักษณะสมบัติของเลเซอร์ไดโอด

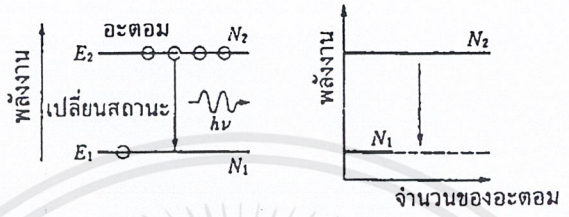
2.4.1 ความยาวคลื่นของแสงเอาต์พุต

ความยาวคลื่นของแสงเอาต์พุตของเลเซอร์ไดโอดจะถูกกำหนดโดยช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตเป็นเลเซอร์ไดโอด แต่เนื่องจากการแจกแจงของอิเล็กตรอนในแถบคอนดักชันและของโฮลในแถบวาเลนซ์มีลักษณะแผ่ออกเป็นแถบกว้างหลายระดับดังที่แสดงในรูปที่ 2.12 (ข) และเนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของพาหะเหล่านั้น มิได้เกิดระหว่างขอบล่างสุดของแถบคอนดักชันและขอบบนสุดของแถบวาเลนซ์เท่านั้น ดังนั้นการเปลี่ยนสถานะของพาหะจึงเกิดได้ในลักษณะวงกว้าง จึงทำให้สเปกตรัมของแสงเอาต์พุตมีรูปแผ่กว้างกว่ากรณีของเลเซอร์ชนิดก๊าซ

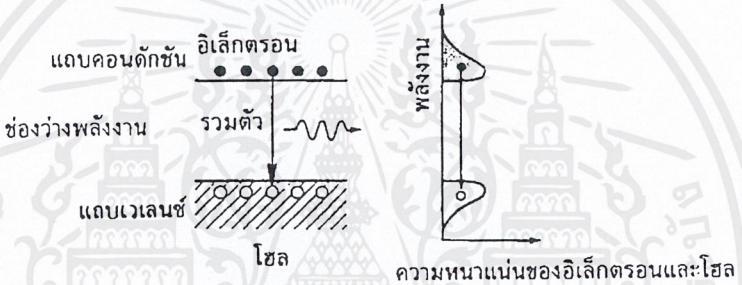
นอกจากนี้ ถ้าอุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอดสูงขึ้นก็จะทำให้การแจกแจงพาหะกว้างขึ้น จึงทำให้สเปกตรัมยิ่งกว้างขึ้นด้วย การเพิ่มกระแสไฟฟ้ามากๆ จะทำให้เอาต์พุตสูงขึ้น แต่จะทำให้ชั้นแอกทีฟมีอุณหภูมิสูงขึ้นและช่องว่างพลังงานจะแคบลง และส่งผลให้สเปกตรัมเคลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นได้ดังแสดงดังรูปที่ 2.13 ด้วยเหตุผลเหล่านี้บางครั้งจึงบอกไม่ได้ชัดเจนว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเซอร์ไดโอดที่กำลังใช้งานให้แสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใด แต่อาจบอกเป็นย่านกว้างๆได้ โดยทั่วไปแล้วการต้องการเลเซอร์ไดโอดย่านความยาวคลื่นเท่าไร สามารถเลือกได้ตามขนาดของช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำดังแสดงในรูปที่ 2.14 และควรเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานชนิดตรง

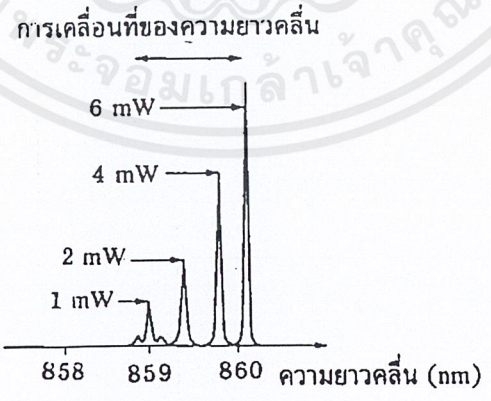


(ก) การเกิดปรากฏการณ์ประชากรผกผันและการเปลี่ยนสถานะในกรณีเลเซอร์ชนิดก๊าซ



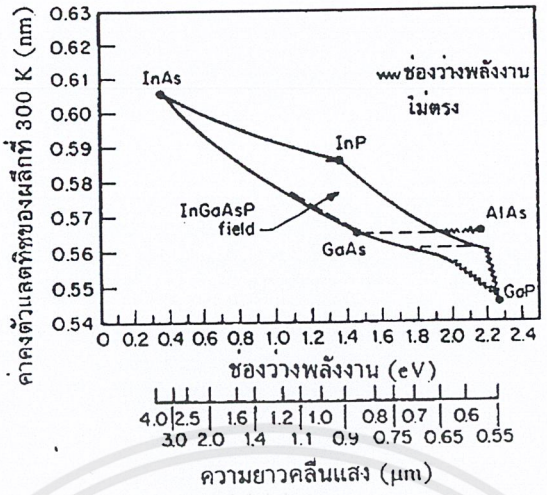
(ข) การเกิดปรากฏการณ์ประชากรผกผันและการเปลี่ยนสถานะในกรณีเลเซอร์ไดโอด

รูปที่ 2.12 เปรียบเทียบการเกิดปรากฏการณ์ประชากรผกผันในกรณี (ก) เลเซอร์ชนิดก๊าซ และ (ข) เลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างสเปกตรัมของแสงเลเซอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มกำลังเอาต์พุตทำให้สเปกตรัมเคลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวแลตทิซและช่องว่างพลังงานของสารประกอบกึ่งตัวนำต่างๆ

2.4.2 ลักษณะสมบัติกำลังเอาต์พุตและกระแสไฟฟ้า

เราเรียกความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (injection current) ที่ฉีดเข้าสู่เลเซอร์ไดโอดและพลังงานเอาต์พุต (energy output) ว่า ลักษณะสมบัติความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต (input-output characteristics) ในรูปที่ 2.15 เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าใกล้เคียงค่าช่องว่างพลังงาน จะทำให้กระแสไฟฟ้าเริ่มไหลและจะเริ่มมีแสงเปล่งแบบเกิดขึ้นเองออกมาดังรูปที่ 2.16 และเมื่อเพิ่มกระแสอีกมากๆ จนสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนค่าหนึ่งจะเกิดการเลซิง (lasing) และกำลังของแสงเอาต์พุตจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่ากระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิขณะทำงาน ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราขยายลดลงและกระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าสูงขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยน (I_{th}) และอุณหภูมิของชั้นแอกทีฟ (T_J) คือ

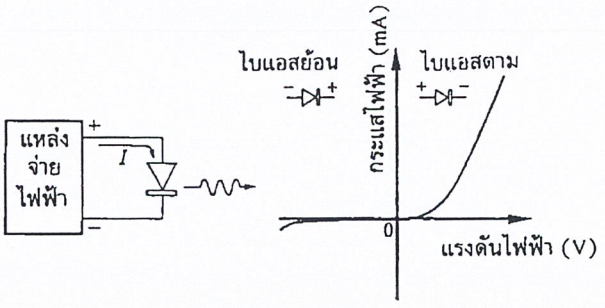
$$I_{th} = I_{tho} \exp(T_J / T_0) \qquad (2)$$

โดยที่ I_{tho} คือ กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนที่อุณหภูมิห้อง

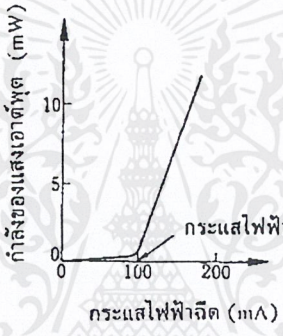
T_0 คือ ค่าคงตัวที่ขึ้นกับวัสดุ มีชื่อเรียกว่า “อุณหภูมิลักษณะ” (characteristic temperature)

รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนเมื่ออุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอดเปลี่ยนแปลง ในทางปฏิบัติเพื่อมิให้กำลังของแสงเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอันเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยน ได้มีการออกแบบผลิตให้เลเซอร์ไดโอดมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.18 โดยจะมีโฟโตไดโอดติดอยู่ใกล้ๆ เลเซอร์ไดโอดเพื่อตรวจวัดกำลังของแสงเอาต์พุต และป้อนกลับไปควบคุมให้เลเซอร์ไดโอดเปล่งแสงที่มีกำลังคงที่ตลอดเวลา หลักการที่กล่าวถึงนี้แสดงในรูปที่ 2.19

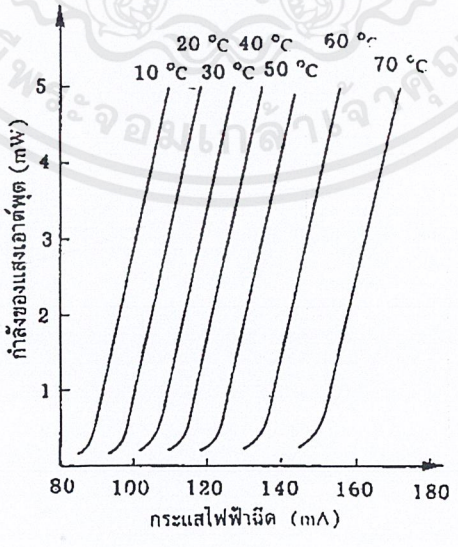
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันของเลเซอร์ไดโอด

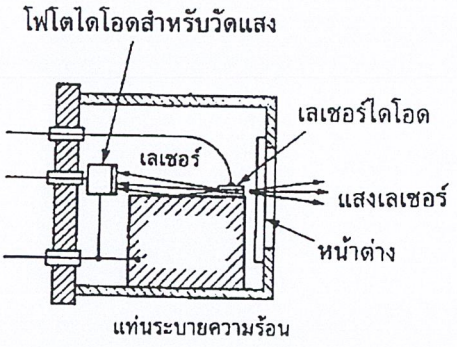


รูปที่ 2.16 ลักษณะสมบัติกำลังของเลเซอร์เอาต์พุตและกระแสที่ฉีดเข้าเลเซอร์ไดโอด

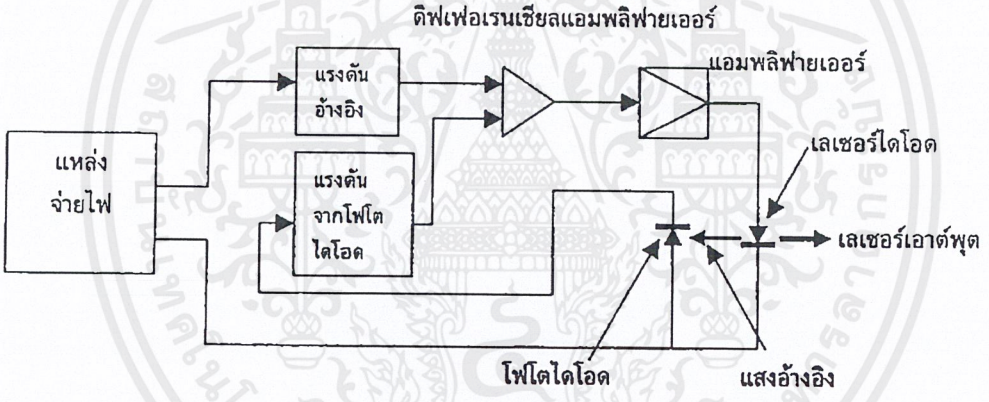


รูปที่ 2.17 การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนอันเนื่องจากอุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การออกแบบวิธีการควบคุมให้เอาต์พุตของแสงเลเซอร์คงที่ โดยการใช้โฟโตไดโอดที่วางอยู่ใกล้เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสง และป้อนข้อมูลไปปรับกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้าสู่เลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2.19 การออกแบบวิธีการควบคุมให้เอาต์พุตของแสงเลเซอร์คงที่ โดยการใช้โฟโตไดโอดที่วางอยู่ใกล้เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสง และป้อนข้อมูลไปปรับกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้าสู่เลเซอร์ไดโอด

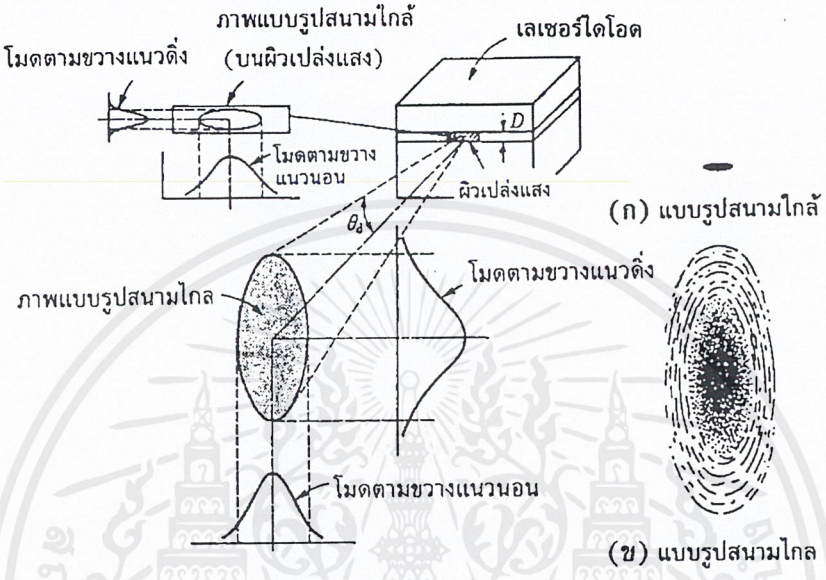
2.4.3 ลักษณะสมบัติของโหมดตามขวาง (Transverse Mode)

โดยทั่วไปเนื่องจากพื้นที่ตัดขวางของบริเวณที่เปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอดมีขนาดเล็กมากเพียง μm^2~หลายสิบμm^2 จึงทำให้แสงเอาต์พุตถูกหักเหให้แผ่กว้างออกดังแสดงในรูปที่ 2.20 ถ้าให้ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนตัดขวางของชั้นแอกทีฟ และ λ คือความยาวคลื่นแสง จะได้มุมของการบานออกของแสง θ_d เท่ากับ

$$\theta_d \approx \lambda / D \qquad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นถ้า D ยิ่งเล็ก มุม θ_d จะยิ่งกว้างขึ้น นอกจากนี้ถ้าส่วนตัดขวางของชั้นแอกทีฟมีรูปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะทำให้มุม θ_d ในทิศทางด้านสั้นนั้นกว้างออกมากเป็นพิเศษ จึงทำให้ลักษณะของบีมมีรูปเป็นวงรีดังแสดงในรูปที่ 2.20 (ข)



รูปที่ 2.20 วิธีการวัดภาพลำแสงเลเซอร์ (ก) แบบรูปสนามใกล้ (near field pattern) และ (ข) แบบรูปสนามไกล (far field pattern)

ในกรณีโครงสร้างสไตร์ปแบบดับเบิลเฮเทโรของ AlGaAs นั้น ชั้นแอกทีฟหนาเพียง 0.1 μm ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ จะทำให้มุม θ_d มีค่าเกือบ 20 องศา ในกรณีเลเซอร์ไดโอดซิงเกิลโหมดตามขวางและชนิดซิงเกิลโหมดตามยาว มีการออกแบบให้มุม θ_d มีค่าเพียง 5-10 องศา ลักษณะการสังเกตการเปล่งแสงในรูปที่ 2.20 (ก) เรียกว่าภาพแบบรูปสนามใกล้ (near field pattern) และ (ข) เรียกว่าภาพแบบรูปสนามไกล (far field pattern) (วัดที่ตำแหน่งไกลมากๆ)

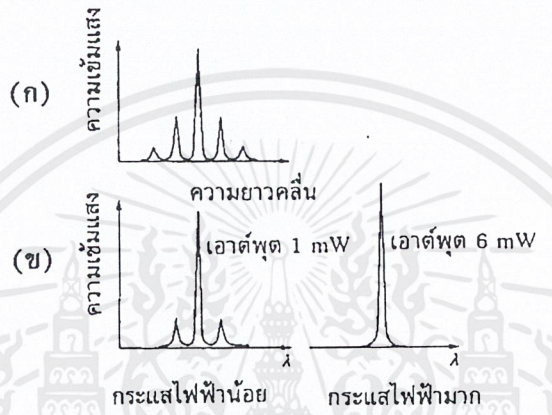
2.4.4 ลักษณะสมบัติของโหมดตามยาว (Longitudinal Mode)

ในทำนองเดียวกันกับเลเซอร์ชนิดอื่นๆ ลักษณะของโหมดตามยาวของเลเซอร์ไดโอดจะขึ้นกับความยาวของออปติคัลเรโซเนเตอร์ (optical resonator length) (เท่ากับผลคูณของความยาวของเลเซอร์ไดโอดและดัชนีหักเหแสง) และความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ ตัวอย่างเช่น ถ้าเลเซอร์ได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอดยาว 0.1-0.3 mm และเส้นสเปกตรัมกว้างประมาณ 2-3 nm จะทำให้เกิดโหมดตามยาวจำนวนหลายเส้นดังแสดงดังรูปที่ 2.21 (ก) ซึ่งเรียกว่ามัลติโหมด (multi-mode)

ส่วนในกรณีเลเซอร์ไดโอดโครงสร้างทางนำแสงและสไตร์ปจะมีซิงเกิลโหมดตามยาว ถ้ากระแสไฟฟ้ามีค่าน้อยๆ สเปกตรัมอาจเป็นมัลติโหมด แต่ถ้ากระแสไฟฟ้ามีค่ามากๆ จะกลายเป็นซิงเกิลโหมดดังที่แสดงในรูปที่ 2.21 (ข)



รูปที่ 2.21 สเปกตรัมของแสงเลเซอร์ที่มีโหมดแบบตามยาว (ก) มัลติโหมด และ (ข) ซิงเกิลโหมด

2.5 เลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงที่ตามองเห็น

เลเซอร์ไดโอดที่ใช้งานในการสื่อสารด้วยแสงเป็นชนิดเปล่งแสงย่านอินฟาเรดซึ่งตาคนมองไม่เห็น นิยมใช้ย่าน 1.3-1.5 μm ทั้งนี้เพราะเส้นใยนำแสงจะนำแสงได้ดีที่สุดในย่านนี้ ทำให้การสูญเสียสัญญาณน้อยที่สุด แต่ในการใช้งานบางอย่างมีความจำเป็นต้องใช้แสงเลเซอร์ที่ตามองเห็น เช่น การใช้งานในเครื่องเลเซอร์ดิสก์ บาร์โค้ด เครื่องพิมพ์ชนิดเลเซอร์ ทั้งนี้เพราะถ้าตามองเห็นแสง จะสะดวกต่อการสังเกตและปรับแต่งลำแสงตามที่ต้องการ และที่สำคัญการที่ความยาวคลื่นแสงสั้นลงนั้น จะทำให้สามารถปรับจุดโฟกัสได้คมและเล็ก ทำให้สามารถอ่านและบันทึกข้อมูลได้มากขึ้น นอกจากนี้วัสดุไวแสงส่วนใหญ่มักจะไวต่อแสงที่ตามองเห็น ดังนั้นปัจจุบันความต้องการเลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงที่ตามองเห็นจึงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

ตัวอย่างวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานกว้างพอที่จะเปล่งแสงมองที่ตามองเห็น ได้แก่ $Al_xGa_{1-x}As$ โดยถ้ามีส่วนผสมของ Al มากก็จะยิ่งทำให้ช่องว่างพลังงานกว้างขึ้น โครงสร้างที่ใช้เป็นชนิดดับเบิลเฮเทโร โดยชั้นแคลด คือ $Al_xGa_{1-x}As$ และชั้นแอกทีฟคือ $Al_yGa_{1-y}As$ และ x>y เช่น ถ้าให้ y=0.16 และ x=0.5 จะได้แสงเลเซอร์ย่าน 740-780 nm ตรงกับย่านสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โดยหลักการแล้ว ถ้าเพิ่มอัตราผสมของ Al (ค่า y) อีก ก็อาจได้แสงสีส้ม สีเขียว แต่ในทางปฏิบัติ ถ้า y มีค่ามากกว่า 0.2 วัสดุนี้จะเริ่มเปลี่ยนสภาพจากการมีช่องว่างพลังงานชนิดตรงไปเป็นช่องว่างพลังงานชนิดไม่ตรง ทำให้กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนสูงขึ้นมาก และประสิทธิภาพของการเปล่งแสงเลเซอร์จะลดลงในที่สุดก็จะไม่เป็นแสงเลเซอร์อีกต่อไป นอกจากนี้ทางด้านชั้นแคลดนั้น ถ้า x มีค่ามากกว่า 0.5 ก็จะทำให้เกิดความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การขยายตัวอันเนื่องจากความร้อนระหว่างชั้นแอกทีฟและชั้นแคลดมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้ก้อนผลึกแตกหักได้ง่าย ดังที่กล่าวมานี้ค่อนข้างยากที่จะผลิตเลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่นสั้นๆ ด้วยวัสดุ AlGaAs

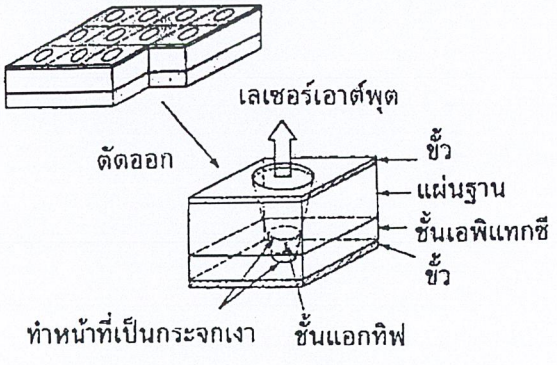
ปัจจุบันได้เริ่มมีรายงานแล้วว่า สามารถผลิตเลเซอร์ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินด้วยวัสดุตระกูลอื่นๆแล้ว เช่น GaN, AlGaInP, ZnSc

2.6 เลเซอร์ไดโอดชนิดเปล่งแสงจากผิวระนาบ

เลเซอร์ไดโอดชนิดเปล่งแสงจากผิวระนาบได้แก่ เลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงให้พุ่งออกในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นฐาน (substrate) ปัจจุบันมีรายงานความสำเร็จในระดับการวิจัยแล้ว แต่ยังไม่มีการผลิตออกขาย ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.22 ใช้วัสดุตระกูล GaAs และ AlGaAs ชั้นแอกทีฟมีรูปร่างทรงกรวยเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 μm ที่ผิวด้านบนและด้านล่างของเลเซอร์ไดโอดมีการเคลือบด้วยฟิล์มบางหลายๆชั้นของ SiO และ TiO เพื่อประกอบเป็นออปติคัลเรโซเนเตอร์ กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าประมาณ 6 mA และใช้งานได้ทั้งชนิดพัลส์และ CW ลำแสงเอาต์พุตมีเส้นผ่านศูนย์กลางระดับ μm เป็นซิงเกิลโหมดและโคฮีเรนซีก็ค่อนข้างดี

คุณสมบัติดีเด่นของเลเซอร์ไดโอดชนิดเปล่งแสงจากระนาบนี้คือ 1) บีมเอาต์พุตที่ถูกสะท้อนให้วิ่งกลับมา จะไม่ส่งผลกระทบต่อการเลซิง 2) บีมเอาต์พุตเป็นรูปกลมชนิดซิงเกิลโหมดตามขวาง จึงเหมาะกับการใช้งานในเลเซอร์ดิสก์และคอมแพกต์ดิสก์ได้เป็นอย่างดี

รูปที่ 2.22 แสดงตัวอย่างการใช้งานเลเซอร์ไดโอดในด้านต่างๆ



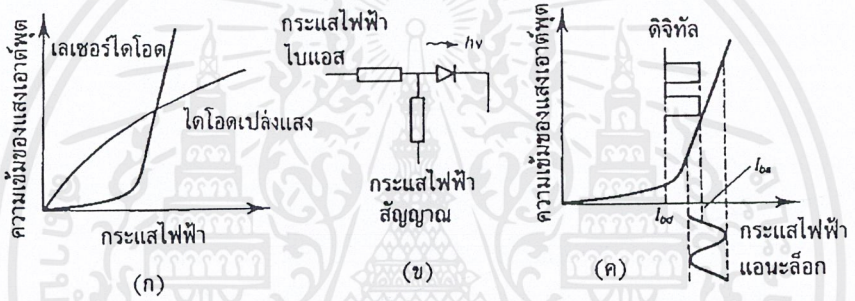
รูปที่ 2.22 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงจากผิวระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

43943

2.7 การขับเลเซอร์ไดโอด

ความแตกต่างระหว่างการขับไดโอดเปล่งแสง (LED) และเลเซอร์ไดโอด (LD) ได้แก่ ความสว่างของไดโอดเปล่งแสงนั้นเพิ่มขึ้นแบบค่อนข้างจะเป็นเชิงเส้นกับกระแสไฟฟ้าฉีด ในขณะที่ความสว่างของเลเซอร์ไดโอดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนดังที่แสดงในรูปที่ 2.23 (ก) การใช้งานเลเซอร์ไดโอดแบบดิจิตัลจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนเมื่อต้องการสัญญาณ "0" และจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนเมื่อต้องการแสดงสัญญาณ "1" การใช้งานเลเซอร์ไดโอดแบบแอนะล็อกจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนเสมอดังที่แสดงในรูปที่ 2.23 (ค) โดยทั่วไปแล้วการใช้งานเลเซอร์ไดโอดแบบทั้งสองกรณีจะต้องมีกระแสไฟฟ้าไบแอสเลี้ยงไว้ตลอดเวลาตามที่แสดงในรูปที่ 2.23 (ข)



รูปที่ 2.23 (ก) ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของไดโอดเปล่งแสงและเลเซอร์ไดโอด
(ข) วงจรสมมูลการขับเลเซอร์ไดโอดมีการไบแอสกระแสไฟฟ้าเลี้ยง
(ค) การออกแบบการขับเลเซอร์ไดโอดแบบดิจิตัลและแอนะล็อก

2.7.1 การประวิงเวลาก่อนการเลซิง

ปกติเมื่อเลเซอร์ไดโอดได้รับกระแสไฟฟ้าพัลส์ไม่ว่าจะเริ่มจากตอนไม่มีกระแสไฟฟ้าเลย หรือเริ่มจากระดับต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนเล็กน้อย เลเซอร์ไดโอดจะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการรวบรวมโฟตอนเพื่อให้เกิดการเปล่งแสงแบบเร่งเร้า เวลาที่ใช้ดังกล่าวเรียกว่า เวลาประวิง (turn-on delay time) ในช่วงเวลาที่กระแสไฟฟ้าฉีดมีค่าน้อยกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน เลเซอร์ไดโอดจะมีคุณสมบัติแบบไดโอดเปล่งแสงและสามารถแสดงพฤติกรรมได้ด้วยสมการอัตรา (rate equation)

$$\frac{dn}{dt} = \frac{J}{ed} - \frac{n}{\tau_s} \tag{4}$$

โดยที่ τ_s คือเวลาอายุของพาหะที่รวมตัวแบบเกิดขึ้นเอง และ d คือความหนาของชั้นแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาผลเฉลยของสมการนี้ ทำได้โดยการกำหนดเงื่อนไขขอบดังนี้

ที่ t=0
$$n(0) = \frac{J_a \tau_s}{ed} \tag{5}$$

ที่ $t=t_D$
$$n(t_D) = \frac{J_{th} \tau_s}{ed} \tag{6}$$

โดยที่ J_a คือความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เวลา t=0 และ t_D คือ เวลาที่กระแสไฟฟ้าใช้ในการเพิ่มถึงขีดเริ่มเปลี่ยน

ดังนั้นผลเฉลยของสมการนี้คือ

$$n(t)\frac{ed}{\tau_s} = J + (J_a - J)\exp(-t/\tau_s) \tag{7}$$

และจะได้

$$J_{th} = J + (J_a - J)\exp(-t/\tau_s) \tag{8}$$

และ
$$t_D = \tau_s \log_e\left(\frac{J - J_a}{J - J_{th}}\right) \tag{9}$$

2.7.2 อิทธิพลของอุณหภูมิ

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่ากระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนของเลเซอร์ไดโอดเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าสูงขึ้น การขับเลเซอร์ไดโอดโดยการไบแอสกระแสไฟฟ้าไว้ที่ใกล้ขีดเริ่มเปลี่ยน จะช่วยทำให้อุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอดคงที่ และแม้จะฉีดกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการเลซิงก็จะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มมากเท่าใดนัก

2.7.3 อิทธิพลของการมอดูเลตเลเซอร์ไดโอด

การใช้งานเลเซอร์ไดโอดในหลายกรณี เช่น การสื่อสารด้วยแสงและเลเซอร์ดิสก์ มีความจำเป็นต้องบังคับให้เลเซอร์ไดโอดเปล่งแสงแบบพัลส์ และถ้าความถี่ของแสงพัลส์ยิ่งสูง ก็จะยิ่งทำให้สามารถส่งสัญญาณได้ด้วยบิตเรตที่สูง หรือสามารถบันทึกหรืออ่านข้อมูลจากเลเซอร์ดิสก์ได้มากขึ้น พารามิเตอร์ที่สำคัญที่เป็นตัวกำหนดความเร็วในการทำงานของเลเซอร์ไดโอดไดแก่ "เวลาอายุในการรวมตัวของพาหะแบบเร่งเร้า" (τ_{ph}) ในรูปที่ 2.24 สมมติให้เลเซอร์แควิตีมีความยาวเท่ากับ L และให้จุดกึ่งกลางของแควิตีคือจุดเริ่มต้นของการเกิดแสงเลเซอร์ และแสงเลเซอร์วิ่งไปและสะท้อนผิวกระจกทั้งสองข้างและกลับมาที่จุดกึ่งกลางซึ่งเป็นการเดินทางครบหนึ่งรอบ ระยะทางที่แสงเดินทางหนึ่งรอบคือ 2L ดั้งนั้นเวลาที่แสงใช้ในการเดินทางหนึ่งรอบมีค่าเท่ากับ

$$t = \frac{2Ln}{c} \tag{10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

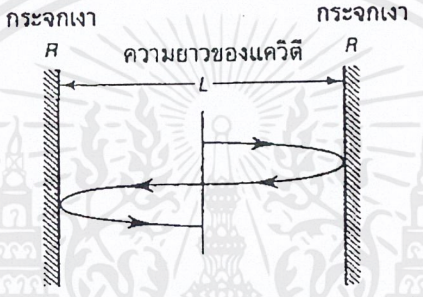
ถ้ามีโฟตอนเกิดขึ้นจำนวนมากมายหลายตัวที่จุดเริ่มต้นและมีกำลังเท่ากับ P_0 ดังนั้นกำลังของแสงหลังจากที่แสงเดินทางครบระยะทางหนึ่งรอบจึงมีค่าเท่ากับ (ไม่พิจารณาอัตราขยาย)

$$P = P_0 R^2 \exp(-2\alpha L) \tag{11}$$

โดยที่ R คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ผิวกระจก และ α คือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

ในทำนองเดียวกัน กำลังของแสงก็จะลดลงตามเวลาด้วยฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลดังนี้

$$P = P_0 \exp\left(\frac{-t}{\tau_{ph}}\right) \tag{12}$$



รูปที่ 2.24 การเดินทางของแสงที่เกิดขึ้นในแคว็ตี้ของเลเซอร์ไดโอด

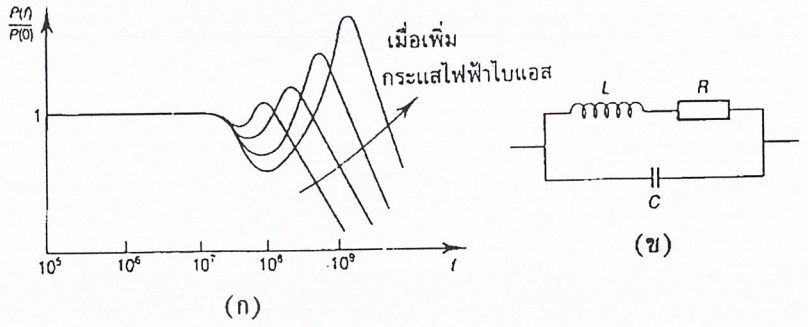
เมื่อเราเปลี่ยนความถี่ของกระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ป้อนให้กับเลเซอร์ไดโอด กำลังของแสงเอาต์พุตของเลเซอร์ไดโอดจะเปลี่ยนแปลงในลักษณะเป็นฟังก์ชันของความถี่คล้ายกับกรณีของไดโอดเปล่งแสงดังนี้

$$P(f) = \frac{P_0 \omega_0^2}{(\omega_0^2 - \omega^2) + j\beta\omega} \tag{13}$$

โดยที่ $\omega = 2\pi f, \omega_0 = (I_a - I_{th})/(\tau_s \tau_{ph} I_{th}, \beta = I_a/(\tau_s I_{th})$ และ I_a คือกระแสไฟฟ้าไบแอส

ในกรณีของไดโอดเปล่งแสง กำลังของแสงเอาต์พุตจะค่อยๆ ลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น แต่ในกรณีของเลเซอร์ไดโอดค่อนข้างจะมีความซับซ้อน รูปที่ 2.25 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของแสงเอาต์พุตของเลเซอร์ไดโอดและความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อน ในช่วงที่ความถี่ไม่สูงมากนัก (10-100 MHz) กำลังของแสงเอาต์พุตค่อนข้างจะคงที่ ต่อจากนั้นเมื่อความถี่สูงขึ้นกำลังของแสงจะลดลงและเพิ่มขึ้นในลักษณะแบบภูเขา ถ้ากระแสไฟฟ้าไบแอสมีค่ามากขึ้น ตำแหน่งของยอดภูเขาจะเคลื่อนไปที่ความสูงขึ้นและความสูงของยอดภูเขาก็สูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของแสงเอาต์พุตของเลเซอร์ไดโอดและความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อน

(ข) วงจรสมมูลที่ขับเลเซอร์ไดโอดด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การใช้งานเลเซอร์ไดโอด

เนื่องจากเลเซอร์ไดโอดทั่วไปมีการตอบสนองเร็วมาก (มากกว่า 1 GHz) และแรงดันที่ใช้งานมีค่าต่ำ (โดยทั่วไปประมาณ 2 โวลต์) ดังนั้นเลเซอร์ไดโอดจึงเกิดการเสียหายได้ง่าย โดยมีสาเหตุมาจากคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงแบบช่วงสั้น (surge currents) อันเนื่องมากจากการเกิดไฟฟ้าสถิต (electostatic) และเมื่อกระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ไดโอดมีค่ามากเกินกว่าขีดจำกัดของเลเซอร์ไดโอดเอง กำลังแสงที่ออกมาจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากส่งผลทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์

3.1 ข้อควรระวังเมื่อมีการสัมผัสเลเซอร์ไดโอด (Handling Precautions for Laser Diodes)

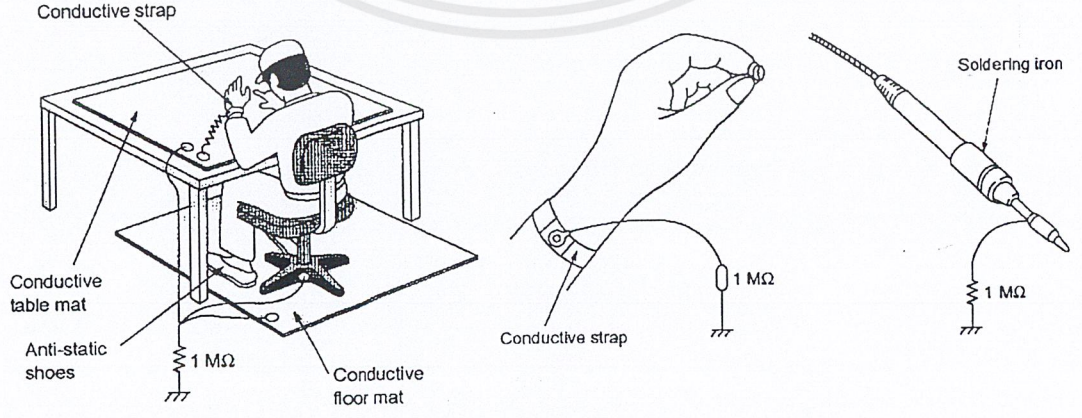
3.1.1 การป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic surge prevention)

เนื่องจากเลเซอร์ไดโอดมีความไวต่อการเกิดไฟฟ้าสถิตสูง (มากกว่าอุปกรณ์ประเภท CMOS) ด้วยเหตุนี้จึงต้องคำนึงถึงเรื่องการป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตด้วย และเมื่อต้องสัมผัสกับเลเซอร์ไดโอดควรปฏิบัติดังนี้

1) เมื่อใช้โต๊ะม้านั่งและพื้นปูที่เป็นสื่อนำไฟฟ้าในการปฏิบัติงานจะต้องต่อสายผ่านตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทาน 1 เมกะโอห์มลงสู่สายดิน

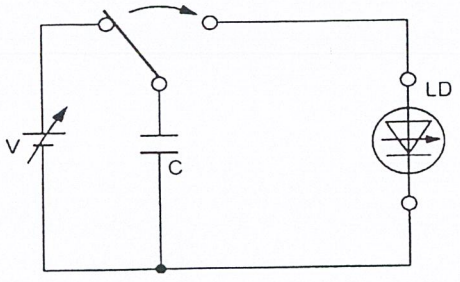
2) เมื่อมีการสัมผัสกับเลเซอร์ไดโอดจะต้องใช้ห่วงรัดข้อมือต่อผ่านตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทาน 1 เมกะโอห์มลงสู่สายดิน

3) ต่ออุปกรณ์ที่ใช้งานทุกอย่างรวมทั้งหัวแร้งที่ใช้บัดกรีลงสู่สายดินด้วย



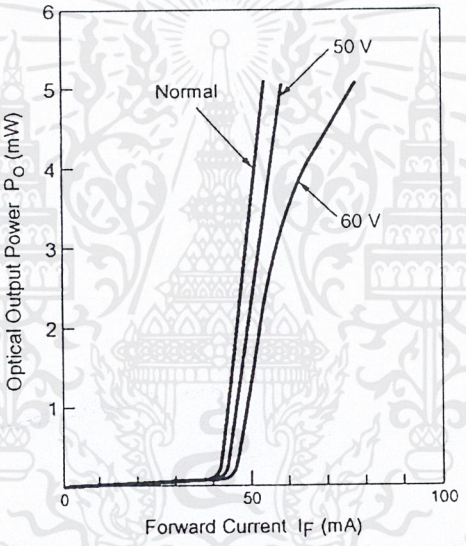
รูปที่ 3.1 แสดงการปฏิบัติงานเพื่อหลีกเลี่ยงผลจากไฟฟ้าสถิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



C = 200 pF

รูปที่ 3.2 วงจรที่ใช้ตรวจสอบการเสียหายของเลเซอร์ไดโอดอันเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิต

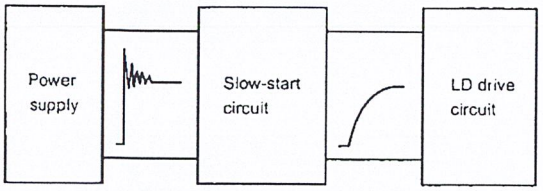


รูปที่ 3.3 ตัวอย่างของผลการทดลองวัดการเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิต

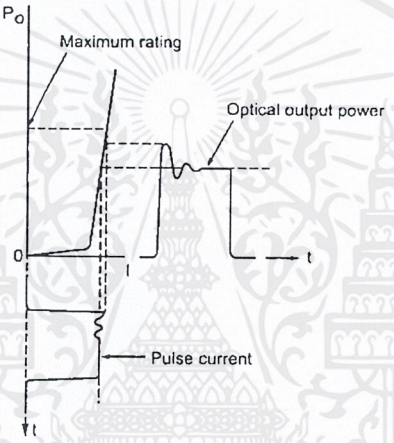
3.1.2 ข้อควรระวังสำหรับวงจรขับเลเซอร์ไดโอด (Precautions for drive circuits)

ก่อนการปฏิบัติงานควรจะเช็คดูอุปกรณ์ก่อนว่าเมื่อได้รับคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงแบบช่วงสั้นแล้วกำลังที่ได้จะมีค่าเกินค่าอัตราสูงสุด (maximum ratings) หรือไม่ เพราะคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงแบบช่วงสั้นนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เลเซอร์ไดโอดเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรจะกำจัดปัญหาเหล่านี้ให้หมดไปโดยการเพิ่มวงจรฟิลเตอร์ (filter) เข้าไปในวงจรด้วย ตัวอย่างวงจรฟิลเตอร์ เช่น วงจร RC หรือ วงจรสโลว์สตาร์ทเตอร์ (slow starter) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การใช้วงจรสโลว์สตาร์ทเตอร์ (slow starter) เพื่อป้องกันการเสียหายของเลเซอร์ไดโอด อันเนื่องมาจากคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงแบบช่วงสั้น



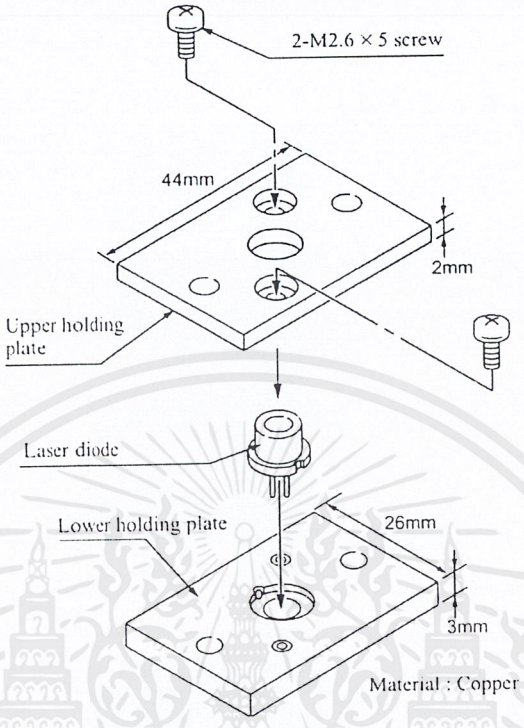
รูปที่ 3.5 แสดงอัตราสูงสุดของกำลังและคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงแบบช่วงสั้น

ขณะปฏิบัติงานห้ามถอดหรือต่อสายออสซิลโลสโคป (oscilloscope) หรือโวลต์มิเตอร์ เพราะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงแบบช่วงสั้น (surge current) ขึ้น และส่งผลเสียให้กับเลเซอร์ไดโอดได้

3.1.3 การระบายความร้อน (Heat-sinking)

1) เลเซอร์ไดโอดแบบรอยต่อพีเอ็นจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างมาก ดังนั้นเมื่อมีการใช้งานเลเซอร์ไดโอดจึงต้องมีการระบายความร้อนออกจากเลเซอร์ไดโอดในปริมาณที่พอเพียง โดยปกติในตัวถังเลเซอร์ไดโอด (laser diode package) จะมีตัวระบายความร้อนต่อออกอาจชิพเลเซอร์ไดโอด (laser diode chip) อยู่แล้วเพื่อใช้ระบายความร้อนจากชิพออกสู่ตัวถัง แต่ถ้ามีการติดตั้งตัวระบายความร้อน (heat-sink) เพื่อช่วยระบายความร้อนจากตัวถังออกสู่ภายนอก ก็จะเป็นการลดอุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอดได้อีกทางหนึ่ง ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างของชุดระบายความร้อนของเลเซอร์ไดโอด

2) ถ้าการระบายความร้อนออกจากตัวเลเซอร์ไดโอดไม่พอเพียงจะทำให้อุณหภูมิสะสมในตัวถังของเลเซอร์ไดโอดเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้กำลังที่ออกมาก็จะลดลงไปด้วย ดังนั้นถ้าต้องการที่จะทำให้กำลังของเลเซอร์ที่ออกมากลับไปมีค่าเท่าเดิม ก็ต้องทำโดยการเพิ่มกระแสที่ผ่านเลเซอร์ไดโอดให้มากขึ้น แต่ในการทำเช่นนี้กลับยิ่งเป็นการไปเพิ่มอุณหภูมิที่สะสมในตัวเลเซอร์ไดโอดให้สูงมากยิ่งขึ้นตามไปด้วยและทำให้เลเซอร์ไดโอดเสียหายได้ในที่สุด ดังนั้นการป้องกันการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและกระแสที่มากเกินไปสามารถทำได้โดยการระบายความร้อนของเลเซอร์ไดโอดให้ได้อย่างพอเพียง

3) ตรวจสอบให้แน่ใจว่าระบบระบายความร้อนที่ใช้สามารถระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยตรวจสอบที่บริเวณสัมผัสของตัวถังของเลเซอร์ไดโอดกับตัวระบายความร้อนว่าสามารถส่งผ่านความร้อนได้ดีหรือไม่ นอกจากนี้การกระจายตัวของความร้อนยังเป็นฟังก์ชันกับขนาด รูปร่าง รวมถึงวัสดุที่นำมาใช้ทำเป็นตัวระบายความร้อนด้วย ดังนั้นการออกแบบตัวระบายความร้อนจึงต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นหลัก

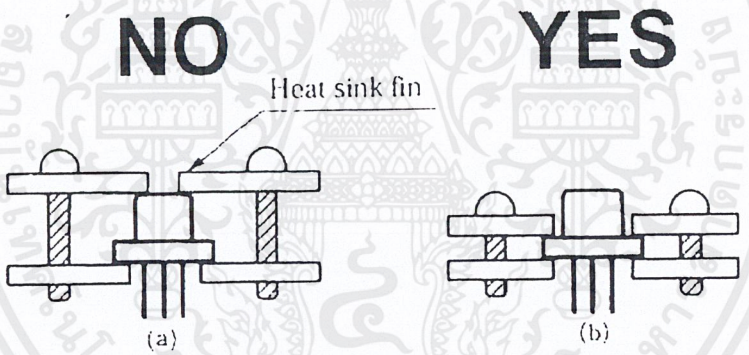
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 สาเหตุอื่นๆ

1) เนื่องจากความที่ลำแสงเลเซอร์มีความเป็นอาพันธ์สูง ดังนั้นฝุ่นหรือรอยนิ้วมือบนช่องกระจกหน้าต่าง (window glass) ของเลเซอร์ไดโอด อาจเป็นสาเหตุของการเลี้ยวเบนหรือการแทรกสอดของแสงได้ ซึ่งส่งผลให้เกิดริ้วรอยการแทรกสอด (ripple) ขึ้นในรูปแบบสนามไกล (far-field pattern) และทำให้กำลังแสงที่ออกมาลดลงตามไปด้วย

2) ช่องกระจกหน้าต่าง (window glass) ของเลเซอร์ไดโอดเกิดการแตกร้าวได้ง่าย ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการใช้งาน

3) เมื่อทำการติดตั้งตัวระบายความร้อนให้กับตัวถังของเลเซอร์ไดโอด ควรติดตั้งโดยการหนีบไว้กับฐานของตัวถังเลเซอร์ไดโอด ไม่ควรให้ทับที่ส่วนบนของตัวถัง แสดงดังรูปที่ 3.5 เพื่อเป็นการป้องกันกระจกหน้าต่างแตกหรือร้าว และนอกจากนี้ห้ามใช้ตะกั่วบัดกรีตัวระบายความร้อนติดกับตัวถังของเลเซอร์ไดโอดเป็นอันขาด

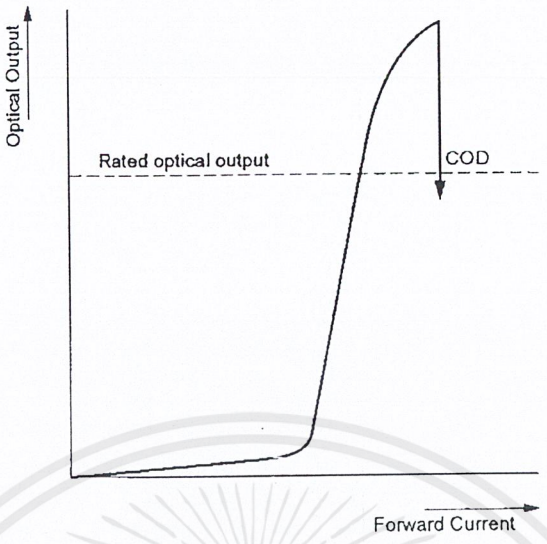


รูปที่ 3.7 แสดงการติดตั้งชุดระบายความร้อนที่ถูกต้อง

3.2 เลเซอร์ไดโอดเกิดความเสียหาย (Damage to laser diodes)

เมื่อกำลังแสงที่ออกมาจากเลเซอร์ไดโอดมีค่ามากเกินกว่าอัตราสูงสุด ที่จุดนี้กำลังแสงที่ออกมาจะเริ่มมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งมีสาเหตุมาจากกำลังแสงที่มากเกินไปนี้จะไปทำลายผิวหน้า (facet) ของชิพเลเซอร์ไดโอดที่ทำหน้าที่เป็นเฟบรี-เพอร์โร เคาวิตี้ (Fabry – Perot cavity) ปรากฏการณ์ที่ทำให้ส่วนต่างๆ ของเลเซอร์ชิพเลเซอร์ไดโอดเสียหายนี้เรียกว่า ซีโอดี (catastrophic optical damage ; COD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

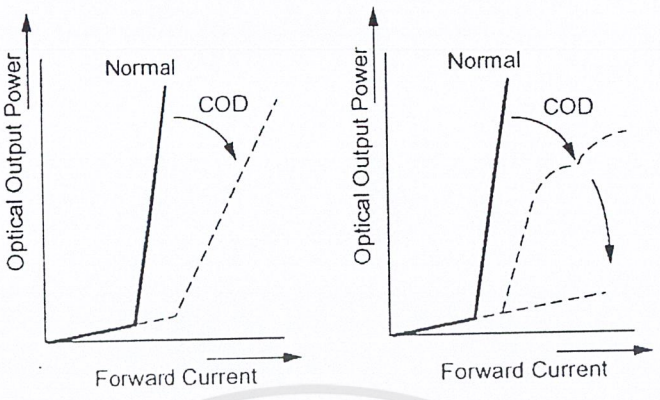


รูปที่ 3.8 แสดงการลดลงของกำลังแสงที่ออกมาอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ซีโอดี (COD)

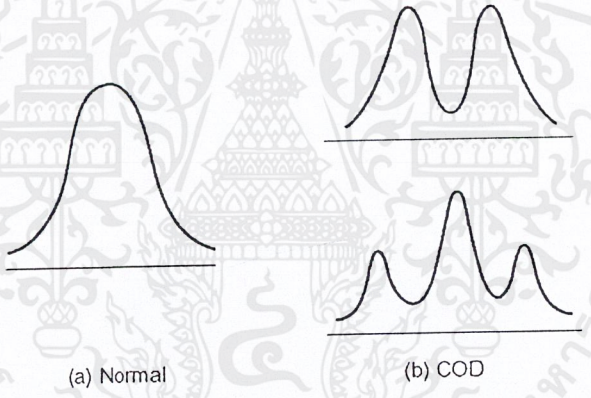
รูปที่ 3.9 แสดงศูนย์กลางของรูปแบบสนามใกล้ (near-field pattern) บนผิวหน้าของชิพเลเซอร์ไดโอด (a) ขณะเลเซอร์ไดโอดทำงานปกติ และ (b) หลังจากเกิดซีโอดี

คุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอดได้รับการเสียหายจะแสดงได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงที่ออกมากับกระแสที่ใช้ขับเลเซอร์ไดโอด จะเห็นได้ว่าจะมีกำลังแสงที่ออกมาลดลงและในกรณีที่เลเซอร์ไดโอดได้รับความเสียหายอย่างมากนั้นอาจไม่มีกำลังแสงออกมาเลย ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และในรูปที่ 3.11 แสดงคุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอดที่ได้รับการเสียหาย โดยแสดงในรูปแบบการไม่ปะติดปะต่อกันของรูปแบบสนามไกล (far-field pattern)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงที่ออกมากับกระแสที่ใช้ขับเลเซอร์ไดโอด ของเลเซอร์ไดโอดที่ได้รับความเสียหาย

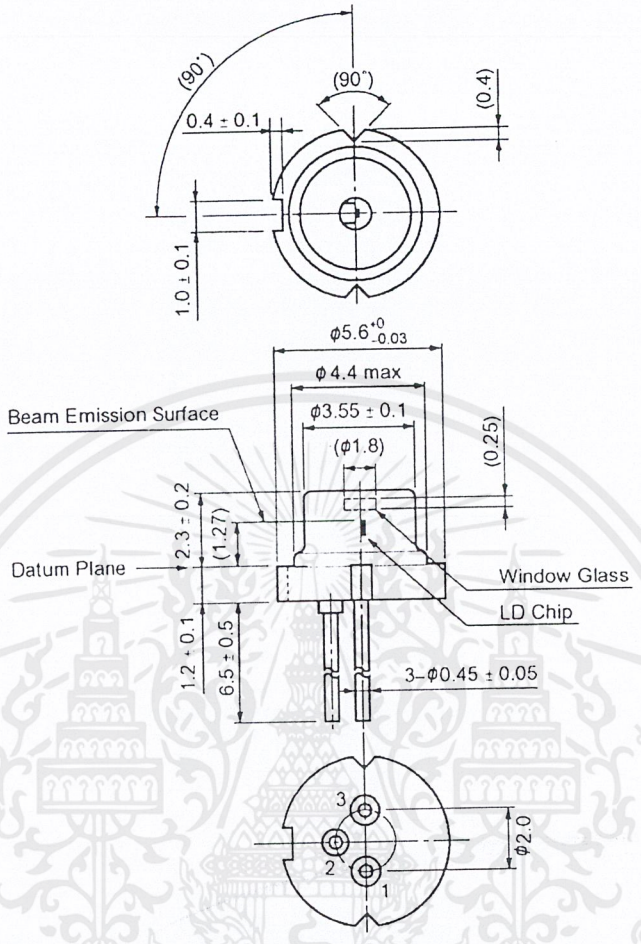


รูปที่ 3.11 แสดงรูปแบบสนามไกลของการเสียหายของเลเซอร์ไดโอด

3.3 ลักษณะขาเลเซอร์ไดโอด (Pin Connection)

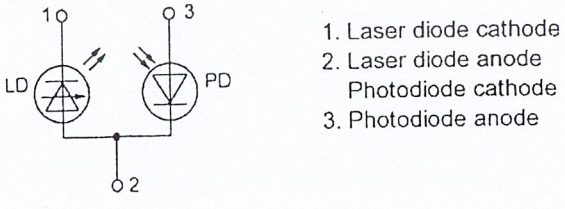
เลเซอร์ไดโอดที่มีขายอยู่ในปัจจุบันได้มีการบรรจุอยู่ในตัวถังที่เป็นโลหะและต่อขาโลหะออกมาภายนอกเพื่อที่จะสามารถต่อนำไปใช้งาน ซึ่งภายในตัวถังนี้อาจมีโฟโตไดโอดบรรจุอยู่ด้วยแล้ว ดังนั้นการนำเลเซอร์ไดโอดแต่ละตัวมาใช้งานจึงต้องดูรายละเอียดของแต่ละขาให้แน่ใจก่อนที่จะนำมาใช้งาน เพื่อเป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการต่อขาของเลเซอร์ไดโอดสลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะตัวถังของเลเซอร์ไดโอด

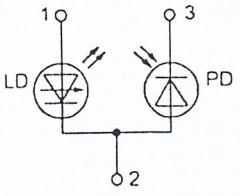
1) ระบบจ่ายไฟเลี้ยงลบ (Negative power supply system)



รูปที่ 3.13 ลักษณะขาเลเซอร์ไดโอดแบบระบบจ่ายไฟเลี้ยงลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

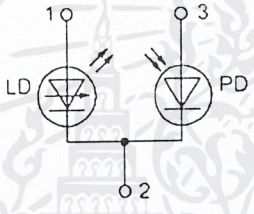
2) ระบบจ่ายไฟเลี้ยงบวก (Positive power supply system)



1. Laser diode anode
2. Laser diode cathode
   Photodiode anode
3. Photodiode cathode

รูปที่ 3.14 ลักษณะขาเลเซอร์ไดโอดแบบระบบจ่ายไฟเลี้ยงบวก

3) ระบบจ่ายไฟเลี้ยงบวกและลบ (Daul power supply system)



1. Laser diode anode
2. Laser diode cathode
   Photodiode cathode
3. Photodiode anode

รูปที่ 3.15 ลักษณะขาเลเซอร์ไดโอดแบบระบบจ่ายไฟเลี้ยงบวกและลบ

4) ระบบจ่ายไฟเลี้ยงบวกแบบไม่มีโฟโตไดโอด (Positive power supply system : No PD)

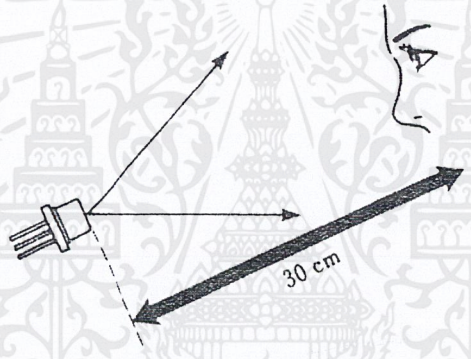
1. Laser diode anode
2. Case
3. Laser diode cathode

รูปที่ 3.16 ลักษณะขาเลเซอร์ไดโอดแบบระบบจ่ายไฟเลี้ยงบวกแบบไม่มีโฟโตไดโอด

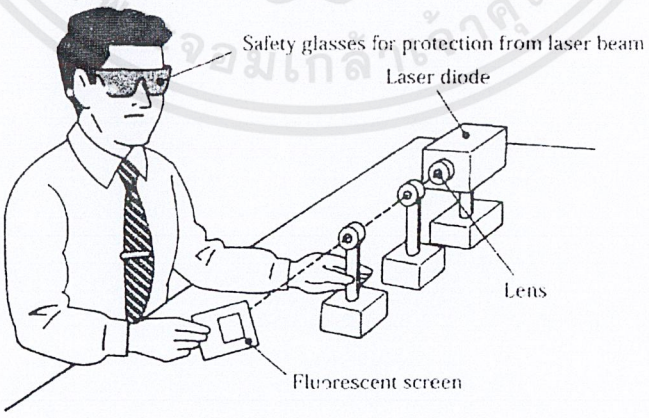
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การใช้งานเลเซอร์ไดโอดอย่างปลอดภัย (Safety of Laser Diode)

ลำแสงที่ออกมาจากเลเซอร์ไดโอดนั้นสามารถที่จะทำอันตรายกับดวงตาของมนุษย์ได้ ดั้งนั้นขณะปฏิบัติงานกับเลเซอร์ไดโอดไม่ควรมองแสงเลเซอร์ด้วยตาเปล่าโดยตรง หรือแม้แต่มองผ่านเลนส์ กระจก และเส้นใยนำแสงก็อาจเป็นอันตรายได้ เนื่องจากมุมของการปลดปล่อยลำแสงเลเซอร์นั้นมีค่าค่อนข้างมาก และกำลังแสงของเลเซอร์เพียงไม่กี่เปอร์เซ็นก็อาจเป็นอันตรายต่อดวงตาได้เช่นกัน ดังนั้นขณะทำงานทดลองควรมีวิธีที่จะป้องกันลำแสงเข้าสู่ดวงตา อย่างเช่น การสวมแว่นที่ป้องกันอันตรายเนื่องจากลำแสงเลเซอร์ และการใช้ฉากฟลูเรซเซนท์ (fluorescent screen) ในการปรับแกนลำแสง เพราะว่าฉากฟลูเรซเซนท์นั้นจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแสงอินฟาเรดให้เป็นแสงในย่านที่ตามองเห็นได้ (visible light) เป็นต้น ดังแสดงดังรูปที่ 3.17 และ 3.18



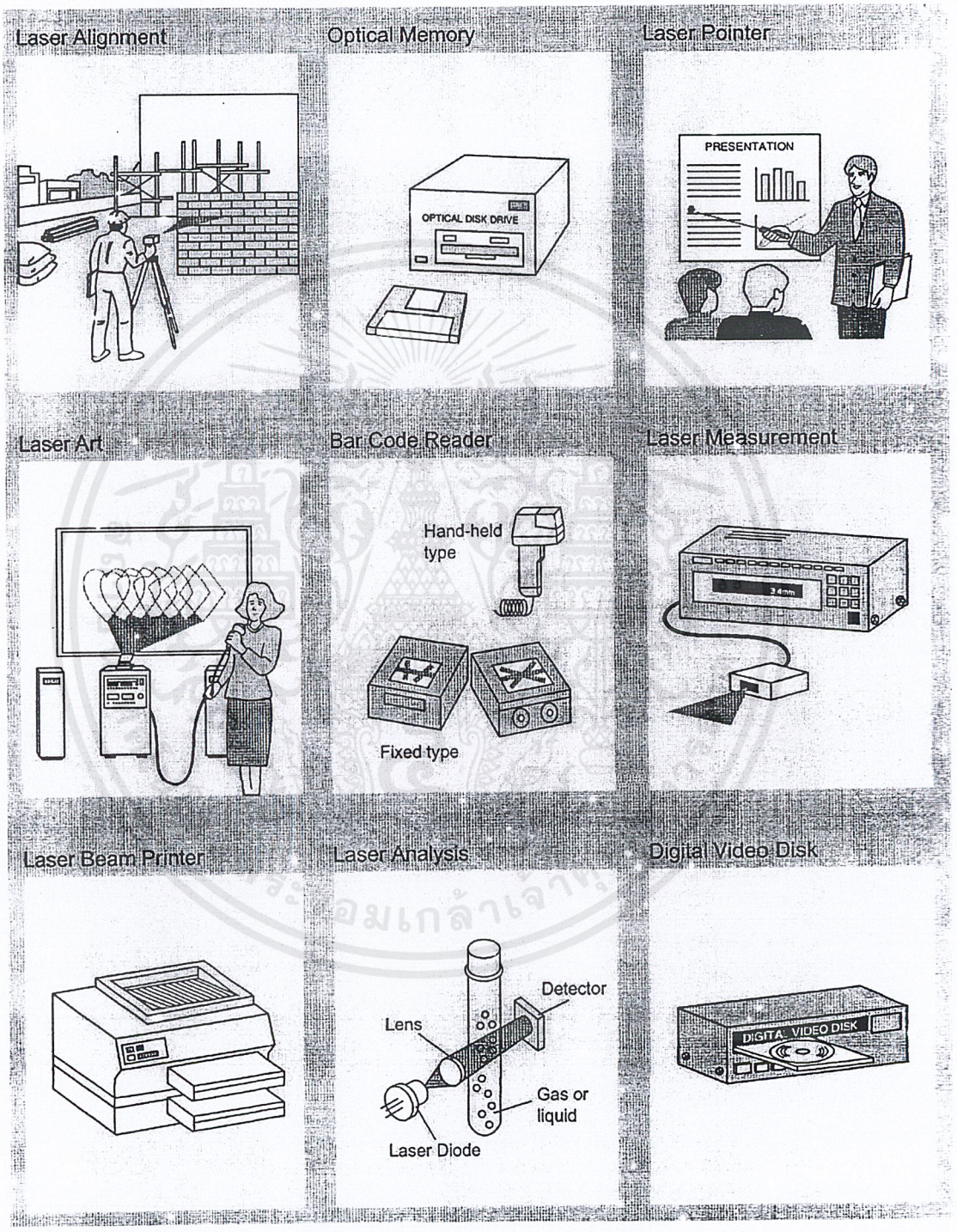
รูปที่ 3.17 แสดงมุมของการปลดปล่อยของลำแสงเลเซอร์นั้นมีค่ามาก



รูปที่ 3.18 การใช้แว่นและฉากฟลูเรซเซนท์ (fluorescent screen) เพื่อป้องกันลำแสงเข้าสู่ดวงตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การนำเลเซอร์ไดโอดไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ (Laser diode Applications)



รูปที่ 3.19 แสดงการนำเลเซอร์ไดโอดไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรขับเลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอดควรจะถูกขับโดยใช้วงจรควบคุมกระแสแบบอัตโนมัติ (automatic current control : ACC) หรือวงจรควบคุมกำลังแบบอัตโนมัติ (automatic power control : APC) วงจรควบคุมกำลังแบบอัตโนมัตินั้นเป็นวงจรที่นิยมใช้มากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (ambient temperature) มีการแปรปรวน (fluctuate) แต่โดยทั่วไปแล้ววงจรขับเลเซอร์ไดโอดจะประกอบไปด้วยส่วน สโลว์สตาร์ทเตอร์ (slow starter) เพื่อป้องกันการเกิดคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงแบบช่วงสั้นตามมาในภายหลังให้หมดไป ถ้าเราไม่คำนึงถึงชนิดต่างๆของวงจรที่ใช้ขับ กระแสที่ใช้ขับจะต้องไม่เกินกว่าค่าอัตราสูงสุด (maximum ratings) เพราะเมื่อกระแสที่ใช้ขับเกินกว่าค่าอัตราสูงสุดเพียงช่วงเวลานาโนวินาที (nano second) จะทำให้แควิตี้ (cavity) ของเลเซอร์ถูกทำลายเป็นผลทำให้เลเซอร์ไดโอดเสียหาย ส่วนแหล่งจ่ายไฟ (power supply) ที่ใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการมาตรฐานทั่วไปไม่นิยมนำมาใช้ในการขับเลเซอร์ไดโอด

3.7 การทำงานภายใต้โหมดกระแสคงที่ (Constant current mode) และโหมดกำลังแสงเอาท์พุทคงที่ (Constant power mode)

คุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอดจะขึ้นกับอุณหภูมิของชิพเลเซอร์ไดโอดอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ค่าความยาวคลื่นของ GaAlAs ทั่วไปนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นในระดับของ 0.25 นาโนเมตร ต่อการเพิ่มของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เลเซอร์ไดโอดแบบซิงเกิลโหมดการเปลี่ยนแปลงของค่าความยาวคลื่นจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ที่เราไม่ต้องการขึ้น เรียกว่า " โหมดโฮป (Mode-hops) หรือ โหมดโฮปปิ่ง (Mode-hopping) " คุณสมบัติต่างๆของเลเซอร์ไดโอดที่ขึ้นกับอุณหภูมิโดยตรง ได้แก่ กระแสขีดเริ่ม (Threshold current) , ค่าความยาวคลื่น (Wavelength) , ช่วงอายุการทำงานของเลเซอร์ (life time) และ ประสิทธิภาพ (slope efficiency) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงที่ออกมากับกระแสที่ฉีดเข้าไป (injection current) จะเป็นความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิที่สำคัญที่สุด กล่าวคือ กำลังแสงเอาท์พุทของแสงเลเซอร์จะลดลงขณะทำงานภายใต้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันกำลังแสงเอาท์พุทจะเพิ่มขึ้นขณะทำงานภายใต้อุณหภูมิที่ลดลง ถ้าวงจรขับไม่มีการสร้างระบบป้องกันสาเหตุนี้ไว้ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงกว้างจะก่อให้เกิดซีโอดี (Catastrophic Optical Damage :COD) ขึ้น อย่างไรก็ตาม มี 2 วิธีที่ใช้ทั่วไปเพื่อทำให้ลำแสงเอาท์พุทของเลเซอร์ไดโอดมีเสถียรภาพ (stable) คือ

3.7.1 โหมดกระแสคงที่

วงจรจ่ายกระแสคงที่เป็นวงจรที่ทำให้เรามั่นใจได้ว่า กระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ไดโอดมีค่าคงที่ ทำให้ได้ลำแสงเอาท์พุทที่มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง เราจะใช้วงจรจ่ายกระแสคงที่ในการหาคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆของเลเซอร์ไดโอด ยกตัวอย่างเช่น คุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดัน (I-V characteristics) เป็นต้น กำลังแสงเอาท์พุทของเลเซอร์ไดโอดเมื่อใช้วงจรจ่ายกระแสคงที่นั้นจะเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยนี้เรายอมรับได้สำหรับการประยุกต์ใช้เลเซอร์ไดโอดในงานต่างๆ เช่น เลเซอร์พอยน์เตอร์ หรือปืนเลเซอร์

3.7.2 โหมดกำลังแสงเอาท์พุทคงที่

เป็นวงจรที่อาศัยการป้อนกลับของโฟโตไดโอดซึ่งจะตรวจสอบแสงที่ออกมาจากเลเซอร์ไดโอดและจะควบคุมสัญญาณสำหรับเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้กำลังแสงเอาท์พุทมีค่าคงที่ ถ้าเราต้องการจะขับลำแสงเลเซอร์ไดโอดจนถึงค่ากำลังแสงเอาท์พุทของเลเซอร์สูงสุด ควรจะใช้วงจรควบคุมแสงเอาท์พุทคงที่เพื่อป้องกันเลเซอร์ไดโอดเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การดำเนินงาน

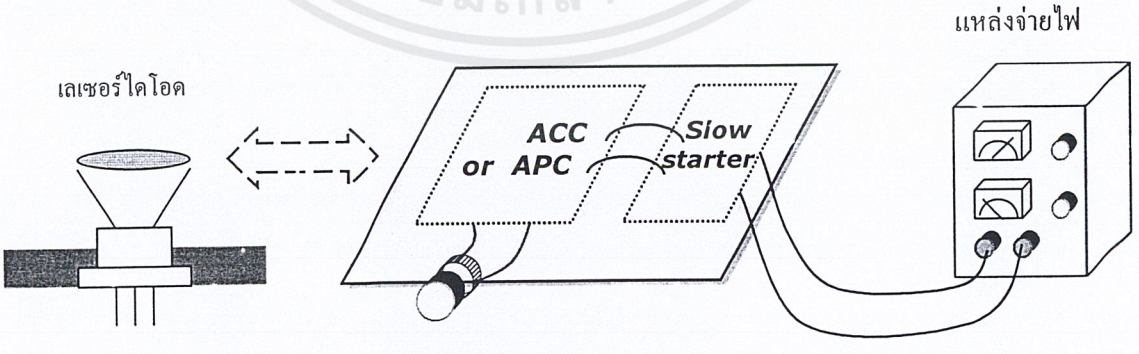
4.1 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

ในการทำโครงงานพิเศษมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) ศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเลเซอร์ไดโอดแบบต่างๆ
2) ศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด
3) สร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอดโดยสามารถปรับค่ากระแสให้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0- 100 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งเป็นช่วงกระแสที่เลเซอร์ไดโอดส่วนใหญ่ทำงาน
4) สร้างเป็นชุดอุปกรณ์โดยประกอบด้วยวงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด อีกทั้งยังสามารถทำการมอดูเลตเลเซอร์ไดโอดได้
5) ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดอุปกรณ์
6) วิเคราะห์ผลการทดสอบและปรับปรุงในกรณีที่มีการทำงานไม่ตรงตามต้องการ
7) สรุปผลและหาข้อเสนอแนะ

4.2 การออกแบบระบบ (System Design)

ระบบการทำงานที่ใช้ในการทดสอบวงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอดที่ออกแบบมาแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงระบบการทำงานของวงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบระบบการทำงานของวงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอดจากความต้องการของระบบได้แก่

4.1.1 วงจรขับและควบคุมที่มีเสถียรภาพ สามารถปรับกระแสให้อยู่ในช่วงที่เลเซอร์ไดโอดต้องการได้

4.1.2 มีวงจรจำกัดการไหลของกระแส (current limit) เพื่อป้องกันการเกิดโอเวอร์ไดร์ฟ (overdrive) แก่เลเซอร์ไดโอด

4.1.3 มีวงจรสโลว์สตาร์ทเตอร์ (slow starter) และวงจรฟิลเตอร์ (filter) เพื่อป้องกันการเกิดคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงแบบช่วงสั้น (transient current) ซึ่งมีผลทำให้เลเซอร์ไดโอดเสียหาย

4.1.4 เลเซอร์ไดโอดมีคุณสมบัติของการผสมคือ สามารถมอดูเลตได้

4.1.5 พัฒนาชุดอุปกรณ์ขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอดให้อยู่ในรูปแบบของลายทองแดง (Line Print) โดยมีขนาดกะทัดรัด และใช้งานได้ดี

4.1.6 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

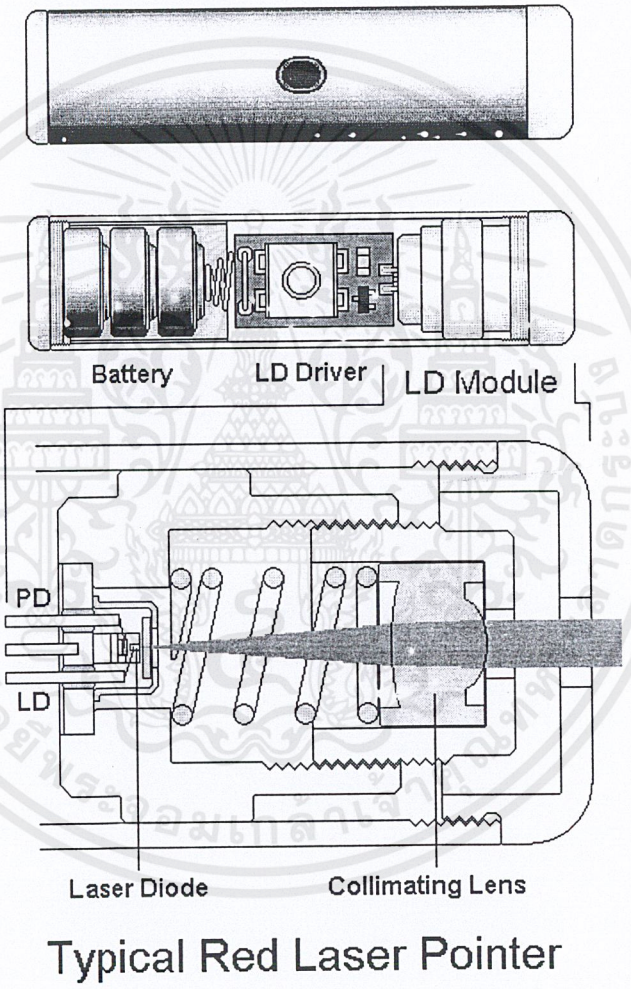
4.3 การดำเนินงาน

เนื่องจากเลเซอร์ไดโอดนั้นมีราคาค่อนข้างแพงและลักษณะขาภายในของเลเซอร์ไดโอดแต่ละบริษัทผู้ผลิตนั้นมีลักษณะแตกต่างกันไป รวมทั้งเลเซอร์ไดโอดนั้นเสียหายได้ง่ายถ้ามีการไบอัสไม่ถูกต้องหรือจ่ายกระแสไฟฟ้าเกินขีดจำกัดที่เลเซอร์ไดโอดจะสามารถทำงานได้ นอกจากนี้ยังจะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษถึงสาเหตุของไฟฟ้าสถิตที่จะทำให้เลเซอร์ไดโอดเสียหายอีกด้วย ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการนำเอาเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่มีราคาถูก (Cheap laser pointer or pen) มาใช้เป็นตัวแทนของเลเซอร์ไดโอดที่มีราคาแพงในการทดสอบวงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด เมื่อพิจารณาถึงข้อแตกต่างระหว่างเลเซอร์พอยน์เตอร์ราคาถูกกับเลเซอร์ไดโอดที่มีราคาแพงนั้นจะต่างกันในเรื่องของกระแสใช้งาน (operating current) แรงดันใช้งาน (operating voltage) และกำลังวัตต์ที่ออกมา (optical power output) ซึ่งข้อดีของการใช้เลเซอร์พอยน์เตอร์มาใช้เป็นตัวทดสอบคือ เลเซอร์พอยน์เตอร์นั้นมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย บางตัวนั้นราคาไม่เกิน 200 บาท ทำให้เราประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบวงจรเมื่อเทียบกับการใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีราคาแพงมาเป็นตัวทดสอบ แต่การใช้เลเซอร์พอยน์เตอร์เป็นตัวทดสอบนั้นมีข้อเสียคือ โครงสร้างภายในของเลเซอร์พอยน์เตอร์บางตัวนั้นทำมาจากวัสดุที่ไม่มีคุณภาพ เมื่อแกะมาทดสอบแล้วเสียหายง่าย ข้อเสียอีกสาเหตุหนึ่งคือ ไม่ทราบถึงข้อมูลของเลเซอร์พอยน์เตอร์ได้ว่าต้องใช้กระแสขับเท่าไร ใช้แรงดันตกคร่อมสูงสุดเท่าไรและลักษณะขาภายในนั้นมีลักษณะเป็นเช่นใด เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่ใช้เป็นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

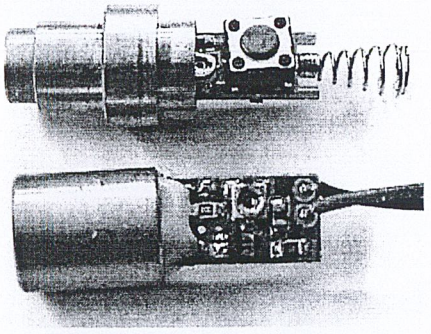
อ้างอิงในการทดสอบนั่นเอง ทำให้อาจเป็นปัญหาในการออกแบบและสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ขับและควบคุมขึ้นมา

4.3.1 เลเซอร์พอยน์เตอร์ (laser pointer)

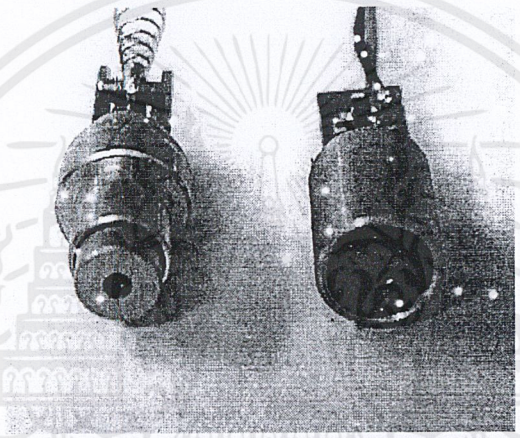


รูปที่ 4.2 เลเซอร์พอยน์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

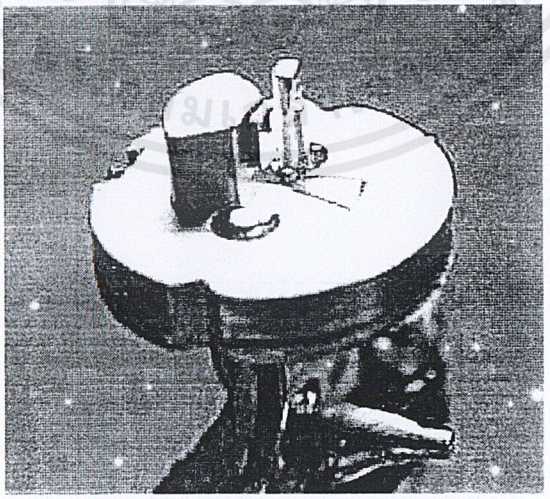


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 ภาพแสดงเลเซอร์พอยน์เตอร์ด้านต่างๆ (ก) ด้านข้าง และ(ข) ด้านหน้า



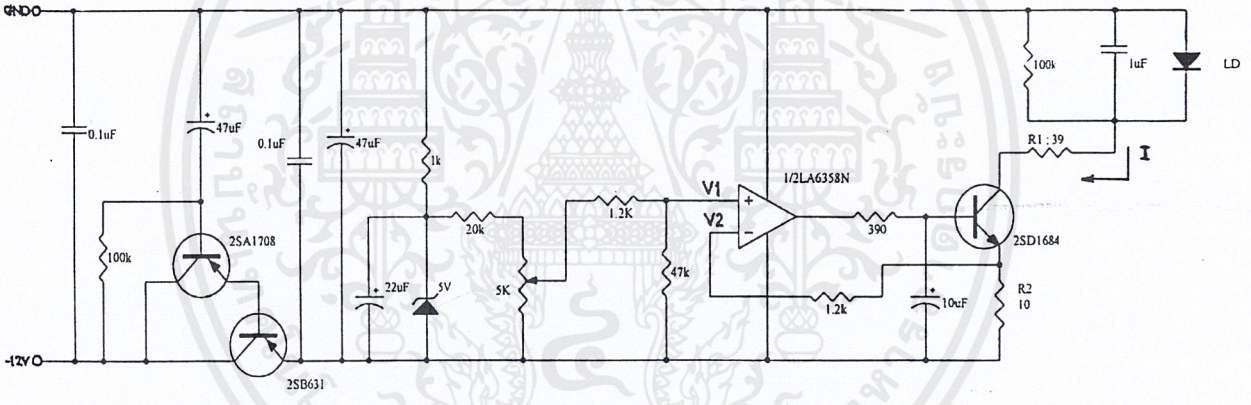
รูปที่ 4.4 โครงสร้างภายในของเลเซอร์พอยน์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 วงจรขับเลเซอร์ไดโอด

วงจรขับเลเซอร์ไดโอดแบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลัก คือ วงจรควบคุมกระแสแบบอัตโนมัติ (automatic current control circuit ; ACC) ซึ่งจะได้ค่ากระแสที่คงที่ และ วงจรควบคุมกำลังแบบอัตโนมัติ (automatic power control circuit ; APC) ซึ่งจะได้ค่ากำลังแสงที่ออกมาคงที่ โดยปกติแล้ววงจรควบคุมกระแสแบบอัตโนมัติ (ACC) มักจะใช้เฉพาะในการวัดคุณลักษณะของเลเซอร์ไดโอดซึ่งจะได้ค่ากระแสที่ใช้ขับเลเซอร์ไดโอดคงที่ และถึงแม้ว่าค่ากระแสที่ใช้ขับจะมีค่าคงที่แต่ค่ากำลังแสงที่ออกมาก็จะเปลี่ยนแปลงอย่างมากอันเนื่องมาจากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ดังนั้นวงจรควบคุมกำลังแบบอัตโนมัติ (APC) จึงถูกนำมาใช้เพื่อที่จะควบคุมกำลังแสงให้มีค่าคงที่อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

(1) วงจรควบคุมกระแสแบบอัตโนมัติ (automatic current control circuit ; ACC)



รูปที่ 4.5 วงจรควบคุมกระแสแบบอัตโนมัติ (automatic current control circuit ; ACC)

วงจร ACC ประกอบไปด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนวงจรสโลว์สตาร์ทเตอร์ (slow starter) และส่วนวงจรขับ ACC โดยที่ส่วนของวงจรสโลว์สตาร์ทเตอร์ทำหน้าที่ในการป้องกันกระแสที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด (transient current) เมื่อทำการเปิดสวิตช์ และส่วนวงจรขับทำหน้าที่ในการควบคุมกระแสของเลเซอร์ไดโอด (LD) โดยมีการทำงานดังนี้ คือ กระแส (I) ที่ออกจากเลเซอร์ไดโอดจะไหลไปยังตัวต้านทาน R2 โดยผ่านทางทรานซิสเตอร์ 2SD1684 เพื่อกำเนิดแรงดันไฟฟ้า V2 = IxR2 จากนั้นออปแอมป์ (op amp) LA6358N จะทำการเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้า V2 กับ ค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง V1 เพราะเมื่อค่าศักย์ไฟฟ้า V2 =V1 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ผลที่ได้ก็คือ

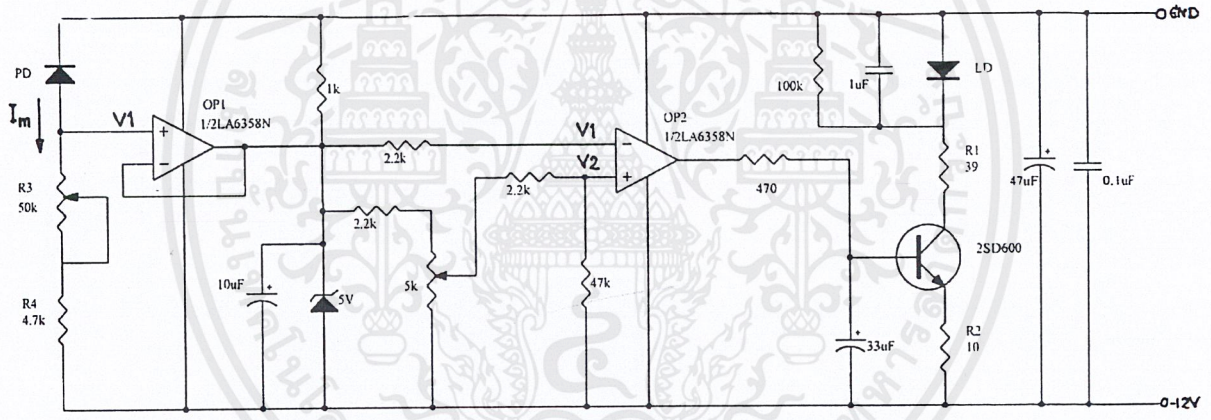
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแส I = V2/R2 = V1/R2 = ค่าคงที่ โดยที่กระแสนี้จะถูกกำหนดโดยตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 KΩ และค่าความต้านทาน R1 และ R2 สามารถที่เปลี่ยนแปลงได้ตามตาราง

ช่วงกระแสที่ใช้งาน	0-100 mA	0-200 mA
R1	39 Ω	18 Ω
R2	10 Ω	5 Ω

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าช่วงของกระแสเมื่อเปลี่ยนค่า R1 และ R2

(2) วงจรควบคุมกำลังแบบอัตโนมัติ (automatic power control circuit ; APC)



รูปที่ 4.6 วงจรควบคุมกำลังแบบอัตโนมัติ (automatic power control circuit ; APC)

วงจรควบคุมกำลังแบบอัตโนมัติชนิดนี้ใช้กับเลเซอร์ไดโอดที่มีลักษณะขาภายใน (pin connecting) แบบระบบจ่ายไฟเลี้ยงลบ (negative power supply system) การทำงานของวงจรนี้เริ่มที่เลเซอร์ไดโอด (LD) จะเริ่มเปล่งแสงออกมา ในขณะเดียวกันก็จะมีกระแสมอนิเตอร์ (monitor current ; Im) บางส่วนไหลไปยังโฟโตไดโอด (PD) เพื่อทำการตรวจสอบกำลังที่ออกมาของเลเซอร์ไดโอด ซึ่งการไหลของกระแสมอนิเตอร์นี้จะก่อให้เกิดแรงดัน V1 = Im (R3+R4) ขึ้น และแรงดันนี้จะถูกส่งไปยังออปแอมป์ตัวที่หนึ่ง (OP1) ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์และส่งต่อไปยังออปแอมป์ตัวที่สอง (OP2) แรงดันอ้างอิง V2 ของออปแอมป์ตัวที่สองได้มาจากซีเนอร์ไดโอดและตัวต้านทานปรับค่าได้ จากนั้นออปแอมป์ตัวที่สองจะทำการเปรียบเทียบแรงดันทั้งสองค่านี้เพื่อที่จะนำไปเปลี่ยนแปลงค่ากระแสเบสและเมื่อกระแสเบสเปลี่ยนกระแสคอลเลคเตอร์จะเปลี่ยนตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลอง

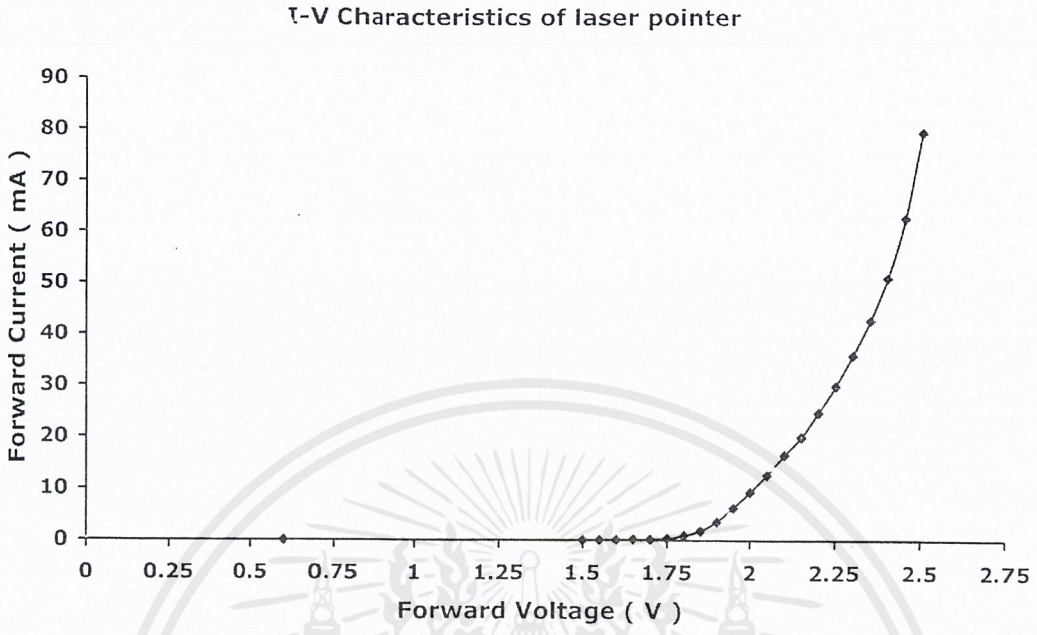
การทดลองวัดคุณสมบัติของเลเซอร์พอยน์เตอร์ โดยใช้วงจรควบคุมกระแสแบบอัตโนมัติ (automatic current control circuit ; ACC) ในการทดสอบ

ผลการทดลองครั้งที่ 1

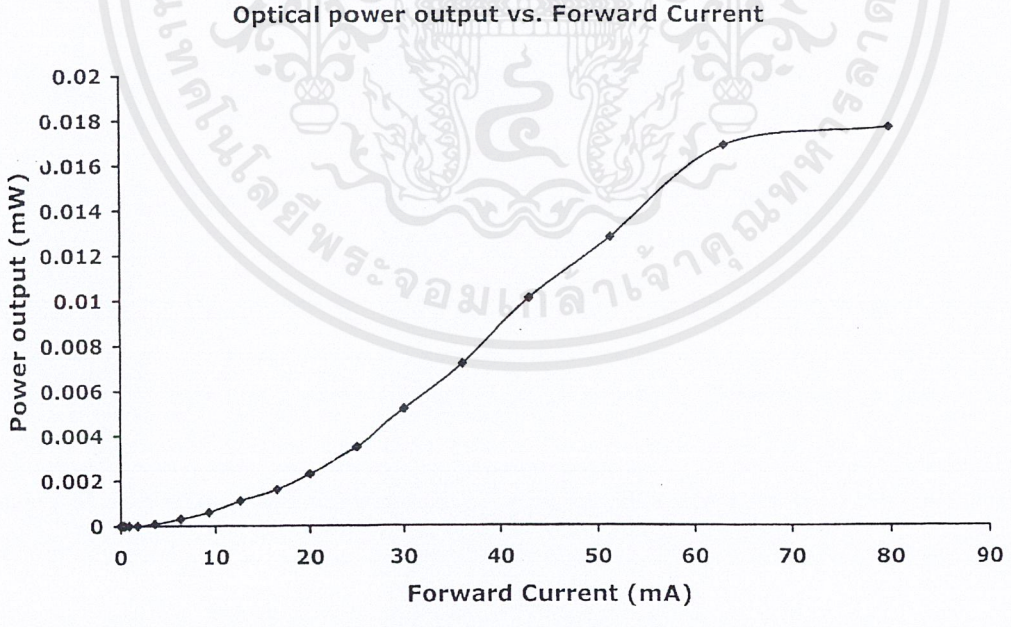
Voltage (V)	Forward current (mA)	Optical power output (mW)	Monitor current (mA)
0.60	0.0	0.0000	0.000
1.50	0.1	0.0000	0.000
1.55	0.1	0.0000	0.000
1.60	0.1	0.0000	0.000
1.65	0.2	0.0000	0.000
1.70	0.2	0.0000	0.000
1.75	0.4	0.0000	0.000
1.80	0.9	0.0000	0.000
1.85	1.8	0.0000	0.000
1.90	3.6	0.0001	0.000
1.95	6.3	0.0003	0.001
2.00	9.3	0.0006	0.002
2.05	12.6	0.0011	0.002
2.10	16.5	0.0016	0.003
2.15	20.0	0.0023	0.004
2.20	24.8	0.0035	0.005
2.25	30.0	0.0052	0.006
2.30	36.0	0.0072	0.007
2.35	42.9	0.0101	0.008
2.40	51.2	0.0128	0.009
2.45	62.9	0.0169	0.010
2.50	79.7	0.0177	0.011

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดคุณสมบัติของเลเซอร์พอยน์เตอร์ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

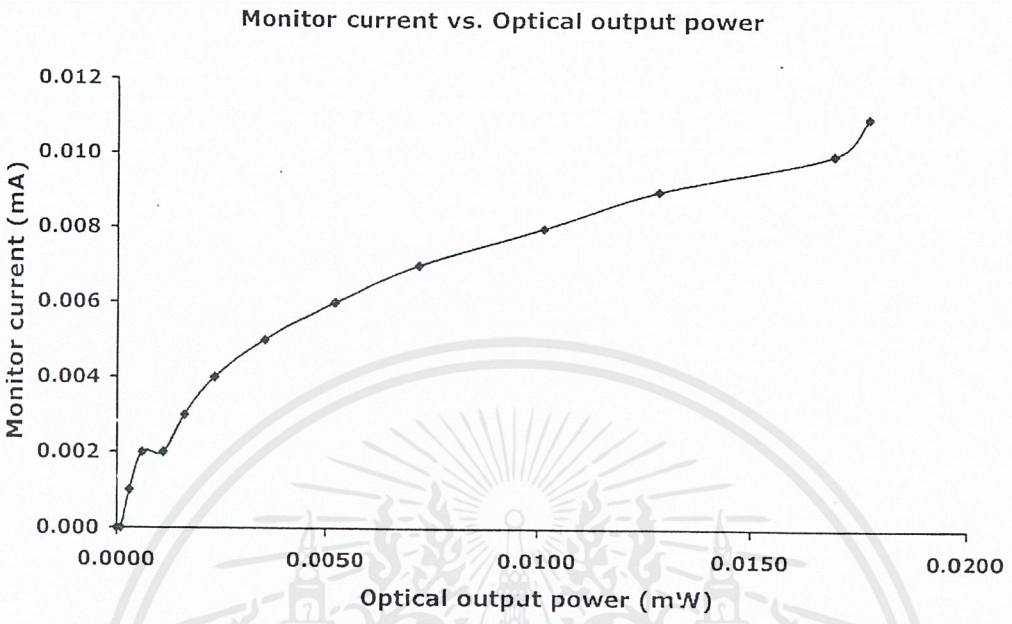


รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของผลการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงที่ออกมาและกระแสของผลการทดลองครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมอนิเตอร์และกำลังแสงที่ออกมาของผลการทดลองครั้งที่ 1

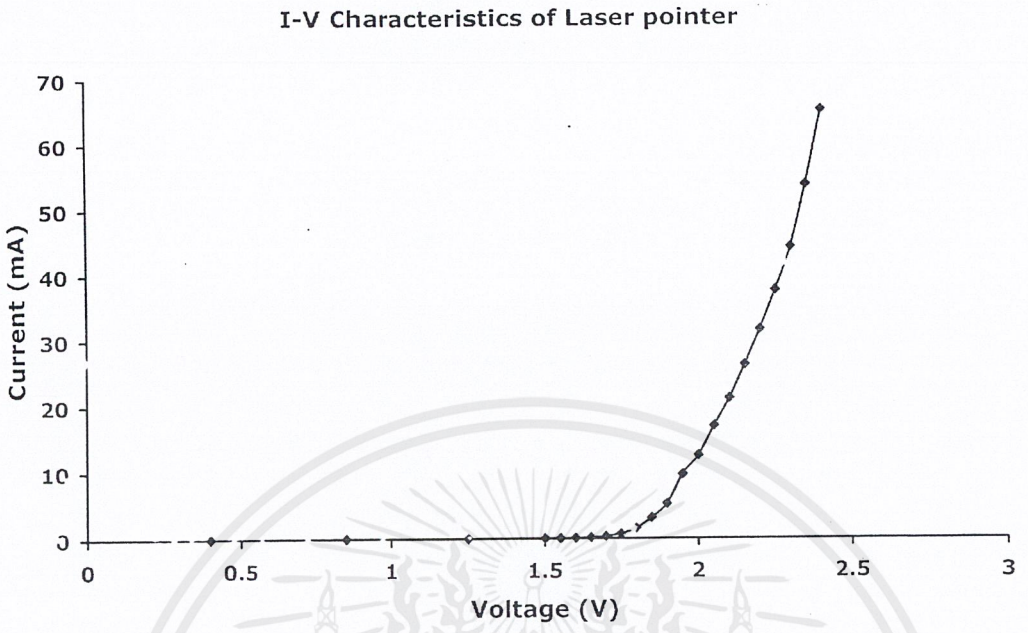
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 2

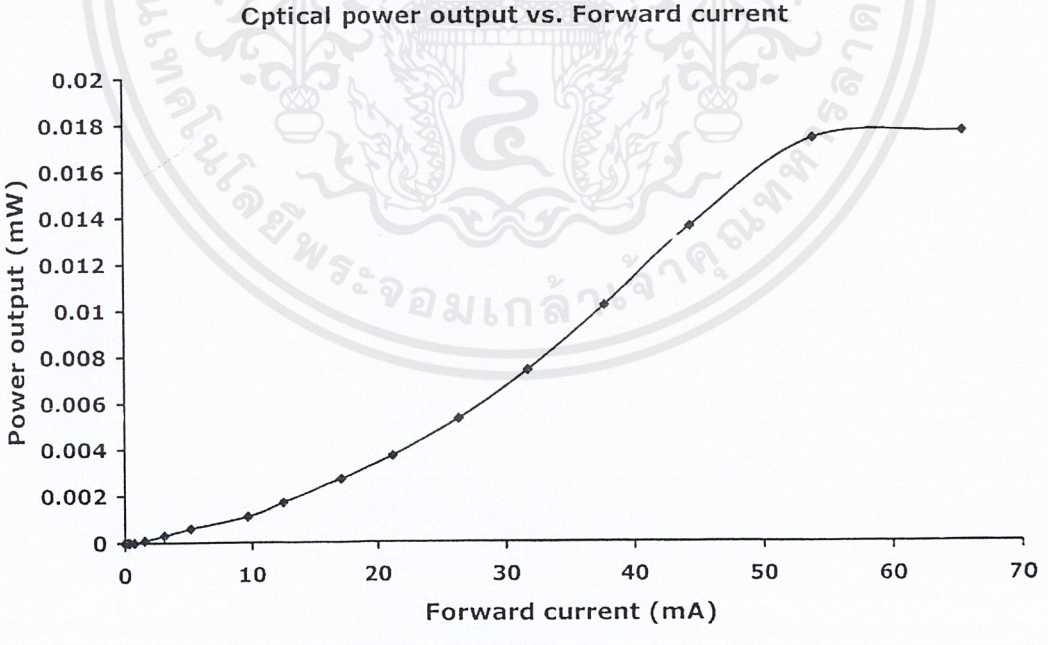
Voltage (V)	Forward current (mA)	Optical power output (mW)	Monitor current (mA)
0.40	0.01	0.0000	0.000
0.85	0.02	0.0000	0.000
1.25	0.03	0.0000	0.000
1.50	0.05	0.0000	0.000
1.55	0.06	0.0000	0.000
1.60	0.11	0.0000	0.000
1.65	0.18	0.0000	0.000
1.70	0.34	0.0000	0.000
1.75	0.73	0.0000	0.000
1.80	1.54	0.0001	0.001
1.85	3.13	0.0003	0.001
1.90	5.22	0.0006	0.002
1.95	9.66	0.0011	0.002
2.00	12.53	0.0017	0.003
2.05	16.99	0.0027	0.004
2.10	21.2	0.0037	0.005
2.15	26.3	0.0053	0.006
2.20	31.7	0.0074	0.007
2.25	37.7	0.0102	0.008
2.30	44.3	0.0136	0.009
2.35	53.8	0.0174	0.010
2.40	65.2	0.0177	0.011

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดคุณสมบัติของเลเซอร์พอยน์เตอร์ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

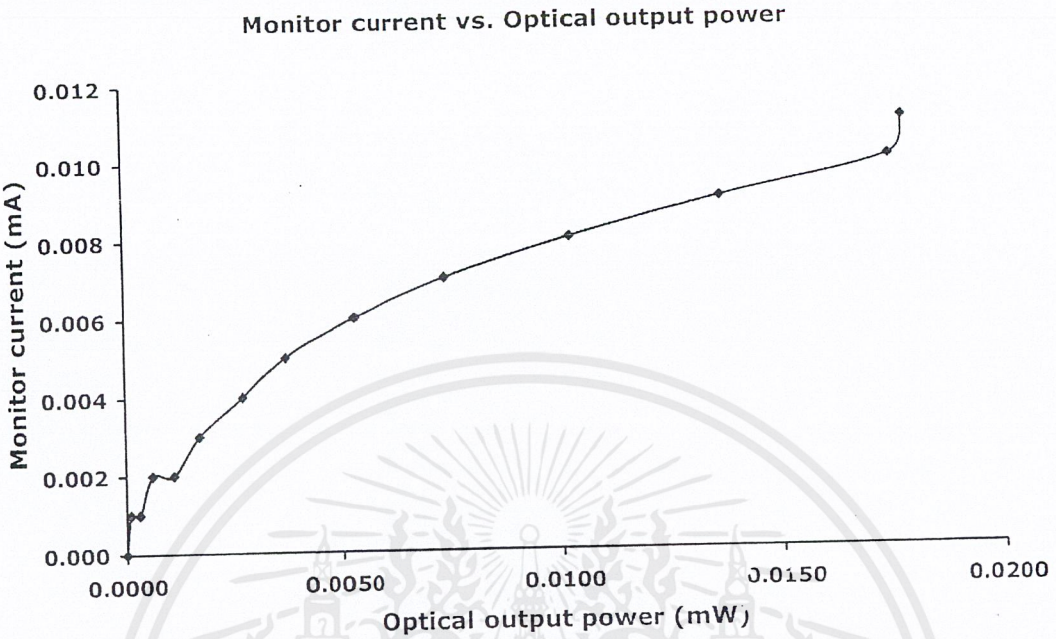


รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของผลการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงที่ออกมาและกระแสของผลการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมอนิเตอร์และกำลังแสงที่ออกมาของผลการทดลองครั้งที่ 2

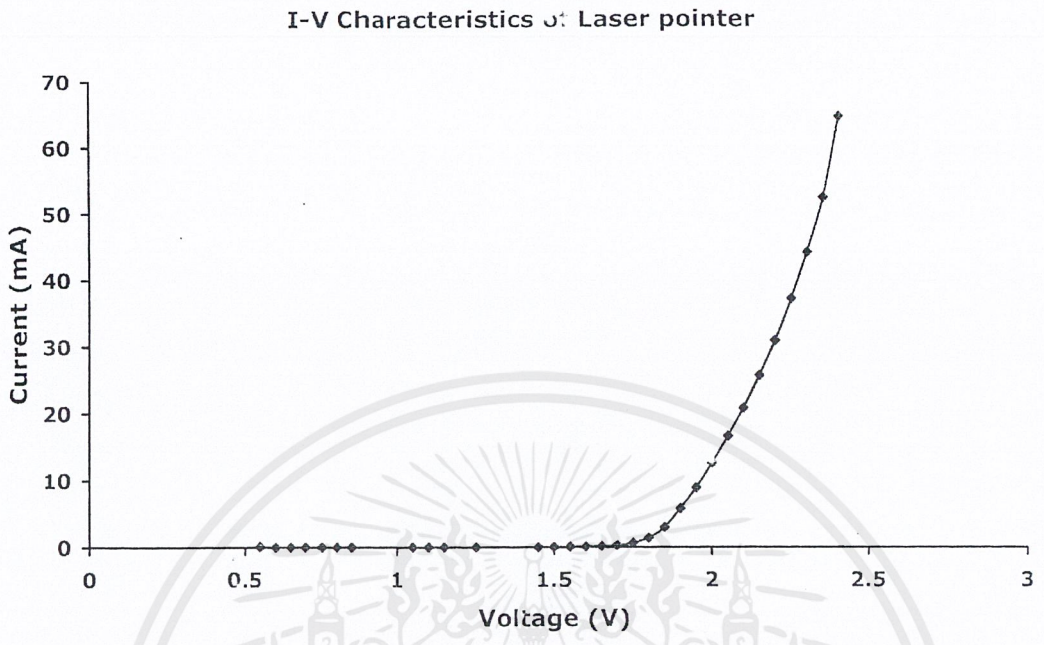
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 3

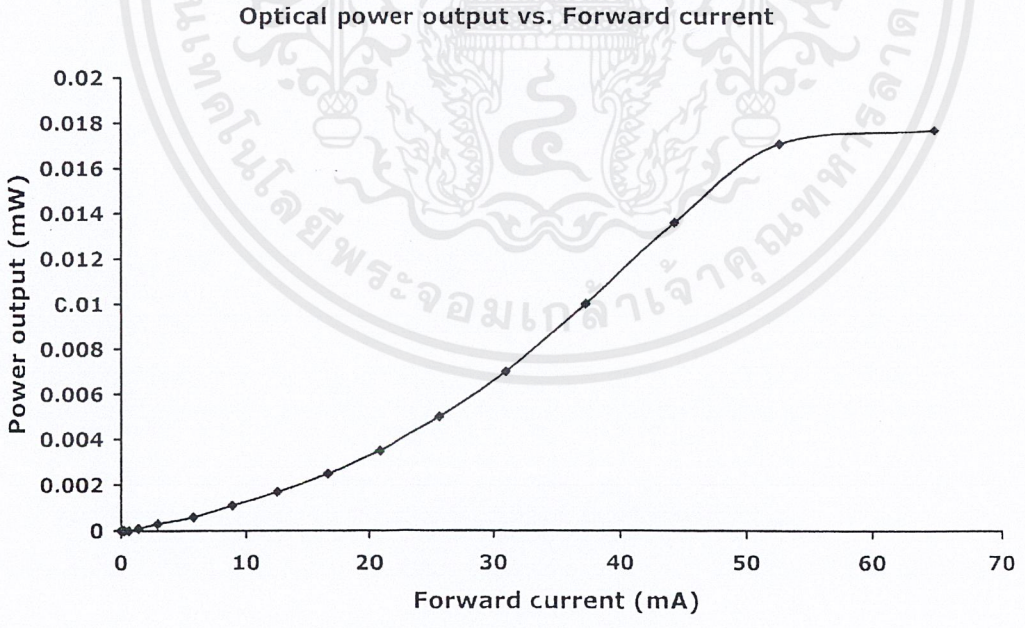
Voltage (V)	Forward current (mA)	Optical power output (mW)	Monitor current (mA)
0.60	0.01	0.0000	0.000
0.80	0.02	0.0000	0.000
1.10	0.03	0.0000	0.000
1.15	0.03	0.0000	0.000
1.25	0.03	0.0000	0.000
1.45	0.04	0.0000	0.000
1.50	0.05	0.0000	0.000
1.55	0.07	0.0000	0.000
1.60	0.10	0.0000	0.000
1.65	0.16	0.0000	0.000
1.70	0.28	0.0000	0.000
1.75	0.62	0.0000	0.000
1.80	1.40	0.0001	0.001
1.85	2.97	0.0003	0.001
1.90	5.82	0.0006	0.002
1.95	8.91	0.0011	0.002
2.00	12.56	0.0017	0.003
2.05	16.62	0.0025	0.004
2.10	20.8	0.0035	0.005
2.15	25.7	0.0050	0.006
2.20	30.9	0.0070	0.007
2.25	37.2	0.0100	0.008
2.30	44.2	0.0136	0.009
2.35	52.5	0.0171	0.010
2.40	64.7	0.0177	0.011

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดคุณสมบัติของเลเซอร์พอยน์เตอร์ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

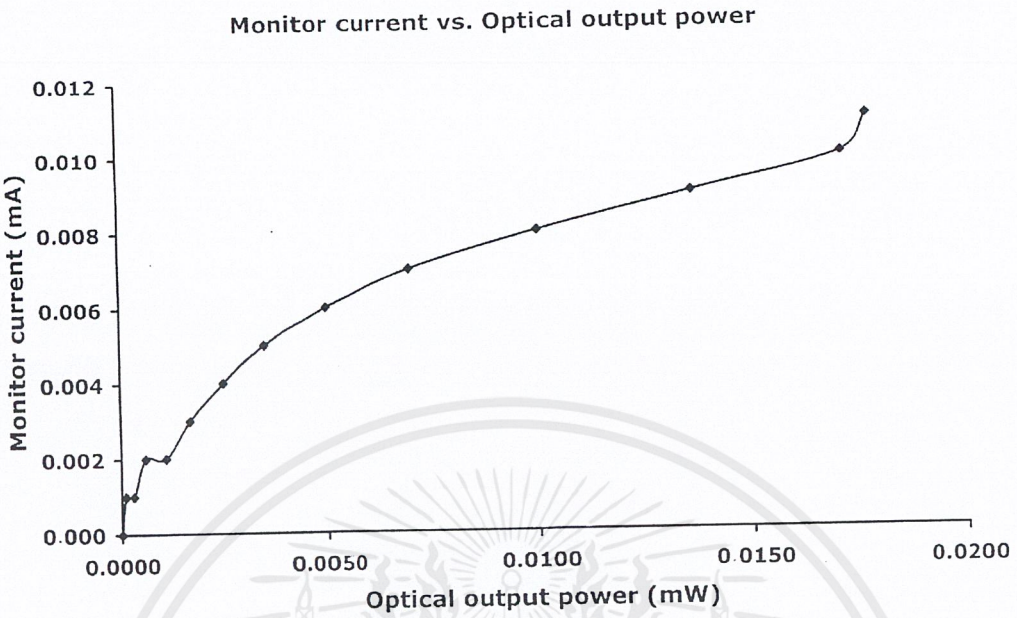


รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของผลการทดลองครั้งที่ 3



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแสงที่ออกมาและกระแสของผลการทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

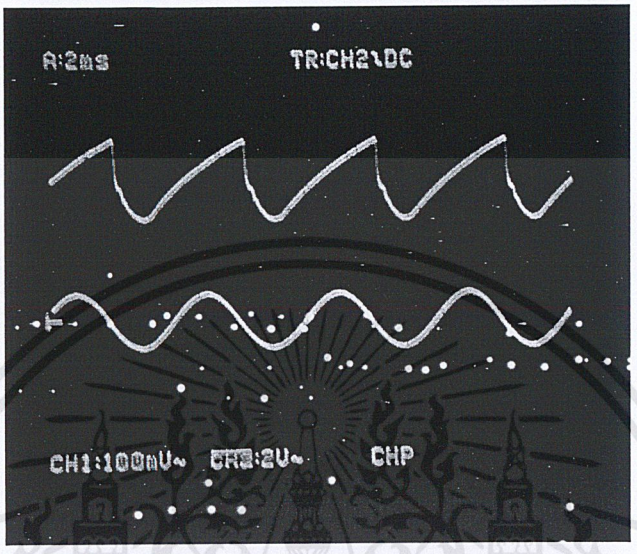


รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสมอนิเตอร์และกำลังแสงที่ออกมาของผลการทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

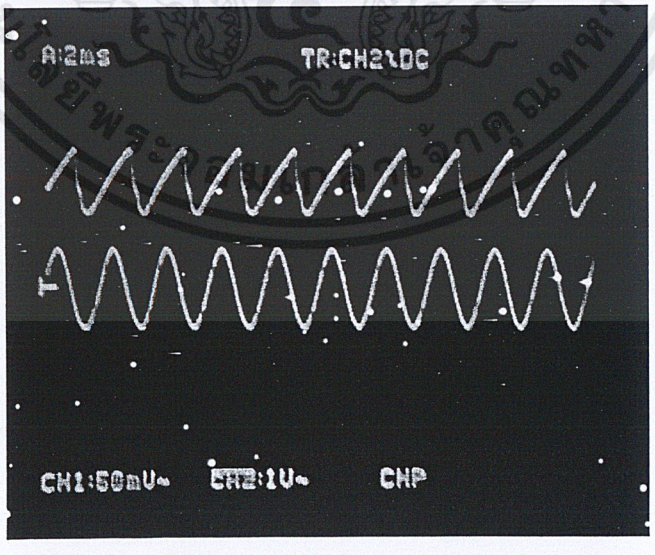
การทดลองวัดสัญญาณมอดูเลต

ที่ความถี่ 200 Hz



รูปที่ 4.16 สัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากตัวเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่ใช้ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณที่มาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ที่ความถี่ 200 Hz

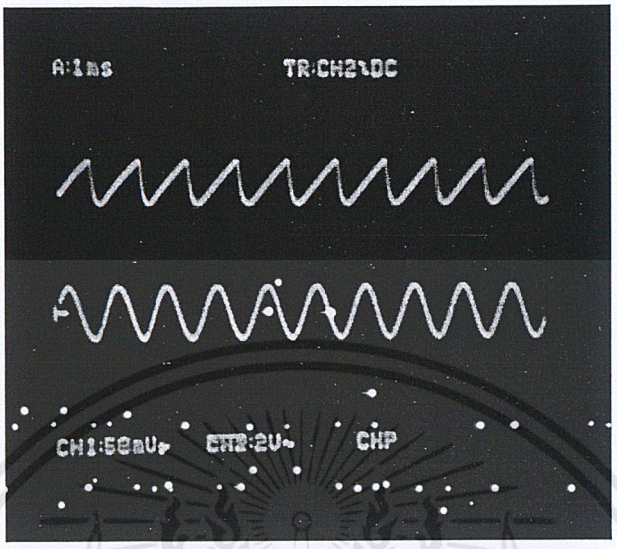
ที่ความถี่ 500 Hz



รูปที่ 4.17 สัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากตัวเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่ใช้ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณที่มาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ที่ความถี่ 500 Hz

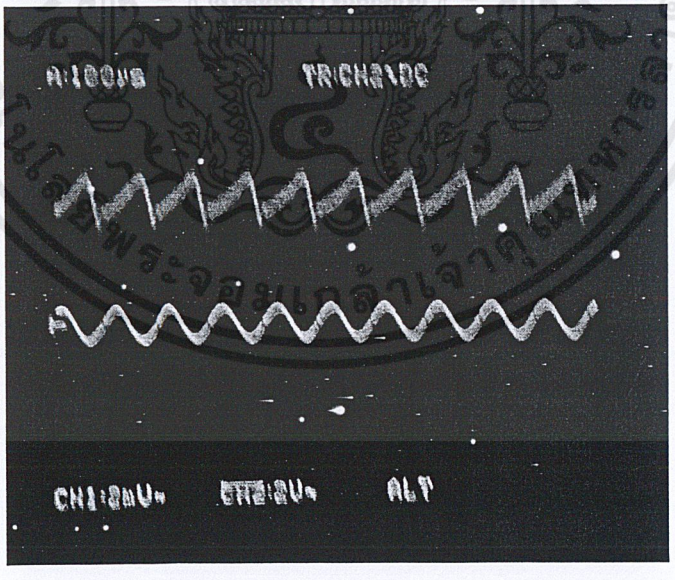
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความถี่ 1 KHz



รูปที่ 4.18 สัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากตัวเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่ใช้ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณที่มาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ที่ความถี่ 1 KHz

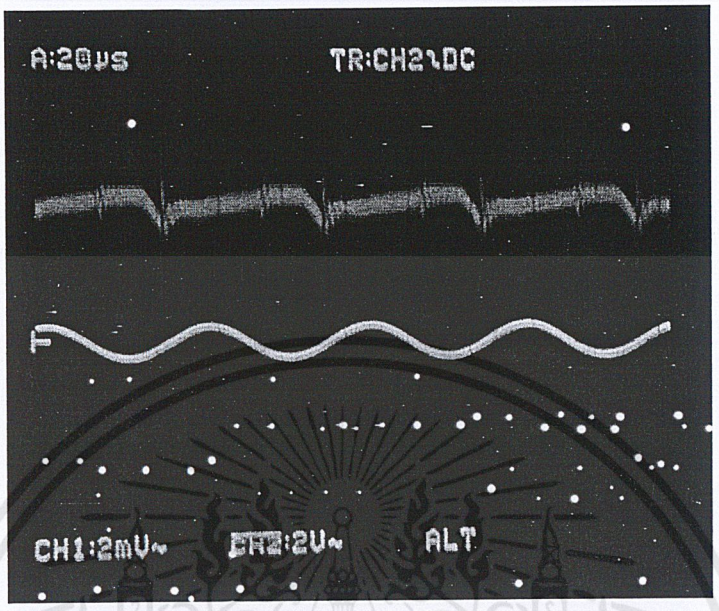
ที่ความถี่ 10 KHz



รูปที่ 4.19 สัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากตัวเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่ใช้ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณที่มาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ที่ความถี่ 10 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความถี่ 20 KHz



รูปที่ 4.20 สัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากตัวเลเซอร์พอยน์เตอร์ที่ใช้ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณที่มาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ที่ความถี่ 20 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดสอบวงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอดที่ได้ทำการออกแบบมา ซึ่งวงจรที่ใช้ขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอดมีอยู่ 2 วงจรที่สำคัญ ได้แก่

- Automatic current control circuit ; ACC
- Automatic power control circuit ; APC

ในการทดลองนี้เราเลือกใช้วงจรควบคุมกระแสแบบอัตโนมัติ (ACC) เป็นวงจรที่ใช้ในการทดสอบการวัดคุณสมบัติของเลเซอร์พอยน์เตอร์ และทดสอบการมอดูเลตของวงจร เนื่องจากเราไม่ได้ขับเลเซอร์ไดโอดให้กำลังแสงเอาท์พุทมีค่าสูงสุด แต่ถ้าเราจะขับเลเซอร์ไดโอดให้กำแสงเอาท์พุทมีค่าสูงสุดแล้ว จะต้องใช้วงจรควบคุมกำลังแบบอัตโนมัติ (APC) โดยอาศัยการป้อนกลับของกระแสมอนิเตอร์จากโฟโตไดโอดเป็นตัวควบคุม เพื่อป้องกันกรณีของอุณหภูมิไม่คงที่ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอดเปลี่ยนไปและอาจทำความเสียหายให้แก่เลเซอร์ไดโอดได้

โดยผลการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกเป็นการทดสอบวงจรที่ได้ออกแบบมาโดยการใช้วัดคุณสมบัติของเลเซอร์พอยน์เตอร์ ผลการทดลองที่ได้ออกมาจะแสดงออกมาดังกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน , กำลังแสงที่ออกมากับกระแส และกระแสมอนิเตอร์กับกำลังแสงที่ออกมา ซึ่งผลการทดลองที่ได้ค่อนข้างสอดคล้องกับผลตามทฤษฎี

ส่วนที่สองเป็นการทดสอบการมอดูเลตของวงจรที่ได้ออกแบบมาโดยใส่สัญญาณที่มาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (function generator) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 200-20 KHz ซึ่งเป็นความถี่ในย่านความถี่เสียง (audio frequency) โดยการมอดูเลตนี้จะทำโดยการคัปปลิ้ง (coupling) สัญญาณเข้าที่ขาของตัวต้านทาน 1.2 K ของวงจรควบคุมกระแสแบบอัตโนมัติ และทำการตรวจสอบสัญญาณที่ออกมาโดยใช้ออสซิลโลสโคป (oscilloscope) ในการแสดงรูปสัญญาณที่ได้ ในการตรวจสอบสัญญาณที่ออกมานี้จะสามารถกระทำได้สองวิธีด้วยกัน คือ วิธีแรกเป็นการวัดสัญญาณโดยการใช้ออสซิลโลสโคปจับที่ขาของเลเซอร์ไดโอดเทียบกับสายดินโดยตรง และอีกวิธีหนึ่งคือการนำตัวตรวจจับสัญญาณ (detector) มารับแสงที่ออกมาจากเลเซอร์ แต่ในการทดลองนี้เราเลือกใช้การทดสอบโดยวิธีแรก เนื่องจากไม่สามารถหาตัวตรวจจับสัญญาณที่เหมาะสมกับการวัดได้ ผลการทดลองที่ออกมาแสดงดังรูปที่ 4.16 – 4.20 เป็นรูปสัญญาณที่วัดได้เปรียบเทียบกับสัญญาณที่วัดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่โดยตรง จะสังเกตได้ว่าที่ความถี่ประมาณ 200 – 1KHz สัญญาณที่วัดได้จะมีรูปสัญญาณใกล้เคียงกับรูปสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณตรง แต่อาจมีการเพี้ยนของสัญญาณไปบ้างอาจเนื่องมากจากสัญญาณรบกวน (noise) ซึ่งสามารถทำการแก้ไขได้โดยการเพิ่มวงจรกรองสัญญาณเข้าไป ส่วนที่ความถี่สูงๆนั้นสัญญาณที่ได้เริ่มจะมีเฟสเปลี่ยนไปเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยตรง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการตอบสนองต่อความถี่ของอุปกรณ์แต่ละตัวมีความสามารถสูงสุดได้แค่นั้น ถ้าจะทำการมอดูเลตที่ความถี่สูงกว่านี้ก็จำเป็นที่จะต้องทำการเปลี่ยนเป็นอุปกรณ์ที่สามารถตอบสนองต่อความถี่ได้สูงกว่านี้มาใส่ในวงจรแทน

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทำงานเกี่ยวกับเลเซอร์ไดโอดจะต้องคำนึงถึงการเกิดไฟฟ้าสถิตแก่เลเซอร์ไดโอดด้วย ซึ่งการเกิดไฟฟ้าสถิตจะมีผลทำให้ชิพภายในเลเซอร์ไดโอดเสียหาย ดังนั้นจึงควรให้ความระมัดระวังในการสัมผัสกับเลเซอร์และป้องกันไม่ให้เกิดไฟฟ้าสถิตแก่เลเซอร์ไดโอด โดยมีการต่อลงสายดินทุกครั้งตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นและเพื่อป้องกันสัญญาณมอดูเลตไม่ให้มีสัญญาณรบกวนนั้นควรจะมีการต่อสายดินให้กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทุกชิ้น สำหรับการมอดูเลตเลเซอร์ไดโอดผ่านวงจรขับเลเซอร์ไดโอดโดยมอดูเลตสัญญาณความถี่สูงๆนั้น จะต้องพิจารณาถึงค่าความเก็บประจุของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรขับและควบคุมเลเซอร์ไดโอด เนื่องจากตัวเก็บประจุที่มีค่ามากนั้นจะไปจำกัดการมอดูเลตสัญญาณที่ความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dering number: EN 3191A

Monolithic Linear IC

SANYO No.3191A

LA6358N,6358NS

High-Performance Dual Operational Amplifiers

Overview

The LA6358N is an IC integrating two high-performance operational amplifiers in a single package. This operational amplifier contains an internal phase compensator and is designed to operate from a single power supply over a wide range of voltages. As with conventional general-purpose operational amplifiers, operation from dual power supplies is also possible and power dissipation is very low.
This IC can be used widely in commercial and industrial applications including various transducer amplifiers and DC amplifiers.

Features

- Eliminates need for phase compensation
- Wide range of operating supply voltage : 3.0 to 30 0V (single power supply)
  ±1.5 to ±15.0V (dual power supply)
- Input voltage swingable down to nearly ground level and output voltage range V_{OUT} of 0 to $V_{CC}-1.5V$
- Low current dissipation : $I_{CC}=0.5mA$ typ/$V_{CC}=+5V, R_L=\infty$

Maximum Ratings at Ta=25°C

				unit
Maximum Supply Voltage	V_{CC}		32	V
Differential Input Voltage	V_{ID}		32	V
Maximum Input Voltage	V_{IN} max		−0.3 to +32	V
Allowable Power Dissipation	Pd max	Ta≦25°C	570	mW
Operating Temperature	Topr		−30 to +85	°C
Storage Temperature	Tstg		−55 to +125	°C

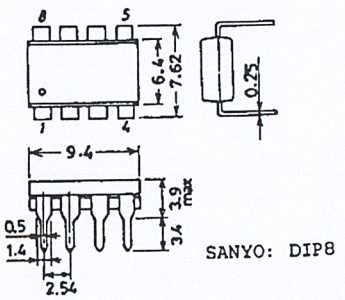
Operating Characteristics at Ta=25°C, $V_{CC}=+5V$

			Test Circuit	min	typ	max	unit
Input Offset Voltage	V_{IO}		1		±2	±7	mV
Input Offset Current	I_{IO}	$I_{IN(+)}/I_{IN(-)}$	2		±5	±50	nA
Input Bias Current	I_B	$I_{IN(+)}/I_{IN(-)}$	3		45	250	nA
Common-Mode Input Voltage Range	V_{ICM}		4	0	$V_{CC}-1.5$		V

Continued on next page.

Package Dimensions 3001B-D8IC
(unit : mm)

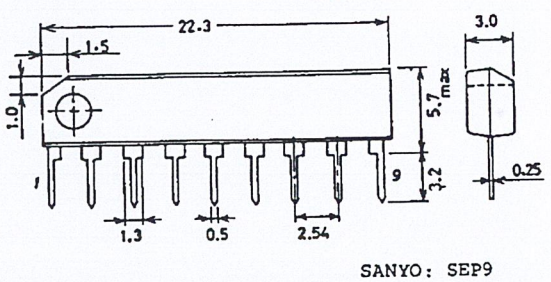
LA6358N



SANYO: DIP8

Package Dimensions 3017B-S9IC
(unit : mm)

LA6358NS



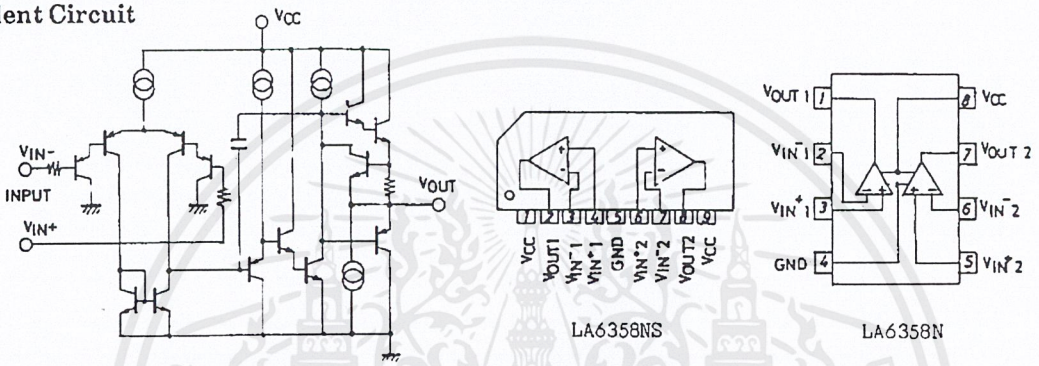
SANYO: SEP9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continued from preceding page.

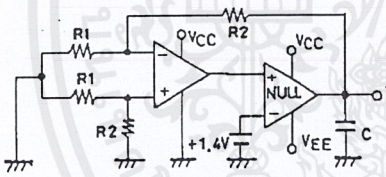
			Test Circuit	min	typ	max	unit
Common-Mode Rejection Ratio	CMR		4	65	80		dB
Large Signal Voltage Gain	VG	$V_{CC}=15V, R_L \geqq 2k\Omega$	5	25	100		V/mV
Output Voltage Range	V_{OUT}			0	$V_{CC}-1.5$		V
Power Supply Rejection Ratio	SVR		6	65	100		dB
Channel Separation		f=1k to 20kHz	7		120		dB
Current Dissipation	I_{CC}		8		0.5	1.2	mA
Output Current (Source)	$I_{O\,source}$	$V_{IN+}=1V, V_{IN-}=0V$	9	20	40		mA
Output Current (Sink)	$I_{O\,sink}$	$V_{IN+}=0V, V_{IN-}=1V$	10	10	20		mA

Equivalent Circuit



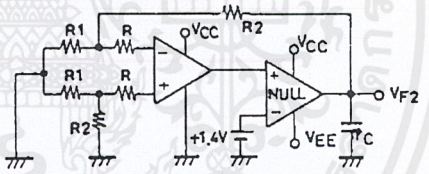
Test Circuits

1. Input Offset Voltage V_{IO}



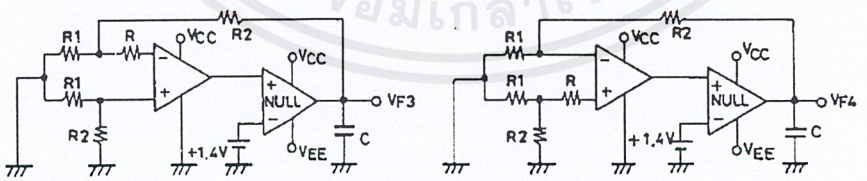
$$V_{IO}=\frac{V_{F1}}{1+R2/R1}$$

2. Input Offset Current I_{IO}



$$I_{IO}=\frac{V_{F2}-V_{F1}}{R\,(1+R2/R1)}$$

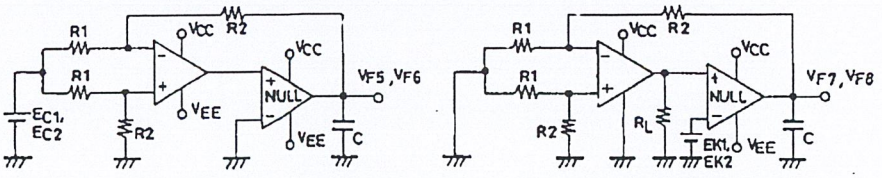
3. Input Bias Current I_B



$$I_B=\frac{V_{F4}-V_{F3}}{2R\,(1+R2/R1)}$$

4. Common-mode Rejection Ratio CMR
Common-mode Input Voltage Range V_{ICM}

5. Voltage Gain VG

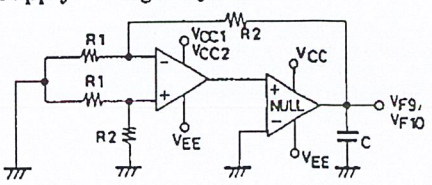


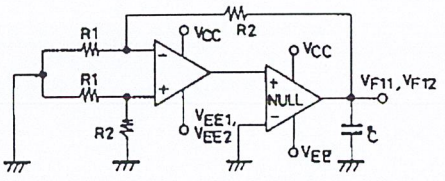
$$CMR=20\log\left|\frac{(E_{C1}-E_{C2})(1+R2/R1)}{V_{F5}-V_{F6}}\right|$$

$$VG=\frac{(E_{K1}-E_{K2})(1+R2/R1)}{V_{F8}-V_{F7}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

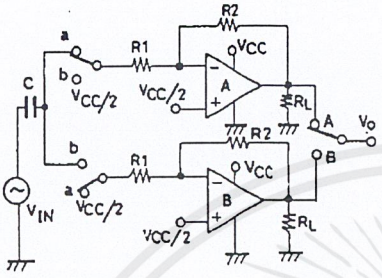
6. Supply Voltage Rejection SVR





$$SVR(+)=20\log\left|\frac{(1+R2/R1)(V_{CC1}-V_{CC2})}{V_{F9}-V_{F10}}\right| \qquad SVR(-)=20\log\left|\frac{(1+R2/R1)(V_{EE1}-V_{EE2})}{V_{F11}-V_{F12}}\right|$$

7. Channel Separation CS



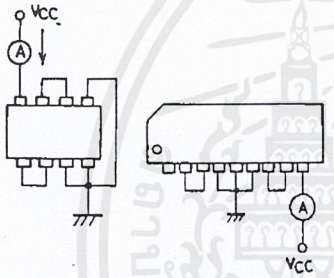
SW : a

$$CS(A\rightarrow B)+20\log\frac{R_2\,V_{OA}}{R_1\,V_{OB}}$$

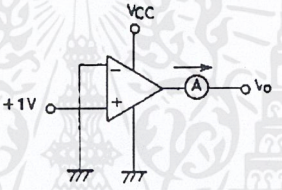
SW : b

$$CS(B\rightarrow A)+20\log\frac{R_2\,V_{OB}}{R_1\,V_{OA}}$$

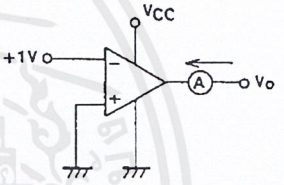
8. Current Dissipation I_{CC}



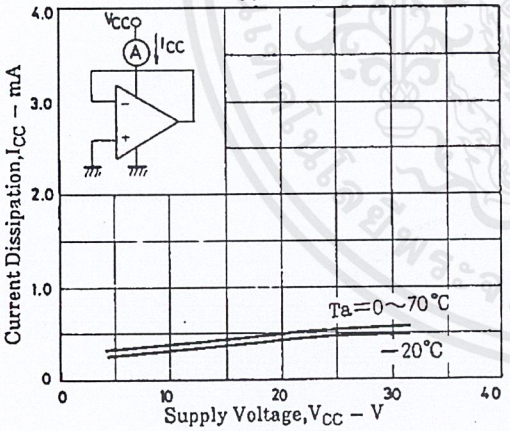
9. Output Current $I_{O\,source}$



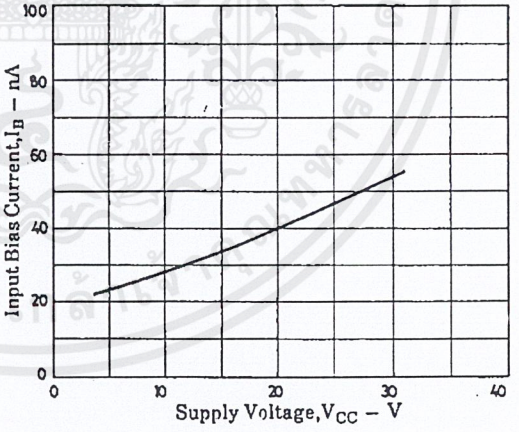
10. Output Current $I_{O\,sink}$



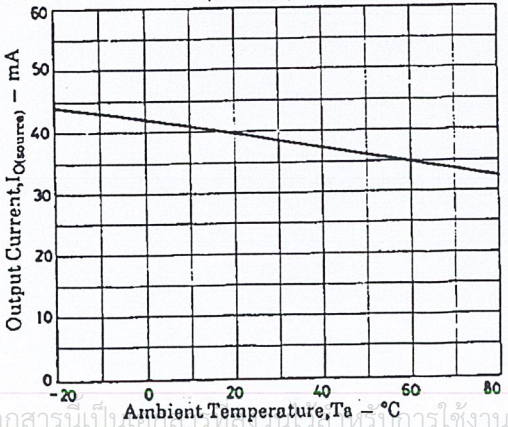
I_{CC} - V_{CC}



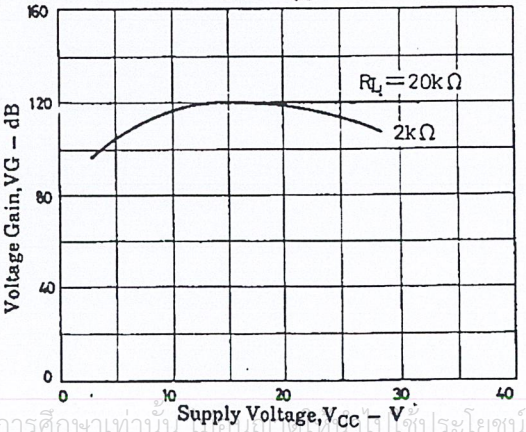
I_B - V_{CC}



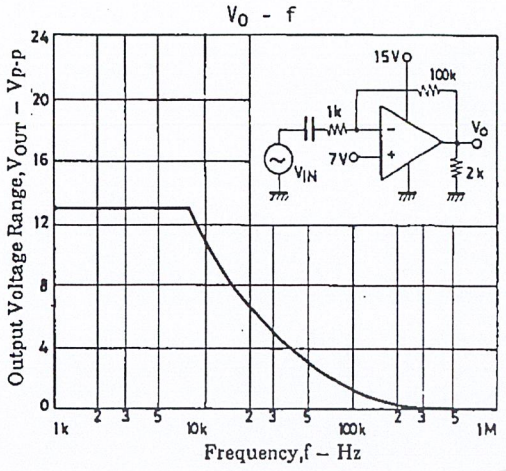
$I_{O(source)}$ - Ta

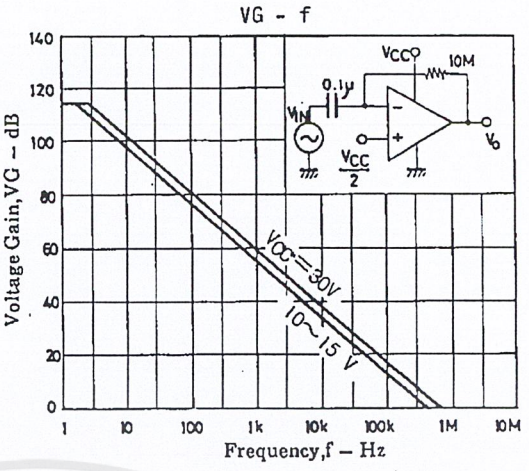


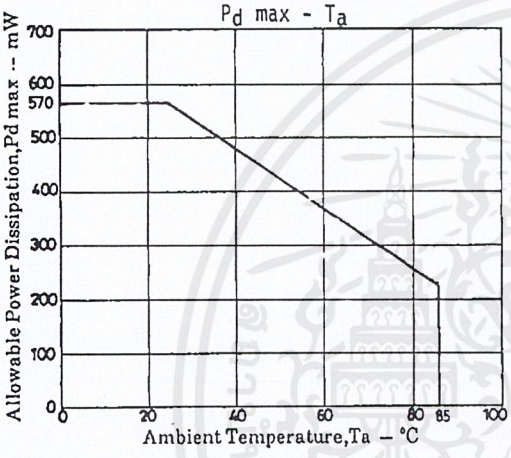
VG - V_{CC}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

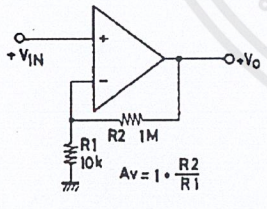




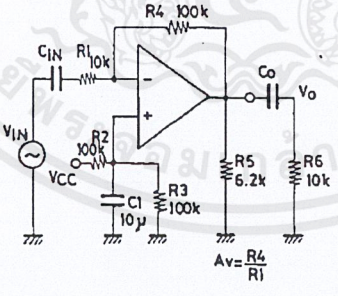


Sample Application Circuits

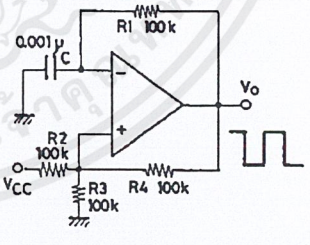
Noninverting DC amplifier



Inverting AC amplifier



Rectangular wave oscillator



Unit (resistance:Ω capacitance:F)

■ No products described or contained herein are intended for use in surgical implants, life-support systems, aerospace equipment, nuclear power control systems, vehicles, disaster/crime-prevention equipment and the like, the failure of which may directly or indirectly cause injury, death or property loss.

■ Anyone purchasing any products described or contained herein for an above-mentioned use shall:
① Accept full responsibility and indemnify and defend SANYO ELECTRIC CO., LTD., its affiliates, subsidiaries and distributors and all their officers and employees, jointly and severally, against any and all claims and litigation and all damages, cost and expenses associated with such use:
② Not impose any responsibility for any fault or negligence which may be cited in any such claim or litigation on SANYO ELECTRIC CO., LTD., its affiliates, subsidiaries and distributors or any of their officers and employees jointly or severally.

■ Information (including circuit diagrams and circuit parameters) herein is for example only; it is not guaranteed for volume production. SANYO believes information herein is accurate and reliable, but no guarantees are made or implied regarding its use or any infringements of intellectual property rights or other rights of third parties.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering number:346G

PNP/NPN Epitaxial Planar Silicon Transistor

2SB631,631K/2SD600,600K

100V/120V, 1A Low-Frequency Power Amplifier Applications

Features

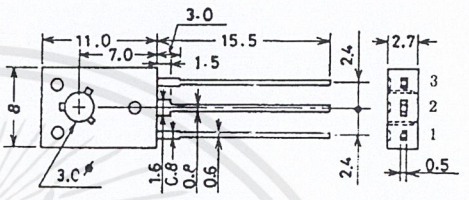
- High breakdown voltage V_{CEO} 100/120V, High current 1A.
- Low saturation voltage, excellent h_{FE} linearity.

Package Dimensions

unit:mm

2009B

[2SB631, 631K/2SD600, 600K]



1 : Emitter
2 : Collector
3 : Base

JEDEC : TO-126

( ) : 2SB631, 631K

Specifications

Absolute Maximum Ratings at Ta = 25°C

Parameter	Symbol	Conditions	2SB631, D600	2SB631K, D600K	Unit
Collector-to-Base Voltage	V_{CBO}		(–)100	(–)120	V
Collector-to-Emitter Voltage	V_{CEO}		(–)100	(–)120	V
Emitter-to-Base Voltage	V_{EBO}		(–)5		V
Collector Current	I_C		(–)1		A
Collector Current (Pulse)	I_{CP}		(–)2		A
Collector Dissipation	P_C		1		W
		Tc=25°C	8		W
Junction Temperature	Tj		150		°C
Storage Temperature	Tstg		–55 to +150		°C

Electrical Characteristics at Ta = 25°C

Parameter	Symbol	Conditions		Ratings min	Ratings typ	Ratings max	Unit
Collector-to-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)CBO}$	I_C=(–)10μA, I_E=0	B631, D600	(–)100			V
			B631K, D600K	(–)120			V
Collector-to-Emitter Brakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	I_C=(–)1mA, R_{BE}=∞	B631, D600	(–)100			V
			B631K, D600K	(–)120			V
Emitter-to-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)EBO}$	I_E=(–)10μA, I_C=0		(–)5			V
Collector Cutoff Current	I_{CBO}	V_{CB}=(–)50V, I_E=0				(–)1	μA
Emitter Cutoff Current	I_{EBO}	V_{EB}=(–)4V, I_C=0				(–)1	μA

■ Any and all SANYO products described or contained herein do not have specifications that can handle applications that require extremely high levels of reliability, such as life-support systems, aircraft's control systems, or other applications whose failure can be reasonably expected to result in serious physical and/or material damage. Consult with your SANYO representative nearest you before using any SANYO products described or contained herein in such applications.

■ SANYO assumes no responsibility for equipment failures that result from using products at values that exceed, even momentarily, rated values (such as maximum ratings, operating condition ranges,or other parameters) listed in products specifications of any and all SANYO products described or contained herein.

SANYO Electric Co.,Ltd. Semiconductor Bussiness Headquaters
TOKYO OFFICE Tokyo Bldg., 1-10, 1 Chome, Ueno, Taito-ku, TOKYO, 110-8534 JAPAN

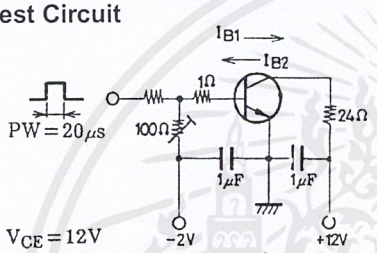
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings			Unit
			min	typ	max	
DC Current Gain	$h_{FE}1$	V_{CE}=(–)5V, I_C=(–)50mA	60*		320*	
	$h_{FE}2$	V_{CE}=(–)5V, I_C=(–)500mA	20			
Gain-Bandwidth Product	f_T	V_{CE}=(–)10V, I_C=(–)50mA		(110)		MHz
				130		MHz
Output Capacitance	C_{ob}	V_{CB}=(–)10V, f=1MHz		(30)20		pF
Collector-to-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	I_C=(–)500mA, I_B=(–)50mA		(–)0.15	(–)0.4	V
Base-to-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	I_C=(–)500mA, I_B=(–)50mA		(–)0.85	(–)1.2	V
Fall Time	t_f	See specified Test Circuit		(80)		ns
				100		ns
Turn-OFF Time	t_{off}	See specified Test Circuit		(100)		ns
				500		ns
Storage Time	t_{stg}	See specified Test Circuit		(600)		ns
				700		ns

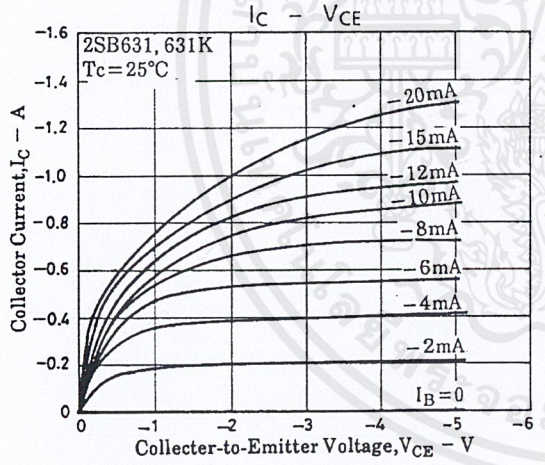
* : The 2SB631/2SD600 are classified by 50mA h_{FE} as follows :

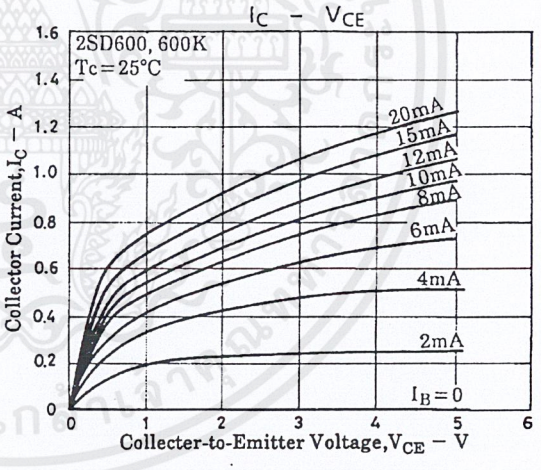
60 D 120	100 E 200	160 F 320

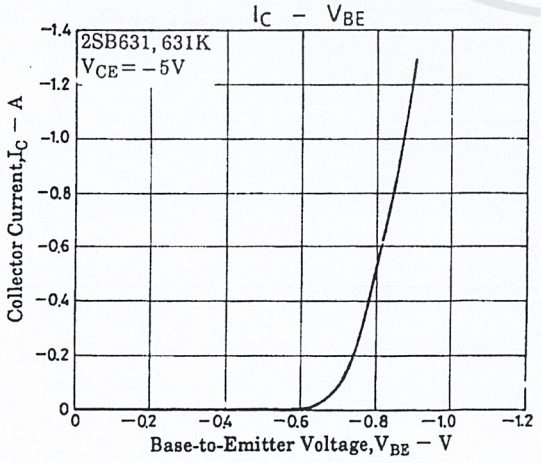
Switching Time Test Circuit

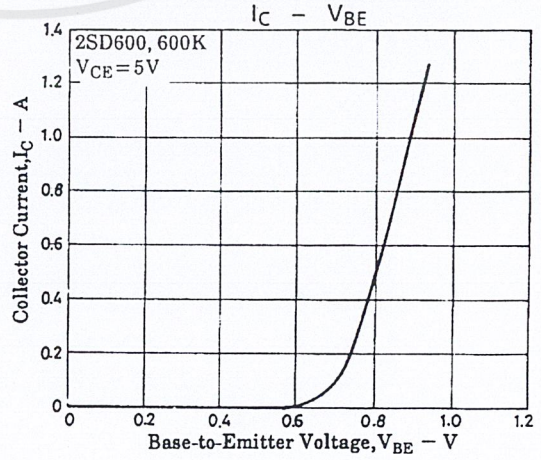


V_{CE} = 12V
I_C = 10I_{B1} = −10I_{B2} = 500mA
(For PNP, the polarity is reversed.)



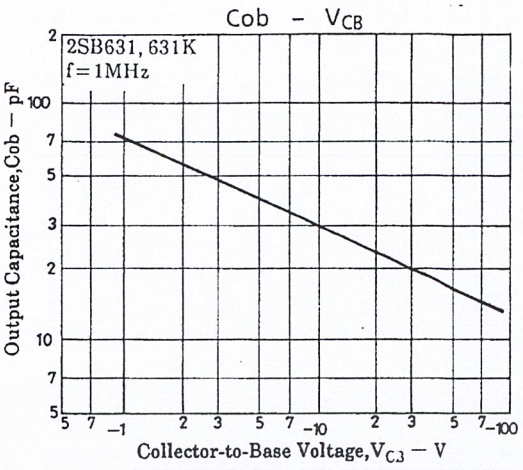




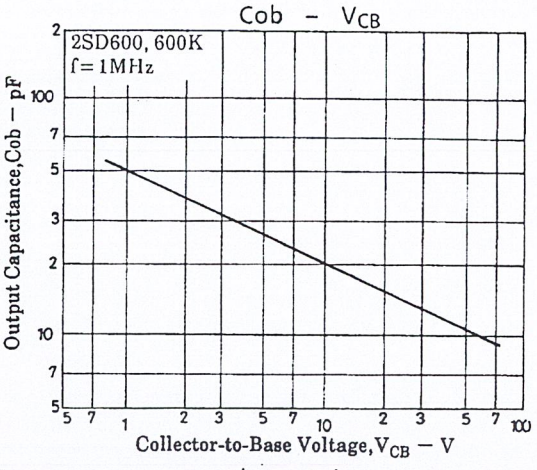


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

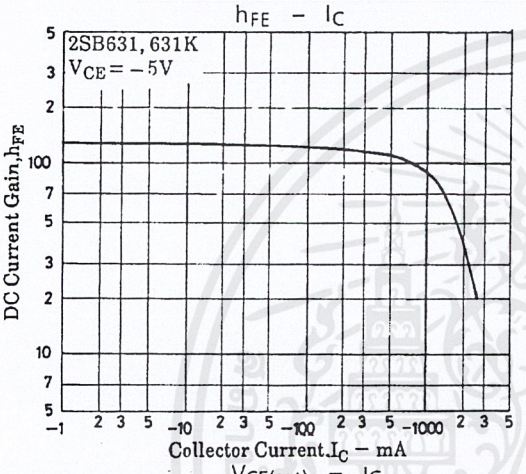
Cob – V_{CB}



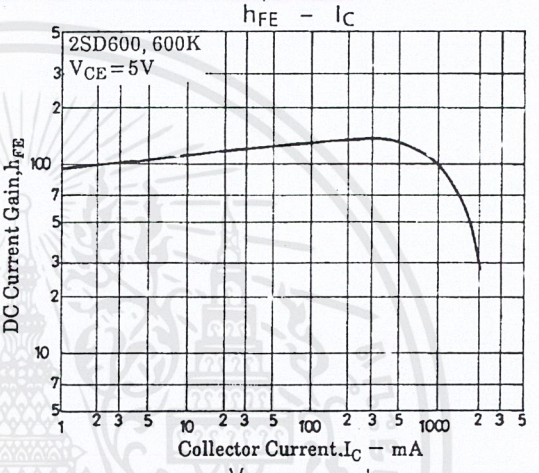
Cob – V_{CB}



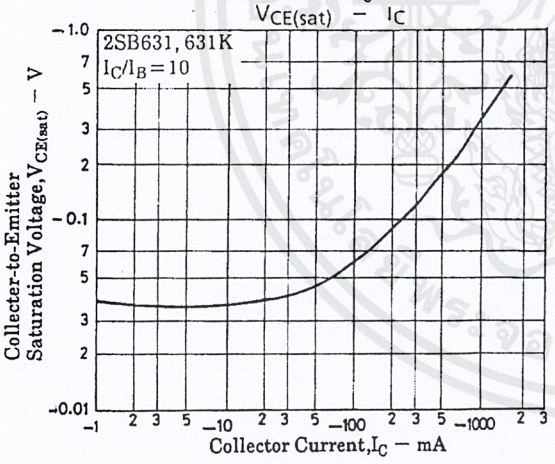
h_{FE} – I_C



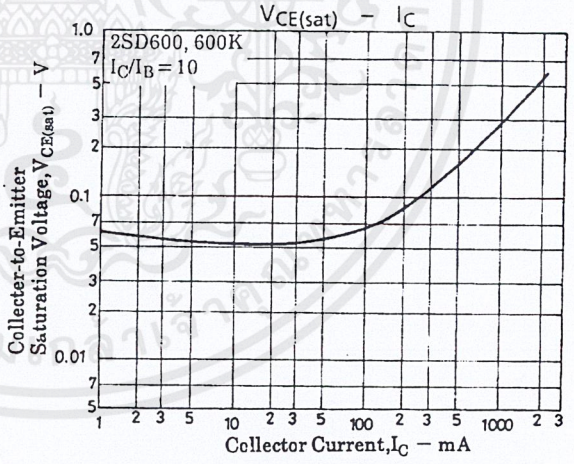
h_{FE} – I_C



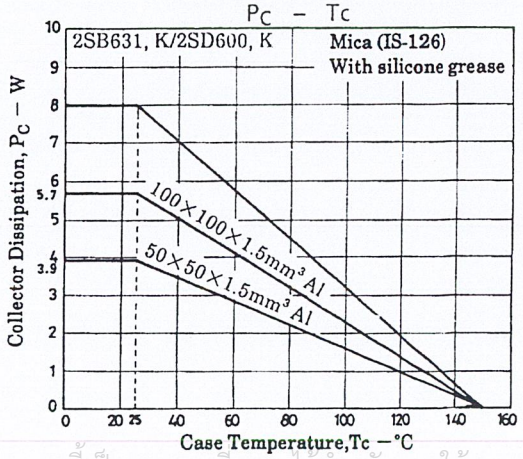
$V_{CE(sat)}$ – I_C



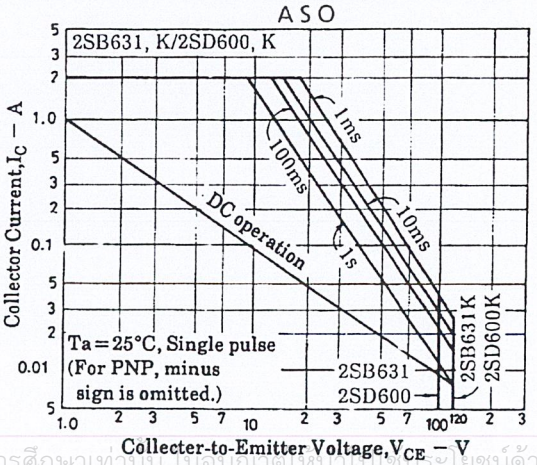
$V_{CE(sat)}$ – I_C



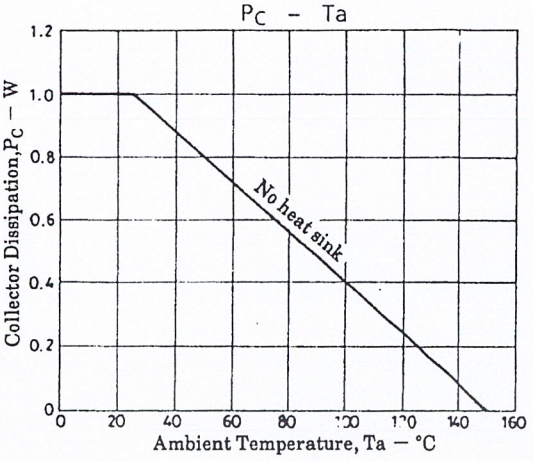
P_C – Tc



ASO



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



■ Specifications of any and all SANYO products described or contained herein stipulate the performance, characteristics, and functions of the described products in the independent state, and are not guarantees of the performance, characteristics, and functions of the described products as mounted in the customer's products or equipment. To verify symptoms and states that cannot be evaluated in an independent device, the customer should always evaluate and test devices mounted in the customer's products or equipment.

■ SANYO Electric Co., Ltd. strives to supply high-quality high-reliability products. However, any and all semiconductor products fail with some probability. It is possible that these probabilistic failures could give rise to accidents or events that could endanger human lives, that could give rise to smoke or fire, or that could cause damage to other property. When designing equipment, adopt safety measures so that these kinds of accidents or events cannot occur. Such measures include but are not limited to protective circuits and error prevention circuits for safe design, redundant design, and structural design.

■ In the event that any and all SANYO products described or contained herein fall under strategic products (including services) controlled under the Foreign Exchange and Foreign Trade Control Law of Japan, such products must not be exported without obtaining export license from the Ministry of International Trade and Industry in accordance with the above law.

■ No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and recording, or any information storage or retrieval system, or otherwise, without the prior written permission of SANYO Electric Co., Ltd.

■ Any and all information described or contained herein are subject to change without notice due to product/technology improvement, etc. When designing equipment, refer to the "Delivery Specification" for the SANYO product that you intend to use.

■ Information (including circuit diagrams and circuit parameters) herein is for example only ; it is not guaranteed for volume production. SANYO believes information herein is accurate and reliable, but no guarantees are made or implied regarding its use or any infringements of intellectual property rights or other rights of third parties.

This catalog provides information as of September, 1998. Specifications and information herein are subject to change without notice.

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering number:EN3094

PNP/NPN Epitaxial Planar Silicon Transistors

2SA1708/2SC4488

High-Voltage Switching Applications

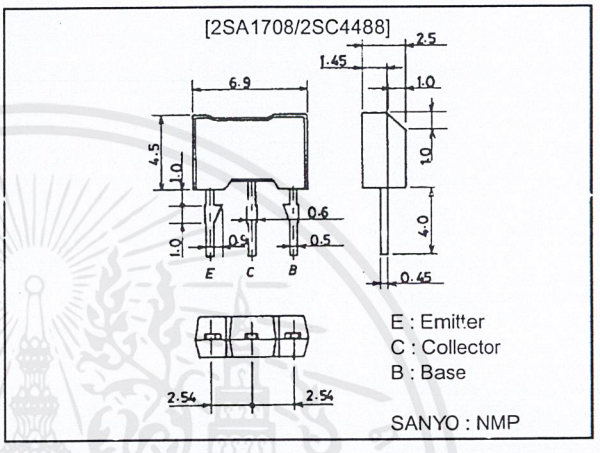
Features

- Adoption of FBET, MBIT processes.
- High breakdown voltage, large current capacity.
- Fast switching speed.

Package Dimensions

unit:mm

2064



( ) : 2SA1708

Specifications

Absolute Maximum Ratings at Ta = 25°C

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings	Unit
Collector-to-Base Voltage	V_{CBO}		(–)120	V
Collector-to-Emitter Voltage	V_{CEO}		(–)100	V
Emitter-to-Base Voltage	V_{EBO}		(–)6	V
Collector Current	I_C		(–)1	A
Collector Current (Pulse)	I_{CP}		(–)2	A
Collector Dissipation	P_C		1	W
Junction Temperature	Tj		150	°C
Storage Temperature	Tstg		–55 to +150	°C

Electrical Characteristics at Ta = 25°C

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings			Unit
			min	typ	max	
Collector Cutoff Current	I_{CBO}	V_{CB}=(–)100V, I_E=0			(–)100	nA
Emitter Cutoff Current	I_{EBO}	V_{EB}=(–)4V, I_C=0			(–)100	nA
DC Current Gain	h_{FE}	V_{CE}=(–)5V, I_C=(–)100mA	100*		400*	
Gain-Bandwidth Product	f_T	V_{CE}=(–)10V, I_C=(–)100mA		120		MHz

* : The 2SA1708/2SC4488 are classified by 100mA h_{FE} as follows :

100 R 200	140 S 280	200 T 400

■ Any and all SANYO products described or contained herein do not have specifications that can handle applications that require extremely high levels of reliability, such as life-support systems, aircraft's control systems, or other applications whose failure can be reasonably expected to result in serious physical and/or material damage. Consult with your SANYO representative nearest you before using any SANYO products described or contained herein in such applications.

■ SANYO assumes no responsibility for equipment failures that result from using products at values that exceed, even momentarily, rated values (such as maximum ratings, operating condition ranges,or other parameters) listed in products specifications of any and all SANYO products described or contained herein.

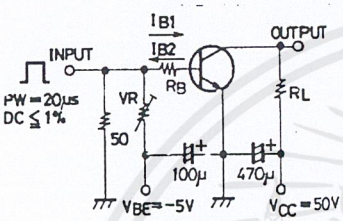
SANYO Electric Co.,Ltd. Semiconductor Bussiness Headquaters

TOKYO OFFICE Tokyo Bldg., 1-10, 1 Chome, Ueno, Taito-ku, TOKYO, 110-8534 JAPAN

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings			Unit
			min	typ	max	
Collector-to-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	I_C=(–)400mA, I_B=(–)40mA		(–0.2)	(–0.6)	V
				0.1	0.4	V
Base-to-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	I_C=(–)400mA, I_B=(–)40mA		(–)0.85	(–)1.2	V
Output Capacitance	C_{ob}	V_{CB}=(–)10V, f=1MHz		(13)8.5		pF
Collector-to-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)CBO}$	I_C=(–)10μA, I_E=0	(–)120			V
Collector-to-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	I_C=(–)1mA, R_{BE}=∞	(–)100			V
Emitter-to-Base Breakdown Votage	$V_{(BR)EBO}$	I_E=(–)10μA, I_C=0	(–)6			V
Turn-ON TIme	t_{on}	See specified Test Circuit		80		ns
Storage Time	t_{stg}	See specified Test Circuit		(700)		ns
				850		ns
Fall Time	t_f	See specified Test Circuit		(40)50		ns

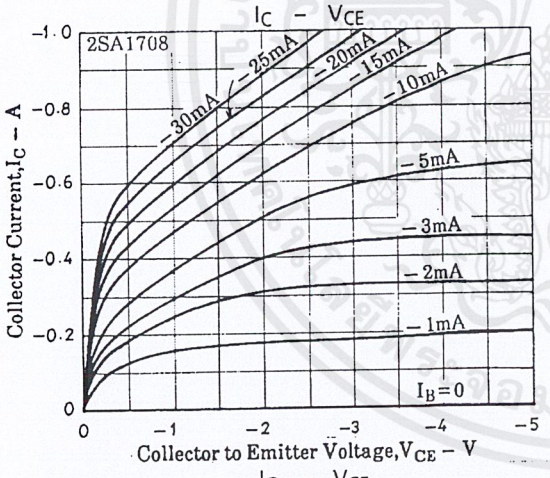
Switching Time Test Circuit

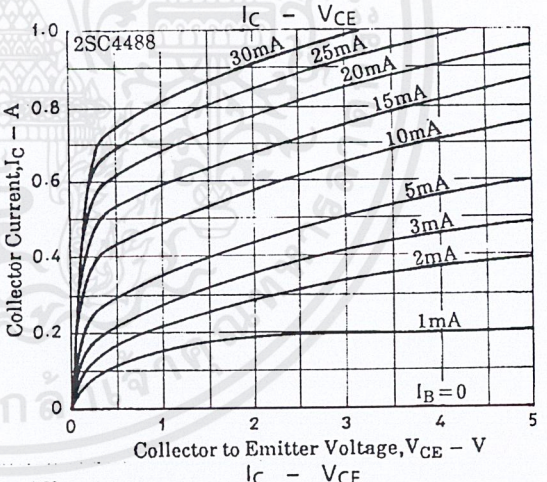


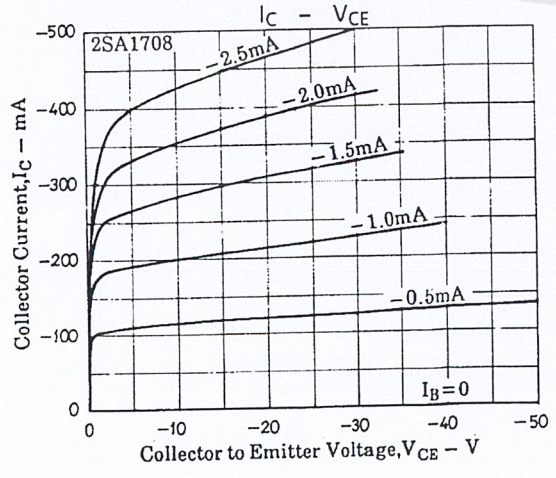
$10I_{B1} = -10I_{B2} = I_C = 400mA$

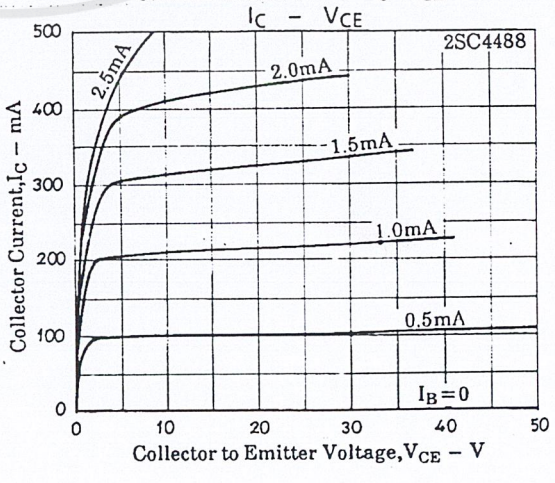
(For PNP, the polarity is reversed.)

Unit (resistance : Ω, capacitance : F)



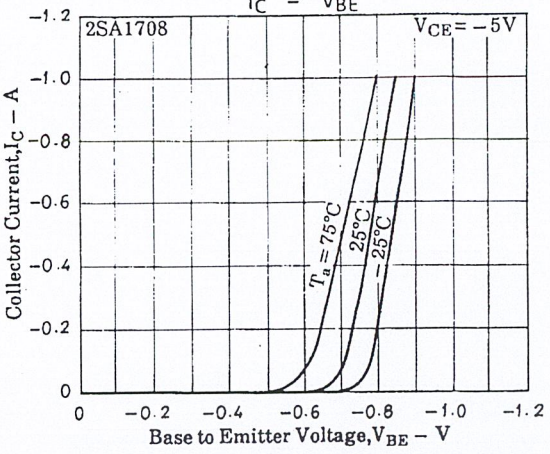




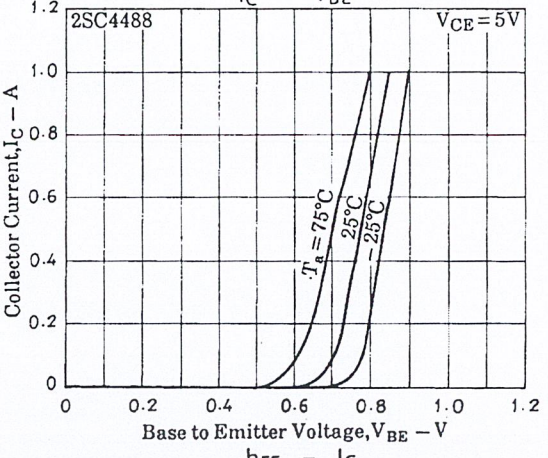


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

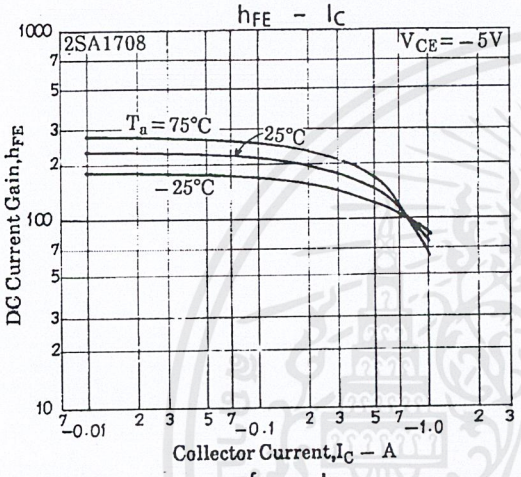
I_C – V_{BE}



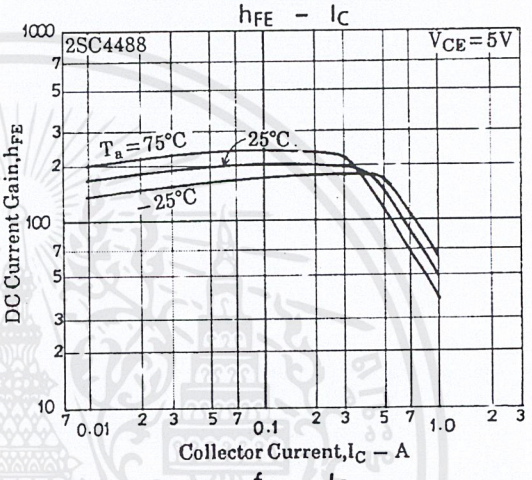
I_C – V_{BE}



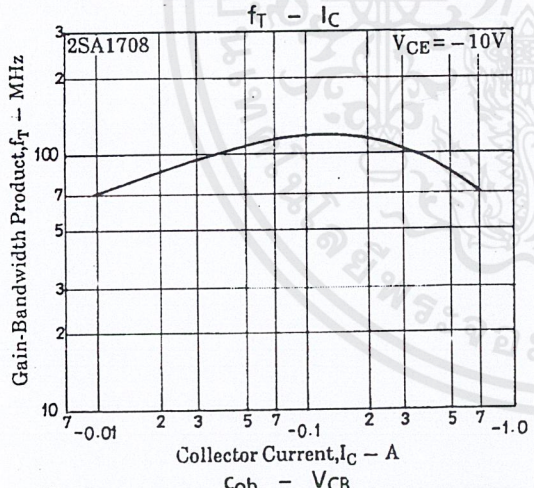
h_{FE} – I_C



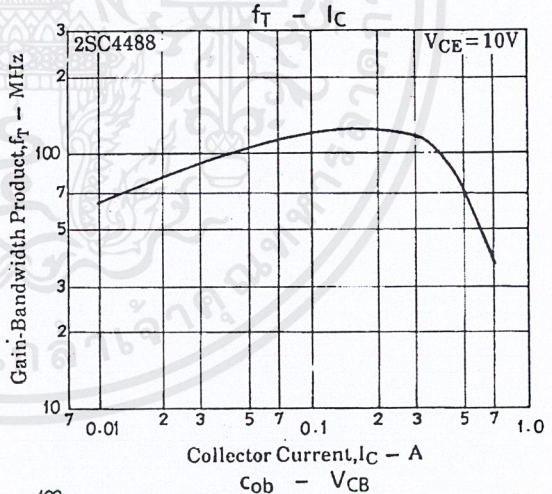
h_{FE} – I_C



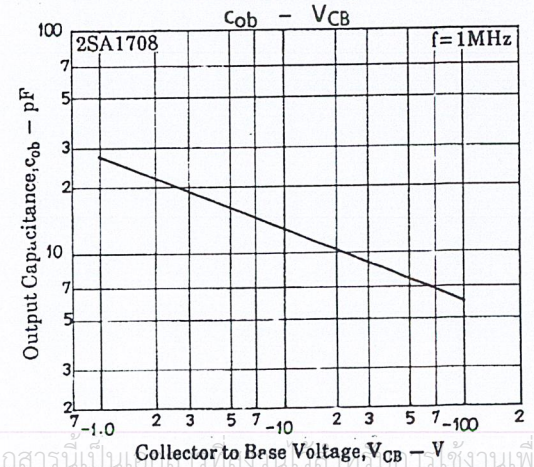
f_T – I_C



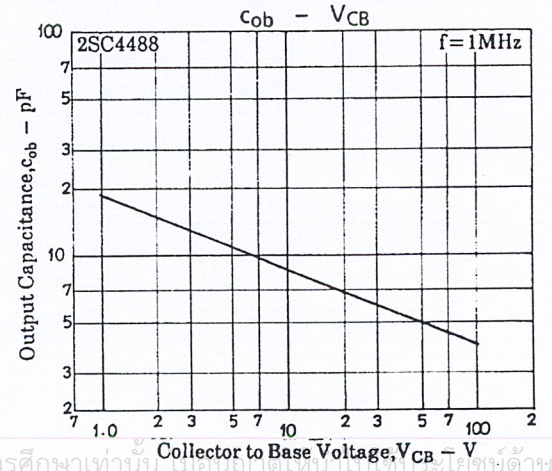
f_T – I_C



C_{ob} – V_{CB}

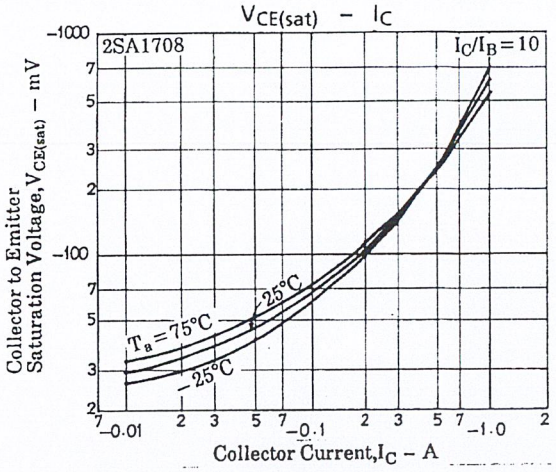


C_{ob} – V_{CB}

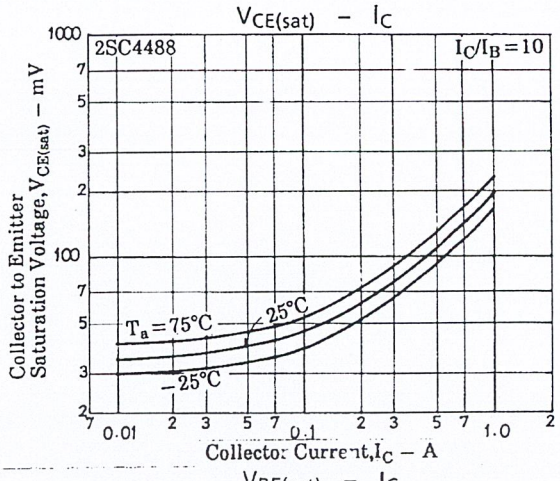


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

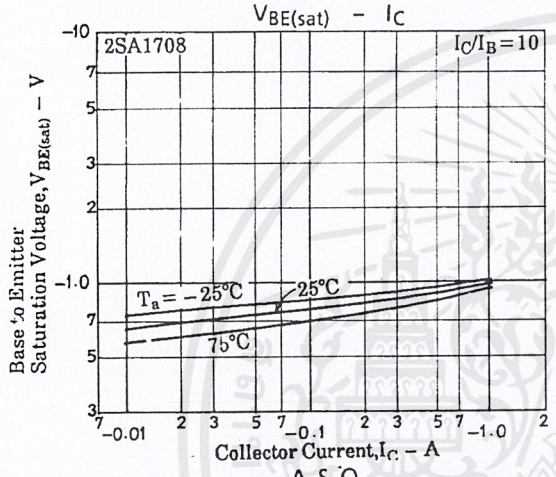
$V_{CE(sat)}$ – I_C



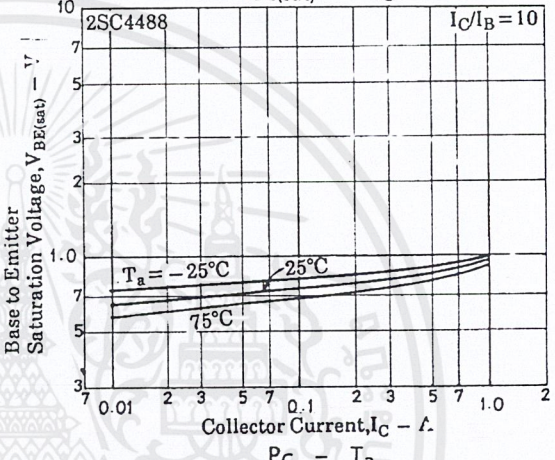
$V_{CE(sat)}$ – I_C



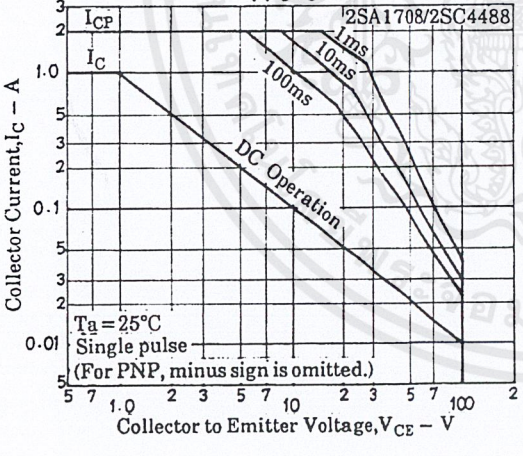
$V_{BE(sat)}$ – I_C



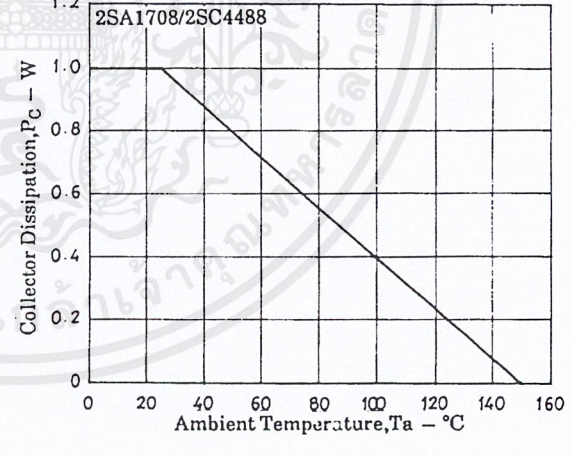
$V_{BE(sat)}$ – I_C



A S O



P_C – T_a



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Specifications of any and all SANYO products described or contained herein stipulate the performance, characteristics, and functions of the described products in the independent state, and are not guarantees of the performance, characteristics, and functions of the described products as mounted in the customer's products or equipment. To verify symptoms and states that cannot be evaluated in an independent device, the customer should always evaluate and test devices mounted in the customer's products or equipment.
- SANYO Electric Co., Ltd. strives to supply high-quality high-reliability products. However, any and all semiconductor products fail with some probability. It is possible that these probabilistic failures could give rise to accidents or events that could endanger human lives, that could give rise to smoke or fire, or that could cause damage to other property. When designing equipment, adopt safety measures so that these kinds of accidents or events cannot occur. Such measures include but are not limited to protective circuits and error prevention circuits for safe design, redundant design, and structural design.
- In the event that any and all SANYO products described or contained herein fall under strategic products (including services) controlled under the Foreign Exchange and Foreign Trade Control Law of Japan, such products must not be exported without obtaining export license from the Ministry of International Trade and Industry in accordance with the above law.
- No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and recording, or any information storage or retrieval system, or otherwise, without the prior written permission of SANYO Electric Co., Ltd.
- Any and all information described or contained herein are subject to change without notice due to product/technology improvement, etc. When designing equipment, refer to the "Delivery Specification" for the SANYO product that you intend to use.
- Information (including circuit diagrams and circuit parameters) herein is for example only ; it is not guaranteed for volume production. SANYO believes information herein is accurate and reliable, but no guarantees are made or implied regarding its use or any infringements of intellectual property rights or other rights of third parties.

This catalog provides information as of August, 1998. Specifications and information herein are subject to change without notice.

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

นาย สุวัฒน์ชัย วัฒนาชัยยงกุล , “ **หลักการสื่อสารสองทางด้วยเส้นใยนำแสง** ” โครงงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2536

ดร. ขวัญ อารยะธนิตกุล ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยมหิดล , ดร. พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ , นายอัศวิน เรณูสวัสดิ์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, “ **เลเซอร์** ” เอกสารประกอบการสัมมนา

รศ.ดร. ปรีชา ยุพาพิน , **เครือข่ายใยแก้วนำแสง** พิมพ์ครั้งที่ 1 , หน้า 17-86 , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย –ญี่ปุ่น) , 2541

ผศ. อภินันท์ มัณยานนท์ , **การสื่อสารเส้นใยแสง** พิมพ์ครั้งที่ 7 , หน้า 111-130 , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2537

นาย ดุสิต เครืองาม , **สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์** เล่มที่ 2 , หน้า 71-95 , สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

นายอภิรักษ์ แซ่เตีย
เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2523
ที่เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย จังหวัดกรุงเทพฯ
เป็นบุตรคนโตในจำนวนพี่น้อง 2 คน

<u>ประวัติการศึกษา</u>

ระดับอนุบาล	โรงเรียนเสริมปัญญา จ.กรุงเทพฯ
ประถมศึกษาชั้นปีที่ 1	โรงเรียนเด่นไชยวิทยา จ.แพร่
ประถมศึกษาชั้นปีที่ 2	โรงเรียนไชยโรจน์วิทยา จ.เชียงใหม่
ประถมศึกษาชั้นปีที่ 3	โรงเรียนอัสสละฟียะห์วิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ
ประถมศึกษาชั้นปีที่ 4 - 6	โรงเรียนเสริมปัญญา จ.กรุงเทพฯ
มัธยมศึกษาชั้นปีที่ 1	โรงเรียนมัธยมวัดดาวคนอง จ.กรุงเทพฯ
มัธยมศึกษาชั้นปีที่ 2 - 3	โรงเรียนมัธยมวิทยา จ.ลำปาง
มัธยมศึกษาชั้นปีที่ 4 - 6	โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จ.ลำปาง
ระดับอุดมศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

นาย เฉลิมพล พรรโณภาศ
เกิดเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2522

<u>ประวัติการศึกษา</u>

ระดับประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านบางกะปิ
ระดับมัธยมศึกษา	โรงเรียนบางกะปิ
ระดับอุดมศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาโซลิดสเตทอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้